



UM SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO PARA PLANEJAMENTO DE REDES DE SENSORES SEM FIO AQUÁTICAS

Caroline Da Conceição Lima¹

Aluna de Matemática da UFRRJ e ex-aluna do curso Técnico em Informática do CEFET/RJ - Uned NI

Jonathan Sousa²

Aluno de Curso Técnico em Informática do CEFET/RJ - Uned NI

Francisco Henrique Viana De Freitas³

Doutor em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Resumo

Este trabalho aborda o tema rede de sensores sem fio que é um tipo de rede composta de dispositivos chamados sensores. Elas podem ser usadas para monitorar temperatura, umidade, salinidade, luminosidade, entre outras medidas. O principal problema das redes de sensores é maximizar o tempo de vida útil da rede. Por essa razão, é preciso minimizar o consumo de energia da rede, garantindo uma percentagem aceitável de cobertura da área a ser monitorada. Este artigo apresenta um sistema de monitoramento de uma área aquática poluída. Sendo assim, é proposto o monitoramento da qualidade da água do ambiente. Para isso, foi desenvolvido um sistema de suporte a decisão como uma aplicação Web para gerenciar dados sobre os sensores existentes no mercado e suas diferentes características. Esta ferramenta permite gerenciar a criação de cenários onde é possível especificar a quantidade de sensores disponíveis e as dimensões da área a ser monitorada. Foi proposto um modelo matemático de programação inteira a ser integrado a esta aplicação web com o objetivo de determinar a melhor localização para cada nó sensor, a árvore de roteamento da rede e calcular a energia consumida por cada sensor em cada instante, bem como determinar quando a bateria de cada nó sensor irá se esgotar e o tempo máximo de vida útil da rede sem substituição de sensor. Foi implementado um visualizador gráfico a fim de exibir e simular o funcionamento da rede, facilitando o entendimento e a gestão da rede de sensores sem fio.

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ - Uned NI, 95carolinelima@gmail.com

² Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ - Uned NI, jsousa82@ymail.com

³ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ - Uned NI, professorhenriqueviana@gmail.com

Palavras-chave: Redes; Sensores; Otimização; Monitoramento.

Abstract

Wireless sensor networks are a type of ad hoc network composed by devices called sensors. Sensor networks may be used to monitor temperature, humidity, salinity, luminance, among other measures. A sensor has a sensory capacity, data processing and data communication. Sensors have a battery as an energy source. The main problem on sensor networks is to maximize the lifetime of the network. For this reason, we need to minimize the power consumption of the network ensuring an acceptable percentage of coverage of the area to be monitored, through the user-defined feature of the application. In this work, we propose to monitor the water quality in environments such as ponds and rivers. We developed a support decision system as a web application to manage data about the types of sensors on the market with its different features such as battery capacity, maximum communication radius, sensing radius as well as the model of energy consumption. This tool allows the manager to create scenarios where should contain the number of sensors of each type he has and the dimensions of the area to be monitored. We developed an integer programming mathematical model that was integrated to the web application and determines the best location for each sensor node, power consumption of each sensor at each instant, when the battery of each sensor node is over and the maximum time of life network without replacing sensor. The decision support system also presents some statistics graphically like the percentage of each pollutant in the water in order to support the manager in the task of deciding what measures should be adopted to improve the quality of water monitored by the sensor network.

Keywords: Networks; Sensors; Optimization; Monitoring.

1. Introdução

Segundo Cerqueira et al (2015), a água é uma das substâncias mais abundantes do planeta Terra. Aproximadamente 70% da Terra é coberta por água, porém, menos de 3% deste volume é de água doce, cuja maior parte está concentrada em geleiras, restando uma pequena porcentagem de águas superficiais para as atividades humanas.

A água é de fundamental importância para a vida de todas as espécies além de ser usada na agricultura, em indústrias e em outras atividades. Sendo assim, é indiscutível a grande importância da água na vida de cada ser. O problema é que a água está sendo desperdiçada e poluída diminuindo cada vez mais a quantidade de água potável na terra.

