

COBERTURA EM UMA REDE DE SENSORES SEM FIO

Vivian Lúcia Bittencourt Drumond

Universidade Presidente Antônio Carlos
Rodovia MG 368 –KM 12 – Colônia Rodrigo Silva – Barbacena – Minas Gerais – Brasil

viviandrumond@yahoo.com.br

Resumo. Na última década, houve um grande avanço tecnológico nas áreas de sensores, circuitos integrados e comunicação sem fio, que levou a criação de uma área de pesquisa conhecida como (RSSF) Redes de Sensores sem Fio. Este tipo de rede pode ser aplicada no monitoramento, rastreamento, coordenação e processamento em diferentes contextos. O objetivo deste texto é descrever o que são as redes de sensores sem fio, formas de utilização e problemas relacionados do tipo cobertura e conectividade. Este artigo apresenta uma formulação matemática que tem por objetivo resolver o problema de cobertura. Palavra-chave: Redes Sensores sem Fio.

1 INTRODUÇÃO

Redes de Sensores sem Fio (RSSF) são sistemas distribuídos que apresentam vários desafios em muitas áreas de estudo. Uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) é um tipo de rede composta por dispositivos com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação, denominamos nós sensores.

Estas redes têm como objetivo detectar objetos ou fenômenos químicos, físicos ou biológicos em uma determinada área ou região. Possuem dispositivos com capacidade de processamento e energia conectados por uma rede sem fio. Os nós sensores apresentam vantagens como: tamanho reduzido e baixo custo, o que possibilita a distribuição de inúmeros destes sensores em regiões onde o acesso por máquinas ou pessoas é muito difícil ou perigoso[MENEZES 2004].

As RSSF podem ser aplicadas em vários campos, contextos[NAKAMURA 2003] entre eles monitoramento ambiental, medição de temperatura e níveis de poluição, extensão dos danos causados por um terremoto, controle de incêndios florestais, detecção de presença de pessoas e/ ou objetos em um ambiente e a determinação do volume de tráfego em uma cidade, etc. Quando instaladas estas redes poderão estabelecer uma conexão entre o mundo físico e as redes de computadores(Internet), funcionando como uma infra-estrutura entre os dois mundos.

Os nós sensores consistem tipicamente de cinco componentes: bateria, memória, processador, sensor e rádio[NAKAMURA 2003]. A bateria é o armazenamento de energia do dispositivo e possui capacidade limitada, com pouca possibilidade de reutilização, o que restringe a quantidade de energia da rede. A memória e o processador, são utilizados para armazenamento e processamento das informações coletadas na área do monitoramento, possui capacidade reduzida em virtude das dimensões do nó. O sensor é responsável pelo monitoramento da área e pode ser de temperatura, sísmico, detector de movimento, entre outros. O rádio inclui o sistema de transição, recepção, amplificador e antenas.

Em uma aplicação em RSSF estes nós sensores são depositados em uma área para monitorar o comportamento de um fenômeno e descrever as informações coletadas para outros nós ou para um observador[NAKAMURA 2003]. Conforme mostrado na Figura 1.1. Os nós que geram os dados são denominados nós fontes e estes dados chegam ao observador através de pontos de acesso da rede. Estes pontos de acesso podem ser estações de rádio base e os próprios nós sensores, denominados nós sorvedouros ou monitores.

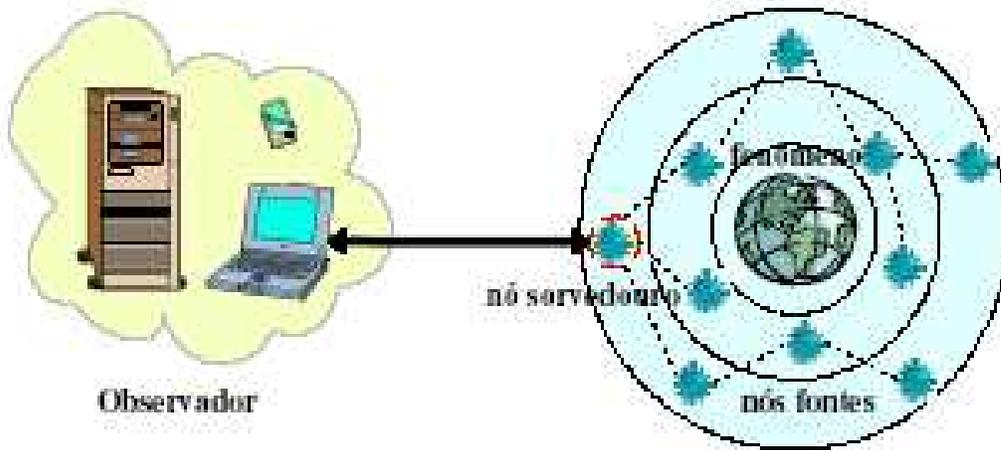


Figura 1.1: Rede de sensores sem fio.

