

GENETIC ALGORITHM APPLIED TO THE OPTIMIZATION OF TRANSMISSION ROUTES TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

ALGORITMO GENÉTICO APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE TRANSMISSÃO PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM REDES DE SENSORES SEM FIO

DOI: 10.51859/amplla.sset.4126-9

Marcelo Jorge Filho ¹

André Alves Ferreira ²

Rui Marcos Grombone de Vasconcellos ³

¹ Doutorando em Engenharia no programa de pós-graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia do câmpus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista – UNESP

² Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações. Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista - FESJ. Universidade Estadual Paulista – UNESP

³ Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Aeronáutica. Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista - FESJ. Universidade Estadual Paulista – UNESP.

ABSTRACT

There are a lot of applications known for wireless sensor networks, and some demands emerge every day to solve problems that make it impossible to operate these networks or even to optimize them in aspects such as signal coverage, routes, frequency spectrum, channels, energy consumption, among others. This work proposes a genetic algorithm based on the perception of distance through the reception power of a wireless sensor network in order to maximize energy efficiency. Regardless the network has mobile sensors or with fixed locations, the transmission routes must be optimized by the algorithm in order to reduce the energy consumption in the transmission, comparing them to other proposals of transmission routes like sensor identification and using the maximum transmit power of each sensor. Besides to predicting possible problems in the network that may happen if there is a defect at a point in the route or in the sensor that forbid information from propagating to the central base.

Keywords: Wireless Sensor Network. Machine Learning. Genetic Algorithm. Cognitive Networks.

RESUMO

Existem muitas aplicações conhecidas para redes de sensores sem fio, e novas demandas surgem a cada dia para resolver problemas que impossibilitam a operação dessas redes ou mesmo otimizá-las em aspectos como cobertura de sinal, rotas, espectro de frequência, canais, consumo de energia, entre outros. Este trabalho propõe um algoritmo genético baseado na percepção de distância através da potência de recepção de uma rede de sensores sem fio com o objetivo de maximizar a eficiência energética. Independentemente da rede possuir sensores móveis ou com localizações fixas, as rotas de transmissão devem ser otimizadas pelo algoritmo com o objetivo de reduzir o consumo de energia na transmissão, comparando-as a outras propostas de rotas de transmissão como identificação de sensores e utilização da potência máxima de transmissão de cada sensor. Além de prever possíveis problemas na rede que podem ocorrer caso haja um defeito em algum ponto da rota ou no sensor que impeça a propagação da informação para a base central.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio. Aprendizado de Máquina. Algoritmo Genético. Redes Cognitivas.

1 INTRODUÇÃO

Uma rede de sensores é definida por um grande número de sensores conectados de alguma forma com a finalidade de fazer medições sobre algum fenômeno (AKYILDIZ, SU, *et al.*, 2002), entretanto, o número de sensores pode depender do tipo de aplicação que a Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é utilizada (BANIMELHEM, MOWAFI, *et al.*, 2014). Para permitir uma maior aplicabilidade, a posição dos nós sensores pode ser pré-determinada ou não para que uma implementação aleatória permita a aplicação nos mais variados terrenos e situações. Outro atributo importante dos sensores é sua capacidade de processar seus dados localmente e transmitir apenas as informações necessárias (AKYILDIZ, SU, *et al.*, 2002).

Independentemente do tamanho da rede de sensores em relação ao número de nós sensores, onde os nós estão em locais fixos ou móveis, satisfazendo suas respectivas necessidades e objetivos, uma rede de nós sensores deve ser utilizada de forma eficiente para que sua vida útil seja maximizada. O uso eficiente dos nós significa que a energia consumida devido à detecção, processamento e transmissão deve ser minimizada, e a maior parte dessa energia é consumida no processo de transmissão de dados (BANIMELHEM, MOWAFI, *et al.*, 2014).