Água contaminada é a água que contém agentes patogênicos vivos, sejam bactérias, vermes, protozoários ou vírus. Esta água não é potável, logo não deve ser consumida.

2. Problema

Nesse contexto, foi desenvolvido um trabalho visando a monitorar um ambiente aquático como lagoas, rios e baías. O problema consiste em identificar poluentes presentes na água bem como a quantidade de cada um desses poluentes. Esse monitoramento será realizado através de uma rede de sensores sem fio. Os dados coletados pelos sensores serão armazenados em um banco de dados que será gerenciado por uma aplicação web, já desenvolvida neste trabalho.

Através desta ferramenta computacional, o gestor responsável pelo ambiente aquático poderá visualizar os percentuais de poluentes presentes na água e tomar decisões para prevenção e para despoluição da água de forma mais embasada e eficiente.

Uma rede de sensores sem fio é composta por dispositivos denominados sensores que possuem uma bateria, capacidade de processamento, capacidade de sensoriamento e uma interface de comunicação sem fio. O sensor envia dados através da rede para que os mesmos cheguem a uma estação base que será responsável por armazenar esses dados coletados em um banco de dados.

Como o monitoramento do ambiente aquático deve ser contínuo, é de grande importância que se faça uma gestão racional da energia das baterias dos sensores no sentido de maximizar o tempo de vida útil da rede.

A rede de sensores sem fio é considerada útil enquanto ela for capaz de monitorar um percentual mínimo de cobertura da área monitorada estabelecido pelo gestor da aplicação. Por exemplo, o gestor pode definir que ele deseja monitorar no mínimo 90% da área da lagoa.

Além de atingir a esse nível de cobertura, a rede de sensores precisa ser conexa, ou seja, não adianta monitorar a área se os dados coletados não puderem chegar até a estação base. Uma rede é conexa quando existe pelo

menos uma rota para os dados coletados por cada sensor seguir até a estação base. Esses dados são encaminhados para a estação base através do repasse de mensagens de cada sensor para os seus sensores adjacentes, já que o raio de alcance de cada sensor é limitado.

Nesse contexto, apresenta-se um problema combinatório que consiste em maximizar o tempo de vida útil da rede de sensores garantindo o percentual mínimo de cobertura da área monitorada e a conectividade da rede com a estação base. Quando se esgotar a energia de um sensor o mesmo será trocado por outro sensor que será colocado na mesma localização do sensor anterior, garantindo a continuidade do funcionamento da rede.

Esse trabalho tem como foco monitorar regiões de fácil acesso para troca de sensores. Essa abordagem não se aplica a regiões inóspitas, como matas densas onde não seria possível colocar o sensor manualmente na melhor localização determinada pelo modelo matemático.

3. Rede de Sensores Sem Fio

Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) constituem uma tecnologia emergente, em que pequenos dispositivos denominados sensores são utilizados com intuito de monitorar áreas de difícil acesso ou inóspitas, tais como oceanos, desertos, vulcões, florestas, áreas industriais etc. Os sensores reunidos formam uma rede sem fio de coleta de dados, processando localmente as informações e disseminando os dados resultantes de um ponto para outro.

Uma rede de sensores sem fio pode monitorar diversos ambientes. Neste caso, serão monitorados ambientes aquáticos.

Um sensor é um dispositivo que possui capacidade de comunicação, capacidade de sensoriamento e capacidade de processamento de dados, além de bateria e outras características.

Comunicação:

Um sensor possui um raio de comunicação, é este raio que permite que um sensor envie informações para outros sensores.

Sensoriamento:

Um sensor possui um raio de sensoriamento, é este raio que determina a área que este sensor irá monitorar.

4. Aplicação

Na aplicação, é possível cadastrar sensores de diferentes marcas/modelos, criar cenários e adicionar sensores aos cenários. Pretende-se criar funcionalidades que permitam comparar otimizações feitas anteriormente no mesmo cenário e visualizar o histórico de cenários.