Os nós sensores em determinado ambiente podem apresentar mobilidade. Digamos que após espalharmos os nós sensores em uma determinada região, estes podem se deslocar pelo ambiente com o objetivo de cobrir um setor de monitoração descoberto ou detectar a presença de algum objeto ou fenômeno. Ao lançarmos estes nós na área podemos ter dois tipos de problemas: que alguns sejam destruídos ou apresentem algum defeito. Considerando que um dos fatores mais críticos em RSSF é a energia (capacidade da Bateria). É necessária uma maior distribuição de nós na área a ser monitorada de forma a garantir cobertura para estender o tempo de vida da rede.

O planejamento de cobertura e conectividade em RSSF quando inserido em contexto de gerenciamento como o apresentado por Ruiz em [LOUREIRO 2002] e levado em consideração as características destas redes, pode incentivar a aumentar o tempo de vida e torná-las mais eficientes. A cobertura consiste em detectar e observar um elemento na área de monitoramento. A conectividade, consiste em definir o menor caminho (custo) para cada um dos nós sensores, chegar a um dos nós servidores. Este artigo está organizado em 8 seções. Na seção 2 é apresentada a classificação e fases de configuração da RSSF. Na seções 3, 4 e 5 são apresentados 3 problemas tais como: localização, cobertura e conectividade de uma Rede de Sensores sem Fio. Na seção 6 a definição do problema. Na seção 7 o cálculo da área de cobertura e na seção 8 as considerações finais.

2 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

Conforme abordado por Loureiro et. Al, em [LOUREIRO 2002], o ciclo de vida das RSSF pode-se ser descrito em 5 fases: configuração, manutenção, sensoriamento, processamento e comunicação. Na fase de configuração ocorre o estabelecimento da rede na região de monitoração. A fase de manutenção, que está ativa durante todo tempo de operação das redes, tem o objetivo de prolongar seu tempo de vida. O sensoriamento tem a tarefa de observar e coletar os dados requisitados pela aplicação. O processamento é responsável pela fase de análise dos dados coletados pelos nós sensores e está relacionado ao gerenciamento, comunicação e manutenção da rede. A comunicação é responsável pelas operações de transmissão e recepção dos dados. Dentre as fases citadas, podem ser destacadas características que ajudam a classificar as RSSF. Para este artigo serão consideradas as características relacionadas a fase de configuração extraídas de [LOUREIRO 2002] e que estão definidas a seguir:

➤ Fase de Configuração

- Composição

- Homogênea: todos os nós possuem a mesma característica.
- Heterogênea: composta por nós diferentes.

- Organização

- Planas: redes sem agrupamento.
- Hierárquicas: redes com agrupamentos.

- Distribuição

- Regular: os nós são distribuídos de maneira equidistantes na área de monitoramento.
- Irregular: os nós são distribuídos aleatoriamente na área de monitoramento.

- Densidade

- Balanceada: quando a concentração de nós é a mesma para toda a rede.
- Densa: quando a concentração de nós por área é alta.
- Esparsa: quando a concentração de nós por área é baixa.

- Controle

- Aberta: a rede apenas monitora a região.
- Fechada: a rede monitora e atua em toda a região.

3 LOCALIZAÇÃO EM RSSF

A localização na RSSF tem por objetivo definir a posição geográfica ou uma posição relativa para cada nó sensor que compõe a rede. Para concretizar o processo de localização alguns nós da rede devem conhecer sua posição. Estes nós são denominados nós âncoras ou beacons. Eles conhecem sua localização porque foram colocados em locais pré-definidos ou possuem um equipamento GPS(Global Position System) acoplado. Mais detalhes em [MENEZES 2004]. Para cada área de monitoramento é determinado o número mínimo de nós âncoras que os nós sensores devem ter como vizinhos para que seja possível definir a posição de todos os nós sensores. Quanto mais balanceada for a rede mais fácil será resolver o problema de localização.

4 COBERTURA EM RSSF

A área de cobertura de uma RSSF correlaciona a região coberta pelo dispositivo de sensoriamento do nó e o seu cálculo está relacionado ao raio de alcance dos nós que se encontram ativos na rede [MENEZES 2004]. Em [QUINTÃO 2003] a cobertura é definida, para garantir a qualidade de serviço requerido sem necessariamente realizar a ativação de todos os nós da rede. Neste artigo, o cálculo da área de cobertura em uma RSSF foi feito através da discretização da área de monitoramento. Contudo, procura-se, pelo melhor

conjunto de nós sensores que devem estar ativos para garantir a cobertura total da área. A Figura 4.1 representa o raio de sensoriamento do nó e a Figura 4.2 a área de cobertura.