Pensando em otimizar essa eficiência energética, diversas técnicas e abordagens foram desenvolvidas para reduzir a quantidade de energia consumida na comunicação entre nós ao longo dos anos. Entre as propostas estão as técnicas de aprendizado que foram utilizadas de forma a transformar essas redes em redes inteligentes, ou chamadas de redes cognitivas.

Uma rede cognitiva analisa as condições da rede e então planeja, decide e atua sobre essas condições, podendo aprender com essas adaptações e utilizá-las para tomar decisões futuras levando em consideração o propósito da rede (THOMAS, FRIEND e DASILVA, 2007). Técnicas de aprendizado de máquina como o Algoritmo Genético (AG) podem ser empregadas para encontrar melhores caminhos de transmissão entre as possíveis localizações de sensores disponíveis (BANIMELHEM, MOWAFI, *et al.*, 2014).

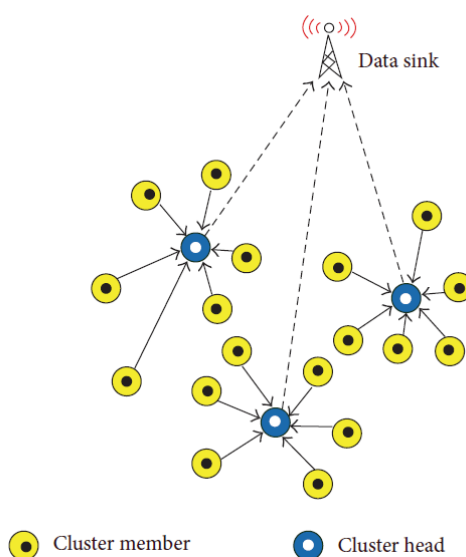
Neste trabalho, será feita uma breve revisão sobre as técnicas empregadas e uma explicação sobre algoritmo genético, e será implementada uma possível solução para melhorar a escolha das rotas de transmissão, a fim de minimizar o

consumo de energia da rede, comparando a técnica com outras propostas baseadas na retenção de potência percebida do nó sensor.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A maioria dos trabalhos que usam AG para otimizar rotas de transmissão para eficiência energética e aumento de cobertura e alcance de transmissão são baseados no trabalho desenvolvido por (HEINZELMAN, CHANDRAKASAN e BALAKRISHNAN, 2000). Sua proposta, chamada *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH), basicamente distribui a carga de energia entre os sensores de rede em *cluster heads* (CH), a fim de reduzir a dissipação de energia em comparação aos métodos convencionais (NOROUZI e ZAIM, 2014). A figura 1 mostra um exemplo da aplicação LEACH.

Figure 1: *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) em uma RSSF



Fonte: (NOROUZI e ZAIM, 2014)

A partir do protocolo LEACH, vários trabalhos foram desenvolvidos para otimizar esses clusters por meio de AG. Os autores em BANIMELHEM, MOWAFI, *et al.* (2014) usam a mobilidade dos nós sensores para melhorar a funcionalidade do LEACH inserindo uma nova etapa na determinação das localizações dos CHs por meio de um AG. Enquanto JIN, ZHOU e WU (2003) usam um AG para otimizar o número de clusters e uma RSSF arbitrário.

Também com base no protocolo LEACH, BAYRAKLı e ERDOGAN (2012) usam clusters estáticos com CHs dinâmicos, esses CHs dinâmicos são selecionados por meio da energia residual do CH atual e da quantidade média de energia dos nós

da rede, um AG é usado posteriormente para minimizar a distância de comunicação da rede e diminuir o consumo de energia.

3 ALGORITMO GENÉTICO

WHITLEY (1994) define que "Algoritmos genéticos são uma família de modelos computacionais inspirados pela evolução". Para implementar um AG é necessário criar uma população com vários indivíduos, e esses indivíduos são chamados cromossomos e geralmente são constituídos por dados gerados aleatoriamente. O algoritmo avalia as estruturas dos cromossomos e os modifica por meio de combinações "reprodutivas" para que apresentem melhores soluções para resolver o problema alvo (WHITLEY, 1994).