Na figura 1, pode ser visualizado o esquema do sistema de suporte à decisão proposto neste trabalho. O usuário cria um cenário através de uma aplicação WEB, onde especifica dimensões da área e a quantidade de sensores disponíveis. O servidor WEB gera um modelo matemático que é executado pelo CPLEX ⁴. O resultado do modelo determina a localização de cada sensor e a árvore de roteamento, Um applet Java exibe a topologia da rede e simula o seu funcionamento,

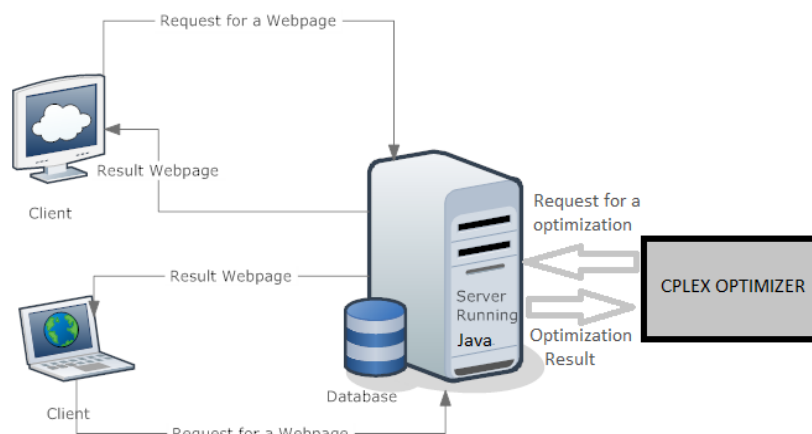


Figura 01 - Sistema de Suporte à Decisão

5. Metodologia

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa sobre a geografia do local o qual a rede de sensores seria colocada. Após isso, procurou-se ver se a ideia da rede era adequada ao tipo de ambiente. Tendo feito todas as verificações necessárias começou a ser pensado um modelo matemático que pudesse otimizar a rede e satisfazer as necessidades do ambiente.

⁴ CPLEX – É um pacote de otimização de softwares.

6. Modelo Matemático

O projeto tem por objetivo otimizar a rede de sensores sem fio, como já foi dito anteriormente. Através do modelo matemático desenvolvido o CPLEX irá otimizar a rede de sensores e a aplicação Web irá receber os dados e mostrar ao usuário através de um Applet Java.

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{s \in S} x_s \\ \\ \sum_{s \in S: s \text{ cobre } d} x_s &= c_d \quad \forall d \in D \\ \\ \sum_{d \in D} c_d &\geq \text{perc_min}|D| \\ \\ x_s &\in \{0, 1\} \quad \forall s \in S \\ \\ c_d &\in \{0, 1\} \quad \forall d \in D \end{aligned}$$

Figura 02 - Modelo Matemático I

Fonte: Desenvolvido para o problema em questão

O modelo matemático da figura 2 minimiza o número de sensores ativos e assegura a cobertura mínima da área monitorada. A área foi dividida em d pontos de demanda. Cada ponto de demanda é também uma localização candidata a receber um sensor. Cria-se uma variável x para cada possível localização de sensor e uma variável c para cada ponto a ser coberto. O modelo minimiza o número de sensores com o objetivo de diminuir a redundância no sensoriamento da área. Na figura 3, isto é observado, muitos sensores monitorando um ponto de demanda específico.

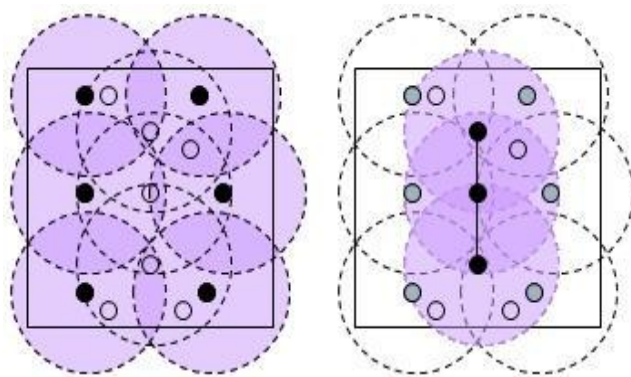


Figura 03 – Redundância

Para que a otimização realizada seja útil é preciso que a rede possua conectividade. Para haver conectividade é preciso que os sensores estejam se conectando a estação. Para isso é preciso fazer a seguinte verificação demonstrada na figura 4:

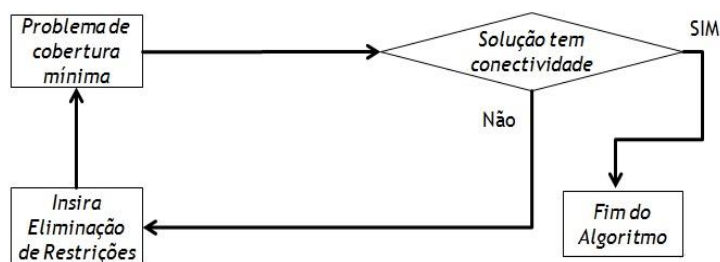


Figura 04 – Verificação

Fonte:

Caso a solução apresentada não tenha conectividade, a aplicação deverá fazer um nova otimização. Para isso será utilizada a seguinte restrição apresentada na figura 5:

$$\Delta(x, x') = \sum_{j \in S'} (1 - x_j) + \sum_{j \in \beta \setminus S'} x_j$$

$$\Delta > 0$$

Figura 5 – Restrição

Fonte: Desenvolvido para o problema em questão

Esta restrição impõe uma distância de Hamming maior do que zero entre a solução anterior x e a próxima solução x' .

7. Resultados

Nas figuras abaixo, é possível visualizar alguns exemplos de telas dos possíveis resultados e do Applet. Na figura 6, por exemplo, observa-se o grafo da árvore de roteamento da rede, que tem como função mostrar ao usuário o posicionamento dos sensores, o caminho que os dados irão percorrer até o nó principal (central de coleta de dados) e o nível de bateria dos sensores ao longo do funcionamento da rede.

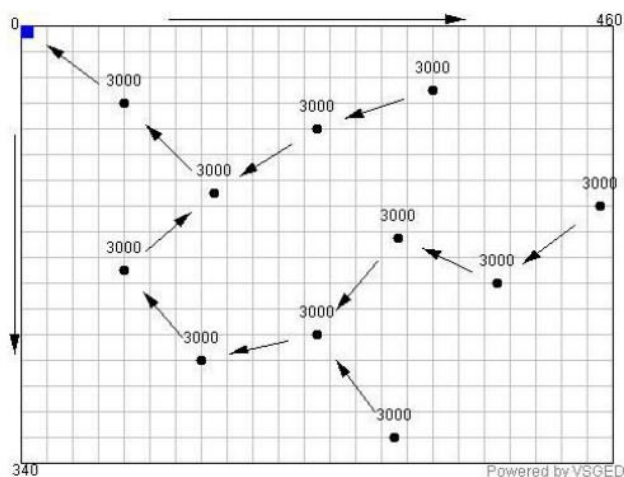


Figura 6 - Grafo da árvore da Rede

Fonte: Testes realizados no Applet

Na figura 7, observa-se o raio de comunicação. As áreas mais escuras são aquelas onde ocorrem intercessões entre os raios dos sensores, ou seja, mais sensores alcançam aquela área.

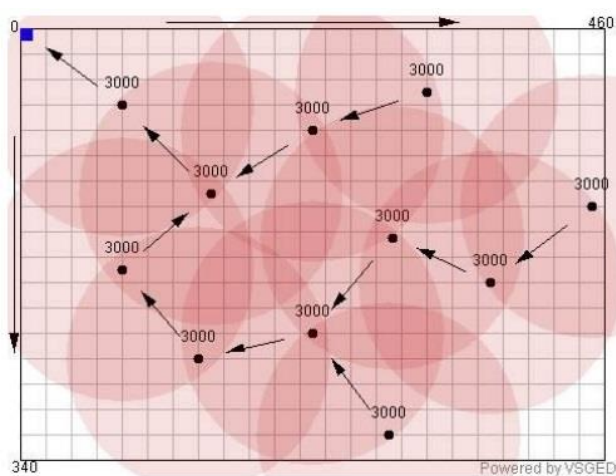


Figura 7 – Grafo com raio de comunicação

Fonte: Simulação da aplicação Applet

Na figura 8 é possível ver os raios de comunicação e cobertura juntos. Pensando no uso de ambos ao mesmo tempo, a cor dos raios foi colocada de forma a identificar cada raio sendo vermelha a área de alcance de comunicação e verde a área de cobertura de cada sensor.

