

ESPECIFICAÇÃO DE PROTOCOLO DE ROTEAMENTO PARA REDE DE SENSORES SEM FIO ORIENTADO A OTIMIZAÇÃO DE ENERGIA DO SENSOR

Maristella DUQUE

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Av Treze de Maio, 2081, fone: (85) 3307-3666 Fax (85) 3307-3711,
e-mail: maristellamyrian@hotmail.com.br

RESUMO

O desenvolvimento de RSSF (Redes de Sensores sem Fio) e seu desempenho estão relacionados com a escolha do protocolo que fará a comunicação entre os diversos componentes da rede, os nós que a compõem devem possuir um roteamento eficiente para atender a demanda dos pedidos e aos requisitos da aplicação. Este artigo demonstra os critérios para o desenvolvimento de um protocolo que atenda aos requisitos de um sistema que impeça o roubo de cabos na região elétrica do Ceará, o protocolo é RSFSURCA (Rede de Sensores sem Fio para Supervisão de Roubo de Cabos). A decisão sobre qual protocolo utilizar é baseada no estudo dos diversos protocolos existente para redes de sensores sem fio e a comparação com as peculiaridades que nossa aplicação exige. Neste artigo constará o conceito de redes de sensores, levando em consideração a abordagem das redes elétricas e seu uso em um ambiente de teste o NS-2 (*Network Simulator 2*), delimitando seu uso, suas características, e seus problemas dentro dessa composição. Será explorado também o uso das redes de sensores que dão suporte às redes elétricas, seu modo de tornar-se auto-configurável e como estas dão suporte aos diversos ambientes. Os nós estão distribuídos e esperam do ambiente o evento que dispara o sensor a enviar uma mensagem que informe o rompimento de um cabo para a central. Será feito um estudo exploratório descritivo sobre o tema através da coleta de diversas informações a respeito do assunto e a visão de cada autor, que irá resultar em um volume, base de estudos, para quem deseja pesquisar e desenvolver redes de sensores sem fio para redes elétricas. O artigo a que fazemos referência não visa somente discorrer à cerca das redes de sensores sem fio, mas também aludir sobre os benefícios que a utilização correta desta tecnologia pode trazer. Esperamos que o artigo sirva de base de pesquisa e desenvolvimento para aplicações com finalidades parecidas.

Palavras-chave: Redes de Sensores sem fio, redes elétricas, protocolos de redes sem fio

1. INTRODUÇÃO

Em uma rede de sensores sem fio (RSSF) temos aspectos que devem ser observados para que ela se torne eficiente e eficaz. O modo de operação dos sensores depende da finalidade da rede, do que se espera que a rede possa cumprir. Os recursos de uma RSSF são limitados, em especial a energia e o alcance. Há dificuldades quanto à mobilidade, a redundância das informações, a inatividade do sensor no tempo e isto em um tempo de vida médio curto.

As RSSF têm sido viabilizadas pela rápida convergência da microeletrônica, da comunicação sem fio e dos micro sistemas eletro-mecânicos. São consideradas como vertente da computação ubíqua e um tipo especial de rede ad-hoc que está despertando interesse na pesquisa e que impõem uma série de novos desafios e oportunidades em diferentes áreas: Sistemas distribuídos, geometria computacional, inteligência computacional, medicina, otimização, robótica, sistemas integrados de hardware e software, micro sistemas, etc. Ela pode ser usada para monitorar e, eventualmente, controlar um ambiente. Em geral, é formada por elementos computacionais de pequenas dimensões, dotados de sensores, processadores e dispositivos de comunicação sem fio.

Os nós de uma RSSF geralmente executam uma aplicação comum de maneira cooperativa, o que não é comum nas redes tradicionais ou ad hoc. As RSSFs são ditas dependentes da aplicação. Em nível de serviço, as RSSFs são usuárias de seu próprio serviço de transporte, isto é, a rede produz a informação e deve transportá-la até seu destino garantindo o nível de qualidade de serviço estabelecido.

Neste artigo iremos mostrar como um protocolo de RSSF que cumpra seu papel com o máximo de desempenho em ambientes dinâmicos, pode garantir a segurança dos cabos elétricos, atendendo aos requisitos que se fazem necessários para sua implementação.

2. PARÂMETROS DA REDE

As RSSFs apresentam restrições sérias de energia. Tanto o sensoriamento, quanto a computação e comunicação dos dados, são consumidores de energia. Existem algumas estratégias para redução do consumo de energia da rede aumentando a sua longevidade, conforme é apresentado na figura 1. Com a finalidade de implementar um protocolo que leve em consideração as restrições de energia quanto a comunicação multisaltos, utilizamos a seguinte abordagem: apresentamos um modelo elétrico do nó sensor para análise, a fim de se determinar o tamanho ótimo do pacote de um nó sensor em relação a sua vida útil e para determinar quais as fontes de consumo e fornecimento de energia que estão embutidas no nó sensor; e apresentaremos um modelo de roteamento que utilizará uma função ótima, dependente da função de carga e descarga da bateria do sensor, e que determinará o tamanho do salto na entrega da mensagem para que o consumo de energia seja mínimo.