O algoritmo genético foi introduzido por John Holland e seus alunos em 1975 (WHITLEY, 1994), essencialmente um algoritmo genético simples trabalha com populações de *strings* binárias. Cada *string* é uma versão codificada para solução otimizada e usando operadores genéticos chamados mutação e cruzamento, o AG cria uma nova geração de *strings*, e todo processo acontece ciclicamente até que uma certa condição seja obedecida, como um certo número de gerações (SRINIVAS e PATNAIK, 1994). A Figura 2 resume um algoritmo genético simples.

Figura 2: Estrutura de Algoritmo Genético Simples

```
Simple genetic algorithm()  
{  
  initialize population;  
  evaluate population;  
  while terminations criterion not reached  
  {  
    select solutions for next population;  
    perform crossover and mutation;  
    evaluate population;  
  }  
}
```

Fonte: (SRINIVAS e PATNAIK, 1994)

Após a inicialização e seleção da população, o AG passa por um processo chamado *crossover*, que é simplesmente um operador genético que combina os dados de dois cromossomos pais, gerando dois cromossomos filhos, conforme mostrado na figura 3.

Figura 3: Exemplo de *crossover*

Parent 1: 1110 0101
Parent 2: 1011 1110
Child 1: 1110 1110
Child 2: 1011 0101

Fonte: (BAYRAKLı e ERDOGAN, 2012)

No caso do exemplo, o ponto de cruzamento foi determinado dividindo os cromossomos pais ao meio, representado pela barra, e formando dois filhos com metade da carga genética de cada pai. Este ponto pode ser estabelecido como fixo ou aleatório, contribuindo para a variabilidade genética.

Outro processo a ser aplicado é a mutação, que consiste em analisar cada bit do cromossomo, e quando aplicado, o algoritmo troca o 0 por 1 e vice-versa, o que gera um novo cromossomo com a probabilidade de mutação definida pela chamada taxa de mutação, mostrada na figura 4 (BAYRAKLı e ERDOGAN, 2012)(JIN, ZHOU e WU, 2003), sendo o bit alterado representado destacado no cromossomo mutado.

Figura 4: Exemplo de mutação

Original Chromosome: 11100101
Mutated Chromosome: 11000111

Fonte: (BAYRAKLı e ERDOGAN, 2012)

Ao final dos processos pode ser feita uma nova seleção e avaliação de aptidão da nova geração, a fim de otimizar o algoritmo e obter melhores resultados.

4 ABORDAGEM PROPOSTA

O presente trabalho propõe uma forma de reduzir o consumo de energia das transmissões em uma RSSF sem a necessidade de formar clusters, através de rotas estabelecidas por um AG. Os nós sensores, capazes de identificar a potência mínima de transmissão necessária para seus nós próximos, enviam esses valores necessários para a base central, que retorna a rota otimizada, diminuindo a energia gasta em cada transmissão, melhorando assim a vida útil da RSSF. Através do algoritmo e da percepção dos sensores, também é possível identificar falhas na rede, como por exemplo um nó para de funcionar. O trabalho pretende comparar outros dois métodos que não utilizam AG.

O AG avalia as possibilidades de acordo com a limitação de cada sensor e cria possíveis rotas de transmissão para cada nó sensor, então calcula a energia

gasta em cada rota selecionando aquela que necessita de menor potência de transmissão, pois cada nó sabe a potência mínima necessária para transmitir para o próximo nó.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