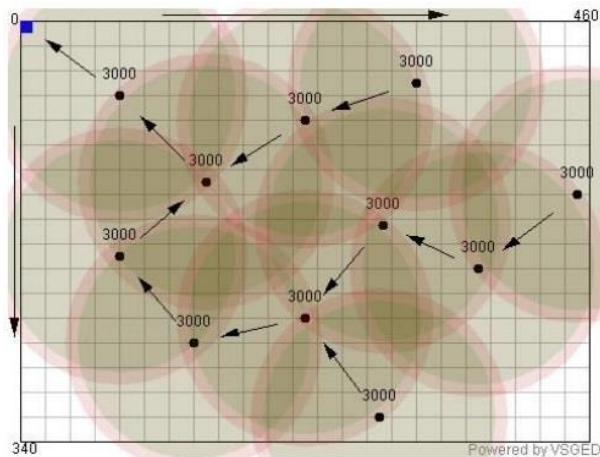


Figura 8 - Grafo com raio de comunicação e cobertura

Fonte: Simulação da aplicação Applet

Na figura 9, são exibidos pontos enumerados que são úteis para a identificação dos sensores, para uma possível manutenção e para o próprio gerenciamento da rede.

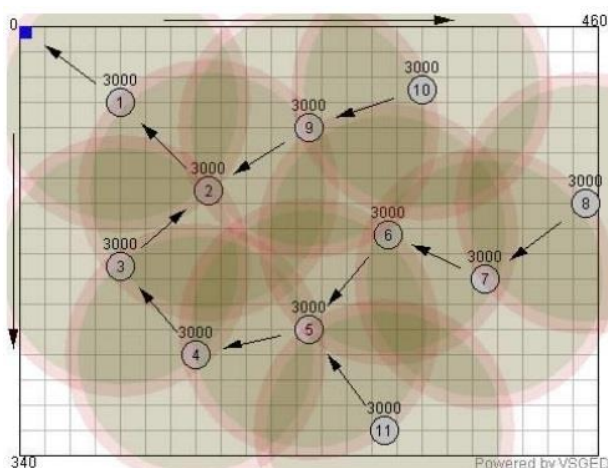


Figura 9 - Grafo com raio de comunicação, cobertura e sensores enumerados

Fonte: Simulação da aplicação Applet

Na figura 10, é mostrado o exemplo de uma simulação ocorrendo, onde é observado que o valor da bateria diminui a cada momento.

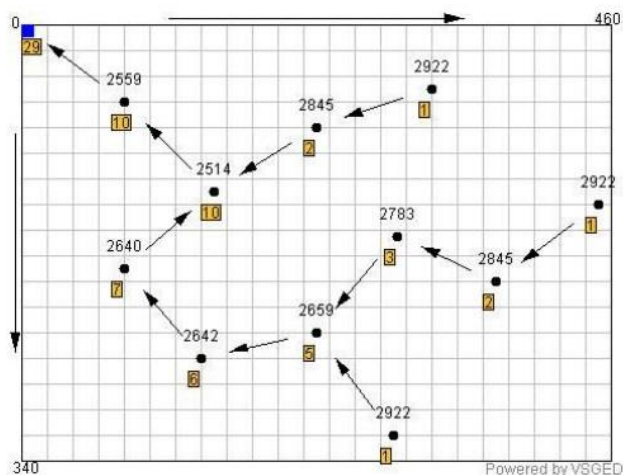


Figura 10 – Exemplo de uma simulação

Fonte: Simulação da aplicação Applet

Na figura 11, tem-se um evento aleatório. Neste caso, um sensor danificado é mostrado em vermelho. Entretanto, a rede continuou funcionando, pois neste caso os requisitos mínimos de cobertura e de conectividade continuaram a ser respeitados.