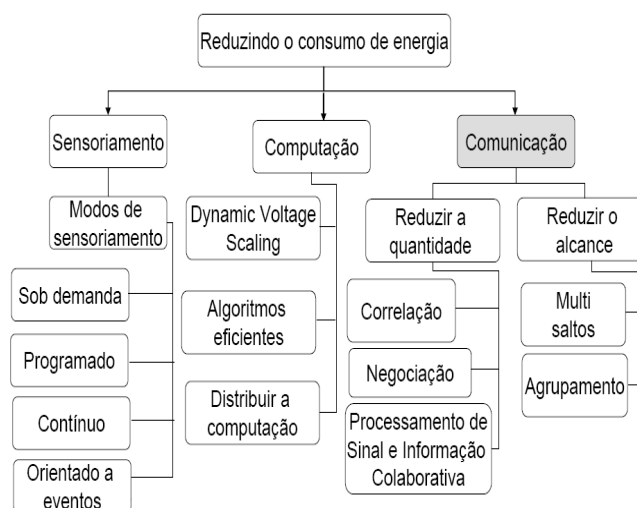


Figura 1 – Consumidores de energia

Uma vez tendo sido caracterizado o problema, foi buscado uma modelagem matemática do esquema elétrico do sensor com a finalidade de se encontrar uma otimização para a rotina multi saltos do elemento sensor em relação ao consumo de energia.

Dentre os parâmetros para configuração de redes de sensores sem fio, apontadas por Luz (2004, p. 35), foram definidos quais seriam as características que atenderiam o escopo para a implementação de um protocolo. Segundo a configuração:

- Composição: heterogênea, os nós possuem capacidades físicas diferentes.
- Organização: plana, os nós não serão organizados em aglomerados.
- Mobilidade: móvel, os nós poderão eventualmente ser deslocados.
- Densidade: balanceada, os nós ocuparam a área de acordo com a concentração e distribuição.
- Distribuição: irregular, o nós estarão na área sem uma ordem definida.

Segundo o sensoriamento.

- Coleta: reativa, ao ocorrer eventos ou a pedido de um observador, os nós enviam mensagens.

Segundo a comunicação:

- Disseminação: programada, os nós disseminam os dados em intervalos regulares.
- Conexão: simétrica, todas as conexões, com exceção do sorvedouro possuem o mesmo alcance.
- Transmissão: simplex, os nós possuem transceptores que somente transmitem informações.
- Alocação do canal: estática, a largura de banda será dividida entre todos os nós que desejarem comunicar.
- Fluxo de informação: inundação (*flooding*), os nós enviam a todos que passam a informação adiante.

Segundo Processamento:

- Cooperação: infra-estruturadas, os nós executam procedimentos relacionados com acesso ao meio, roteamento, eleição de líderes, etc.

O nó sensor, ilustrado pela figura 2, é formado por um módulo transceptor, capaz de enviar e receber informações via rádio, um processador, com a finalidade de capturar os dados do sensor, processá-los e enviá-los por meio do transceptor, uma memória para armazenamento de dados enquanto não houver comunicação, o sensor propriamente dito e uma bateria para alimentar o sistema como um todo []. Eventualmente um nó sensor por ser conectado a fontes de energia auxiliares que permitam uma recarga da bateria com a finalidade de aumentar sua vida útil.

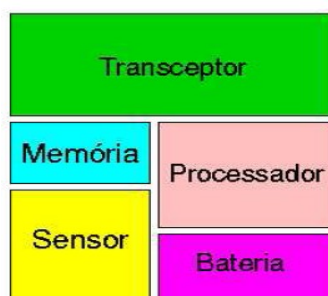


Figura 2 - Diagrama de blocos básico de um nó sensor

Afim de se determinar o tamanho ótimo do pacote de um nó sensor em relação a sua vida útil, foi definido o seu modelo elétrico para análise.

3. LIMITAÇÕES

De acordo com Luz (2004, pg. 10), devemos observar algumas métricas de desempenho para avaliarmos uma rede de sensores sem fio, que são: “(...) eficiência no uso da energia e vida útil do sistema, latência, precisão, tolerância a falhar, escalabilidade e exposição dos sensores”

Para determinar quais as fontes de consumo e fornecimento de energia, o nó sensor foi dividido em quatro subsistemas: a) Subsistema de processamento de dados, compreendidos pelo conjunto processador e memória, b) o subsistema de comunicação de dados compreendendo o transceptor, c) subsistema de sensoriamento, compreendendo a conexão entre o nó sensor e o mundo externo e d) o subsistema de alimentação.