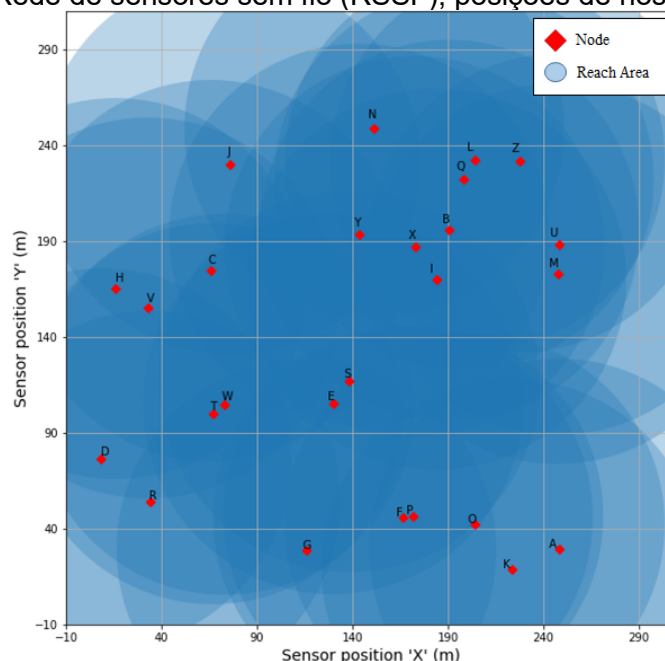
Esta seção está dividida de acordo com os procedimentos adotados para a formulação do problema, desenvolvimento e implementação do algoritmo genético para otimização de rotas em função do consumo de energia, utilizando alguns artefatos e considerações iniciais para sua implementação, simulação e avaliação.

5.1 As condições iniciais

Primeiramente, considerou-se que todas as redes de sensores operam na frequência de 2,4 GHz, cada nó transceptor tem potência de transmissão de 0 dBm (1,0 mW) e sensibilidade de recepção de -80 dBm tendo uma antena isotrópica. Considerou-se também um ambiente ideal para inserção da rede de sensores, com relevo plano e desconsiderando as prováveis atenuações.

Após a inserção dos nós da rede no ambiente, neste caso foram considerados 26 transceptores, conforme mostrado na figura 5, é feito um broadcast em que todos transmitem na potência máxima (0 dBm), os círculos azuis representam o alcance de cada nó.

Figura 5: Rede de sensores sem fio (RSSF), posições de nós e transmissão



Fonte: Autoria própria

O *broadcast* transmite alguma mensagem com o objetivo de identificar em qual potência essa mensagem é recebida de cada nó transmissor. Após identificar a potência de cada nó transmissor, é possível estimar a distância do respectivo transmissor e a potência mínima de transmissão necessária para uma comunicação, considerando a sensibilidade de recepção (-80 dBm), através da Equação de Friis (FRIIS, 1946), que é apresentada na equação 1.

$$P_r = \frac{P_t}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} W \quad (1)$$

onde:

P_r = potência de recepção;

P_t = potência de transmissão;

R = raio ou distância entre os nós;

λ = comprimento de onda.

A partir do momento em que é necessária a potência de transmissão de cada par de nós para realizar a comunicação, um sensor central, que pode ser definido como o destino final da rede, define a rota otimizada pelo algoritmo genético.

5.2 O algoritmo genético

A implementação de um AG consiste em criar uma população inicial, no caso cada cromossomo representa a rota pela qual a mensagem irá passar, por exemplo *ABCDEFGHI*, e fazer uma seleção de avaliação ou seleção sobre a população. No algoritmo desenvolvido, inicialmente é criada uma população de 500 cromossomos, gerados aleatoriamente, aliás a sequência genética deste cromossomo sempre começa no nó que deseja transmitir e termina no nó que deve receber o valor, consequentemente os cromossomos podem ter tamanhos variados.

Após a criação da população inicial, é feita uma seleção dos cromossomos válidos obedecendo ao limite de potência de transmissão dos transceptores, ou seja, se o cromossomo gerado estabelece que a mensagem sai de A com destino a D e para realizar esta transmissão é necessário 1 dBm de potência, o cromossomo é descartado, pois esta rota não atende aos requisitos técnicos mínimos para transmissão que é de 0 dBm. Dependendo do número de nós na rede, o requisito de

potência é muito difícil de ser alcançado para todas as vias presentes no cromossomo, então várias populações de 500 são geradas até que uma quantidade mínima de cromossomos esteja disponível para realizar as combinações nas simulações foi considerada uma seleção de 5 cromossomos.