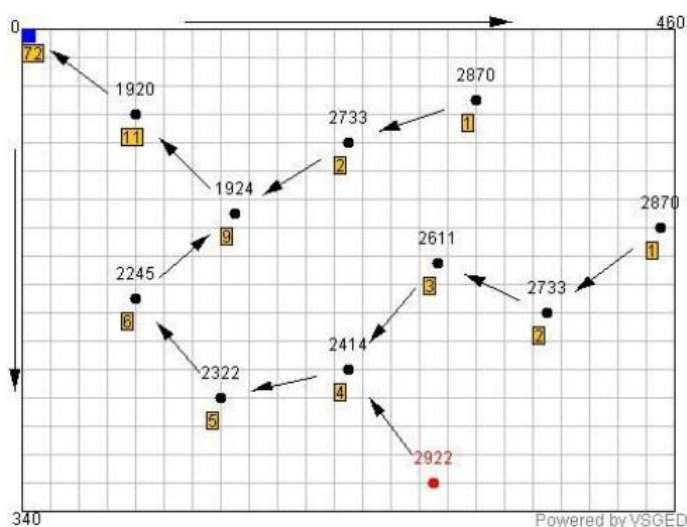


Figura 11 – Evento aleatório

Fonte: Simulação da aplicação Applet

8. Conclusão

O principal objetivo do projeto, que é o fácil uso do visualizador, já está desenvolvido. O uso do AppletJava juntamente ao HTML tornou o

visualizador uma ferramenta fácil de ser integrada a um sistema já existente. Entretanto, almeja-se tornar esse visualizador mais sofisticado esteticamente e funcionalmente, e evoluir o simulador de redes de sensores a ele acoplado.

Na ferramenta já é possível se observar os pacotes da rede caminhando para a central, e também o tratamento de eventos aleatórios que representam fatores não previstos na otimização, como a danificação de um sensor que ainda tenha bateria, por exemplo. Sendo assim, tem-se um visualizador mais simples, objetivo e de fácil manuseio. Como projetos futuros, necessita-se de uma maior sofisticação a fim de maior satisfação do usuário.

Pretende-se desenvolver outras abordagens de otimização a fim de comparar estatisticamente os resultados obtidos e de evoluir o sistema para uso em aplicações nas quais as localizações dos sensores seja um dado de entrada. Nesse caso, iremos lidar com regiões de difícil acesso onde, na prática, sensores são jogados de aviões e ao chegar ao solo, enviam sua localização para a central.

9. Referências

LOUREIRO, Antonio A.F., NOGUEIRA, Jose Marcos S., RUIZ, Linnyer Beatrys, MINI, Raquel Aparecida de Freitas, NAKAMURA, Eduardo Freire, FIGUEIREDO, Carlos Maurício Serodio; Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais; Rede de Sensores sem fio. Disponível em:

< <http://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbrc03.pdf>>. Acessado em: 07-12-2014 às 14h30min

CERQUEIRA, Wagner de e Francisco. Água. Disponível em: <<http://www.brasile scola.com/geografia/agua.htm>>

Manual do CPLEX 12. Disponível em: <ftp://public.dhe.ibm.com/software/websphere/ilog/docs/optimization/cplex/ps_usrman cplex.pdf> .Acesso em: 29-08-2013 às 21h30min

O Estado do RJ, Disponível em: < <http://www.oestadorj.com.br/estado/rio-vai-investir-r-2-bilhoes-para-despoluir-praias-lagoas-e-a-baia-de-guanabara-ate-as-olimpiadas/>>. Acesso em: 29-08-2013 às 20h25min.

Sos Rios do Brasil, Disponível em: < <http://sosriosdobrasil.blogspot.com.br/2012/06/poluicao-ameaca-praias-e-lagoas-do-rio.html>>. Acesso em 29-08-2013 às 20h25min.