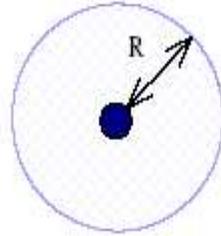


Figura 4.1 Raio de Sensoriamento

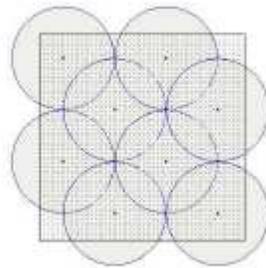


Figura 4.2 área de cobertura em RSSF

A área de cobertura está intimamente ligada a maneira como os nós sensores estão distribuídos na área. Para representar distribuição dos nós sensores na área de cobertura são considerados dois modelos de posicionamento de nós em RSSF: determinístico e não-determinístico. O modelo determinístico considera a distribuição dos nós como regular e os posiciona em uma grade conforme ilustrado na Figura 4.3. O modelo não-determinístico considera que os nós sensores são lançados aleatoriamente na área, conforme ilustrado na Figura 4.4. Uma análise mais profunda desta disposição na cobertura da rede pode ser encontrada em [NAKAMURA 2003].

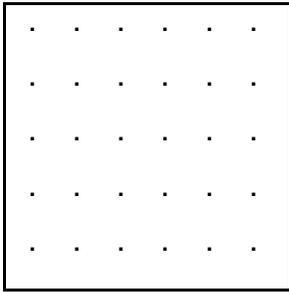


Figura 4.3: Nós regulares

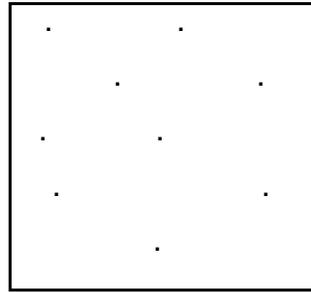


Figura 4.4: Nós irregulares

5 CONECTIVIDADE E ROTEAMENTO EM RSSF

Além de garantir a cobertura, conforme mencionado na seção anterior, outro ponto a ser considerado envolve a conectividade dos nós sensores. Uma vez sendo lançados os nós sensores na área de monitoramento e ativados, o passo seguinte consiste em estabelecer conexões entre os nós sensores (conexões estabelecidas através de comunicação via rádio) de forma a permitir o roteamento da informação.

As informações podem chegar ao nó sorvedouro vinda diretamente dos nós sobre demanda que coletou as informações, neste caso a comunicação é chamada de *single-hop*, ou podem ser enviadas através dos nós sensores ativos até o nó sorvedouro está comunicação é chamada de *multi-hop*. Já o problema de roteamento consiste em definir para cada nó sensor ativo uma rota de menor custo que seja capaz de enviar cada pacote de informações gerado pelos nós sensores até um nó sorvedouro.

6 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Conforme descrito por [MENEZES 2004], o problema abordado neste artigo pode ser definido da seguinte forma: Seja uma área de sensoriamento, onde os nós sensores foram distribuídos de forma regular determinística. O cenário constitui das seguintes características: rede plana, homogênea, nós estacionários e área de monitoração sem

obstáculos. Para garantir que toda área estará coberta, utiliza-se o conceito de ponto de demanda. É feita uma discretização da área a ser sensoriada e procura-se pelo melhor conjunto de nós sensores que devem estar ativos para garantir que todos os pontos de demandas estarão cobertos.

Uma definição mais formal: Seja uma área de sensoriamento A , um conjunto de pontos de demanda D dispostos em A , um conjunto de nós sensores S , e um parâmetro de cobertura m . O problema consiste em garantir que pelo menos m nós sensores em S estão cobrindo cada ponto de demanda em D na área de sensoriamento.