Com esses cromossomos selecionados, são feitas todas as combinações possíveis na população, mas como os cromossomos geralmente são de tamanhos diferentes, como exemplo *AFBED* e *AECHFD*, para realizar o *crossover*, um valor aleatório de 0 para o tamanho do menor cromossomo, onde esse valor será a posição do *crossover*, como mostrado no exemplo abaixo:

Pai 1: ***AFBED***

Mãe 2: ***AECHFD***

Filho 1: ***AFBHFD***

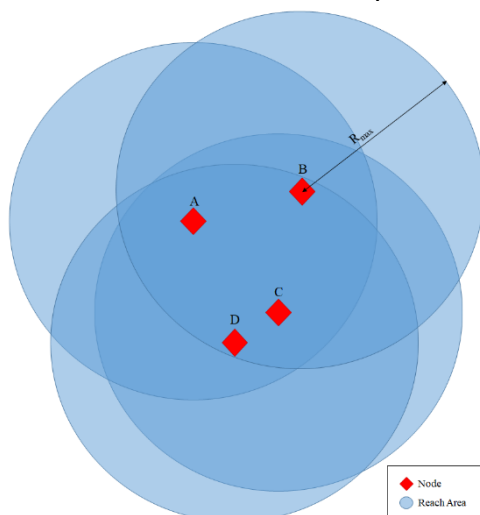
Filho 2: ***AECED***

Em seguida é realizada novamente a validação dessa nova geração em relação à restrição de potência e posteriormente são adicionados os cromossomos à população, esse processo de *crossover* também é especificado e para as simulações foi adotado executar esse processo três vezes. Após o término dos *crossovers*, o AG calcula as potências necessárias em cada rota / cromossomo selecionando a que tiver o menor valor, que será a melhor rota.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

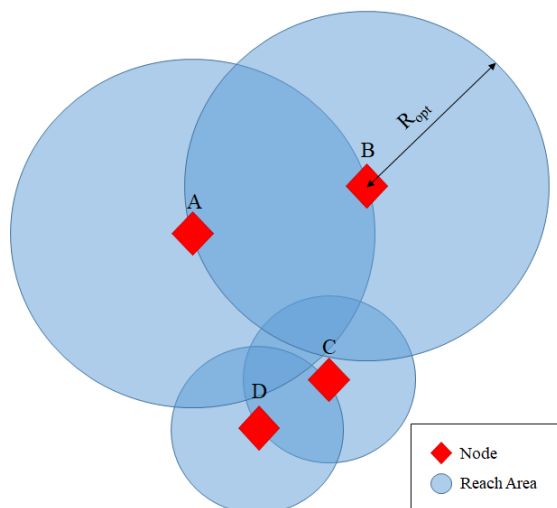
A primeira análise a ser feita é sobre a influência da diminuição da potência do transmissor. A figura 6 mostra o alcance dos nós com transmissões de potência máxima, enquanto a figura 7 mostra esses mesmos nós com as potências configuradas para fazer as comunicações apenas com o par desejado, lembrando que nesses casos o nó *A* deve se comunicar com *B* e *C* com *D*.

Figura 6: Nós se comunicando com potência máxima



Fonte: Autoria própria

Figura 7: Nós se comunicando com potência otimizada

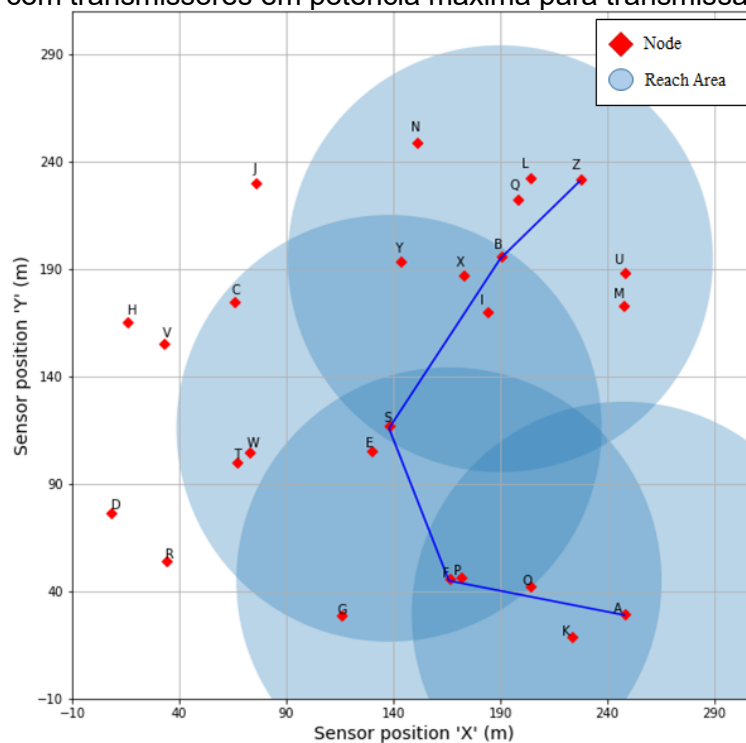


Fonte: Autoria própria

Foi possível observar através da figura 6 que transmissores em potência máxima podem interferir em outros nós da rede, em transmissões simultâneas, consequentemente atrapalhando ou até mesmo impedindo a comunicação com os pares. No caso da figura 7, com os transmissores com a potência ajustada somente para comunicação com seu par, há uma clara diminuição e até inibição da interferência nos nós, melhorando muito a qualidade do sinal.

Outro ponto a ser analisado refere-se ao consumo de energia do sistema, para o qual a figura 8 demonstra um primeiro caso em que a rede transmite para o sensor mais distante e este retransmite a mensagem em sucessão.

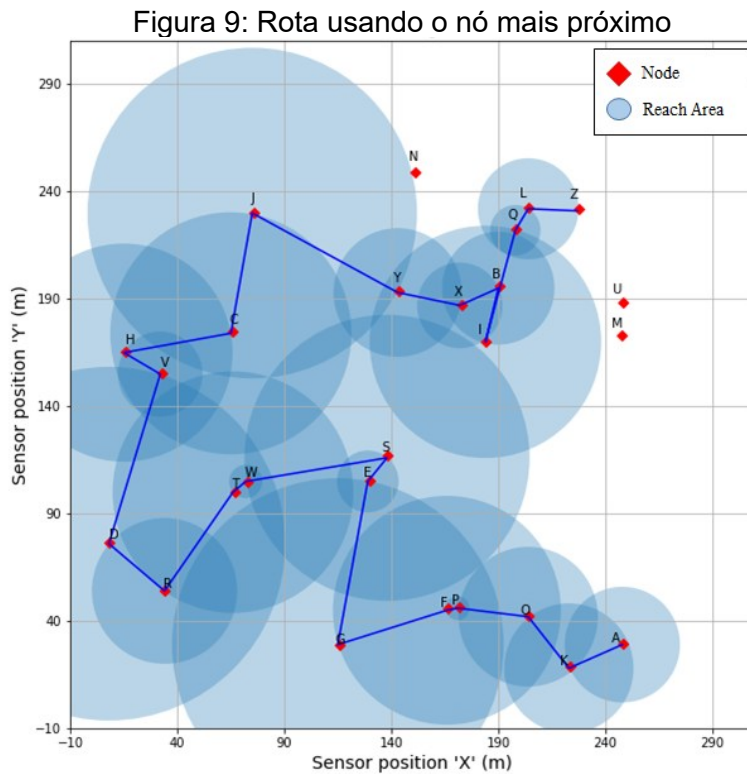
Figura 8: Rota com transmissores em potência máxima para transmissão de maior alcance



Fonte: Autoria própria

Neste caso a mensagem tem origem em A e destino em Z, viajando *AFSBZ* e necessitando de 4.000 mW de potência para transmissões. Também é possível observar interferência em nós que não fazem parte da rota de transmissão.