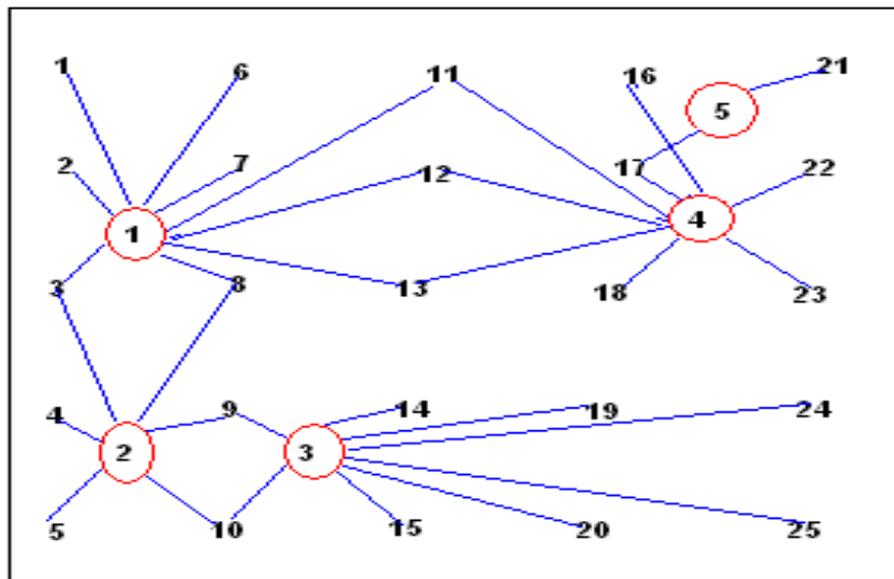


Figura 6.1 Área de sensoriamento A

Com o objetivo de tornar mais claro para o leitor, o problema definido acima, a Figura 6.1 descreve uma instância de problema para a cobertura em RSSF. Dada uma área plana, sem obstáculos onde os nós estão distribuídos em posições pré-definidas. Considerando uma área de monitoramento A , composta por 25 pontos de demanda (d) pertencentes a A . Possui um conjunto de 5 nós sensores que estão distribuídos na cor vermelha. Em azul se encontra o raio de sensoriamento dos nós que estão ativos na

rede. Cada nó sensor tem por objetivo cobrir uma determinada área composta por pontos de demanda.

6.1 FORMULAÇÃO PARA COBERTURA

O modelo pode ser representado através de um grafo direcionado $G = (N, A)$ onde:

N conjunto de todos os nós

A conjunto de todos os arcos entre nós que estão no raio de comunicação dos sensores.

A partir dos conjuntos acima, temos os seguintes sub-conjuntos de nós:

N^s sub-conjunto de nós que são sensores.

N^d sub-conjunto de nós que são pontos de demanda.

Seja o seguinte sub-conjunto de arco:

A^c conjunto de arcos que conectam sensores a pontos de demanda.

Sejam os parâmetros:

C_i energia para ativar e manter o nó sensor i .

m parâmetro de cobertura que define o número de nós sensores que devem cobrir cada ponto de demanda.

T^1 número de pontos de demanda.

Além dos parâmetros acima, o modelo utiliza as seguintes variáveis:

$X_{i,j}$ variáveis que possuem o valor 1 se o nó sensor i cobre o ponto de demanda j e 0 caso contrário.

T_i é igual a 1 se o nó sensor i está ativo e 0 caso contrário.

Conforme proposto acima, o modelo pode ser definido como:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i \in N^s} C_i t_i \\ \text{sujeito a:} \quad & \end{aligned} \tag{0}$$

$$\sum_{(l,j) \in A^c} X_{lj} \geq m, \quad \forall j \in N^d \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N^d} X_{lj} \leq T^1 t_l, \quad \forall l \in N^s \quad (2)$$

$$0 \leq X_{lj} \leq 1, \quad \forall l \in N^s, \forall j \in N^d \quad (3)$$

$$t \in \{0,1\} \quad (4)$$

A função objetivo(0) mostra o gasto de energia em ativar e manter um só nó sensor. O conjunto de restrição (1) garante que pelo menos m sensores precisam estar cobrindo cada ponto de demanda. A restrição(2) define que um nó que está inativo para sensoriamento não deve estar atendendo a um ponto de demanda. Finalmente, a restrição(3) define as variáveis de cobertura como contínuas entre 0e1, uma vez que um ponto de demanda pode estar sendo atendido por mais de um nó sensor. Já a (4), define a (variável t) como binária.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentado um modelo matemático para o problema de cobertura em uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF). A solução do modelo fornece um conjunto de nós sensores que devem estar ativos para garantir a cobertura da área de monitoramento.

Como sugestão para trabalhos futuros, deve-se dar continuidade no artigo fazendo o estudo de algoritmos capazes de resolver o modelo proposto, algoritmos capazes de resolver o problema de cobertura e conectividade, implementação utilizando Programação Inteira Mista e Heurística e estudo de pacotes de otimização como: CPLEX, LINDO etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

LOUREIRO A.,L.Ruiz,R.Mini, and J. Nogueira. Rede de Sensores sem Fio In Simpósio Brasileiro de Computação- Jornada de Atualização de Informática,2002.

NAKAMURA, Fabiola.G.Planejamento dinâmico para controle de cobertura e conectividade, em Redes de Sensores sem Fio Planas.Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

QUINTÃO, Frederico P. Uma abordagem evolutiva para o problema de cobertura em Redes de Sensores sem Fio, DCC/ Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

MENEZES, Gustavo Campos. Modelo e Algoritmos para a definição da densidade, cobertura e conectividade em uma Rede de Sensores sem Fio. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