Para um segundo caso, cada nó sensor verifica o nó mais próximo, considerando a configuração de potência na transmissão, e transmite a mensagem sem passar por um nó duas vezes na rede, evitando que a mensagem fique presa em um par de sensores. A Figura 9 mostra a rota feita pela mensagem usando o método do próximo nó.



Fonte: Autoria própria

Foi possível notar que, mesmo sendo a rota de longa duração *AKOPFGESWTRDVHCJYXBIQLZ*, a interferência foi reduzida consideravelmente em relação à transmissão na potência máxima, sendo que neste caso a potência necessária para todas as transmissões é de 4.561 mW.

O último caso analisado são as rotas encontradas pelo algoritmo genético, a tabela 1 mostra essas rotas, com suas respectivas potências e a geração em que esse resultado foi alcançado, considerando a população inicial como geração 0, o primeiro *crossover* como geração 1 e assim por diante.

Tabela 1: Rotas encontradas pelo algoritmo genético

Simulação	Rota	Potência	Geração
1	APSIZ	2.304 mW	3
2	APSILZ	2.222 mW	3
3	AFSIBZ	2.132 mW	3
4	AKPSIZ	2.106 mW	0
5	AKPEXZ	2.320 mW	3
6	APEIQZ	2.262 mW	3
7	APSXLZ	2.217 mW	2
8	APEILZ	2.363 mW	3
9	APSIZ	2.304 mW	0
10	APSXZ	2.357 mW	2
11	AFESIXZ	2.265 mW	3
12	APESXZ	2.293 mW	2

Simulação	Rota	Potência	Geração
13	APEIQZ	2.262 mW	3
14	AOFSXBZ	1.878 mW	3
15	APSBQZ	2.311 mW	3
16	AFSIBZ	2.132 mW	3
17	AFSXBZ	2.223 mW	0
18	AOFSBQS	2.029 mW	0
19	APEIZ	2.445 mW	3
20	APESIXZ	2.214 mW	2

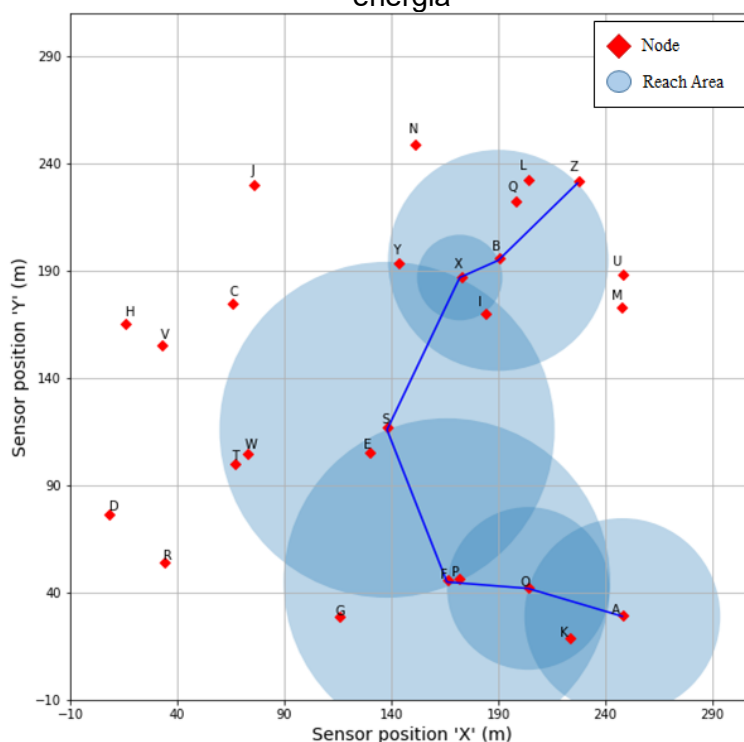
Fonte: Autoria própria

Os valores das rotas encontradas têm potência média de transmissão de $\mu_{pot} = 2.231 \text{ mW}$ e desvio padrão $\sigma_{pot} = 0.125 \text{ mW}$. Se considerarmos a potência média das rotas encontradas pelo AG, houve uma redução de 44,23% em relação ao caso em que se considera a transmissão na potência máxima e uma redução de 51,09% em relação ao caso em que a transmissão é feita considerando o nó mais próximo.

Outro fato observado é que 60% das rotas pertencem à 3ª geração e 20% correspondem à segunda geração, confirmando a eficiência do AG para o estabelecimento de rotas. Apenas 20% das rotas pertencem à população inicial e nada foi selecionado na 1ª geração.

Em relação à interferência, o método tem maior eficiência em evitar esse tipo de adversidade em relação ao caso em que a transmissão é feita com potência máxima, mas menos eficiente considerando o método utilizando o nó mais próximo, como pode ser observado na Figura 10, que neste caso foi considerado o melhor valor encontrado nas simulações, necessitando de 1,878 mW para transmissão.

Figura 10: Melhor rota encontrada pelo algoritmo genético considerando o consumo de energia



Fonte: Autoria própria

No aspecto de análise de defeitos, como a rede sempre analisa os sensores próximos por meio da transmissão, a rede é inteligente o suficiente para detectar falhas, portanto, se um nó estiver com defeito em seu transmissor, ou um novo nó for inserido ou removido da rede, ela os identificará.

7 CONCLUSÕES

A aplicação do algoritmo genético para estabelecer rotas de transmissão em uma rede de sensores sem fio tem se mostrado viável e eficiente, pois pode prever falhas e reduzir consideravelmente a potência necessária para as transmissões em relação às outras técnicas. Consequentemente o consumo de energia para que a mensagem chegue ao seu destino também diminuirá, as potências demonstradas para uma transmissão, se levarmos em conta transmissões consecutivas para economizar energia serão muito maiores. A eficiência do método também é comprovada se considerarmos que a maioria das rotas otimizadas foram encontradas nas últimas gerações.

REFERÊNCIAS

- AKYILDIZ, I. D. et al. Wireless sensor networks: a survey. **Computer Networks**, v. 38, p. 393-422, 2002.
- BANIMELHEM, O. et al. An efficient clustering approach using genetic algorithm and node mobility in wireless sensor networks. **11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS)**, 2014.
- BAYRAKLI, S.; ERDOGAN, S. Z. Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters (GABEEC) in Wireless Sensor Networks. **Procedia Computer Science**, v. 10, p. 247-254, 2012.
- FRIIS, H. T. A Note on a Simple Transmission Formula. **Proceedings of the IRE**, v. 34, n. 5, p. 254-256, 1946.
- HEINZELMAN, W. R.; CHANDRAKASAN, A.; BALAKRISHNAN, H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. **Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences**, 2000.
- JIN, S.; ZHOU, M.; WU, A. Sensor network optimization using a genetic algorithm. **Proceedings of the 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics**, 2003.
- NOROUZI, A.; ZAIM, A. H. Genetic Algorithm Application in Optimization of Wireless Sensor Networks. **The Scientific World Journal**, n. 15, 2014.
- SRINIVAS, M.; PATNAIK, L. M. Genetic algorithms: a survey. **Computer**, v. 27, p. 17-26, 1994.
- THOMAS, R. W.; FRIEND, D. H.; DASILVA, L. A. Cognitive Networks. **Cognitive Networks**, Virginia Tech, Blacksburg, 2007. 17-41.
- WHITLEY, D. A genetic algorithm tutorial. **Statistics and Computing**, v. 4, p. 65–85, 1994.