a) Unidade de Processamento

Provendo inteligência ao sensor, a unidade de processamento é responsável pela aquisição dos dados do subsistema de sensoriamento, processamento destes dados, controle e envio das informações processadas para subsistema de comunicação. Composta basicamente por um microcontrolador e circuitos elétricos auxiliares (resistores, leds, entre outros) possui a finalidade também de gerenciar a energia consumida pelo sistema com um todo. A escolha do subsistema de processamento é uma tarefa em que deve ser levado em conta a performance desejada pelo sistema e o seu consumo de energia. Para o projeto foi utilizado o PIC 18F452. O microcontrolador pode operar nos modos *Active*, *Idle* e *Sleep*, sendo os dois últimos modos de consumos reduzidos. Entretanto, apenas o modo *Active* foi utilizado devido as características da aplicação, que opera por técnicas de *pooling* para aquisição de dados do sensor e controle do sistema de comunicação. Dessa forma, podemos reduzir o modelo elétrico da unidade a um resistor, de acordo com a figura 4. A partir de medidas realizadas, foram encontrados os valores de corrente para a unidade de processamento de 24,5 mA, e com alimentação regulada a 5 Volts, definindo o $R_p = 122,5 \Omega$.

b) Unidade de Sensoreamento.

Sensores são transdutores que fenômenos físicos em sinais elétricos e podem ser classificados em analógicos ou digitais, dependendo das saídas produzidas por eles. Existe uma variedade de sensores para as mais diversas aplicações, como temperatura, luminosidade, umidade, entre outros. O nó sensor proposta utiliza três sensores, sendo um de corrente de fuga em isoladores de alta tensão, umidade e temperatura. Para fins de modelagem, foram considerados apenas os sensores de temperatura e umidade. Foi utilizado o circuito integrado SHT1X, sensor digital cujo consumo médio é de 140 μW . Como potência consumida pelo sensor é muito inferior ao consumo do grupo composto pelas unidades de processamento e comunicação, resolvemos eliminá-las do modelo elétrico proposto.

c) Unidade de Comunicação de Dados.

A unidade de comunicação de dados é responsável pela transferência de dados do nó sensor para o sorvedouro. Essa transferência é realizada por meio de outros nós sensores presentes na sua vizinhança. Portanto o sistema de comunicação de dados deve enviar as informações relacionadas as medições do próprio nó sensor ou receber as informações dos vizinhos e decidir quanto ao repasse ou não destes dados. Diversos fatores podem influenciar as características de potência consumida pelo rádio, tais como a modulação, taxa de transferência, potência de transmissão e o *duty cycle* operacional. Em geral, os rádios podem operar em quatro modos distintos: transmissão, recepção, *idle* e *sleep*. Vale ressaltar, que na maioria dos rádios, as operações *idle* e recepção possuem consumos de potência bem próximos e, em geral, menores que as potências de transmissão e maiores que o modo *sleep*. O rádio utilizado no projeto foi o ER400TRS, operando na frequência de 433MHz. Considerando que o elemento de maior consumo em um rádio como seus amplificadores, podemos representá-lo em nossa modelagem um circuito amplificador reduzido, conforme mostrado na figura 4. Ainda na figura 4, podemos visualizar dois esquemas de amplificadores, sendo um definido para o modo de transmissão (R_t e V_{cet}) e outro para o módulo recepção/*idle* (R_r e V_{cet}), considerados para efeitos de modelagem como idênticos. Foram realizadas medidas de corrente para os modos de transmissão e recepção/*idle* de onde se determinou, por meio de uma simplificação por resistor, os seguintes valores visualizados na tabela 1, considerando a tensão de alimentação de 5V.

Modo de Operação	Corrente (mA)	Resistência Equivalente (Ω)
Transmissão	39.8	125
Recepção/Idle	25.5	196

Tabela 1. Consumo do Rádio

d) Unidade de Alimentação

O subsistema de alimentação de um nó sensor é normalmente formado por baterias. As baterias são um elemento vital para um nó sensor, já que esta determina seu tempo de vida. Baterias são dispositivos de modelagem complexa cujas operações dependem de diversos fatores incluindo capacidade, tipo de material utilizado no eletrodo e a taxa de difusão dos materiais ativos nos eletrólitos. Além dessas características, existem outras perturbações que podem afetar diretamente o tempo de vida da bateria, tais como a taxa de decaimento da bateria e o efeito relaxação. Essa taxa é de suma importância para a determinação do tempo de vida da bateria. Toda bateria possui uma capacidade máxima de dreno de corrente especificado em A/h pelo fabricante. Drenando altas correntes por longos períodos de tempo, os eletrodos sofrerão desgaste acentuado e reduzindo a expectativa de tempo de vida da bateria. Por outro lado, se as ocorrerem cortes ou reduções do consumo de corrente na bateria, o efeito de relaxação permite um comportamento em que o tempo de vida da bateria se estenda em relação ao consumo médio sem cortes bruscos de seu consumo.

A modelagem matemática dos efeitos citados é complexa e normalmente sem correspondência para o modelo elétrico. Para o nosso trabalho, resolvemos levantar a curva de descarga, de acordo com a figura 3. Para tanto, colocamos a o nó sensor com a unidade de comunicação em com uma taxa de 2/3 do ciclo de operação em transmissão e 1/3 do ciclo de em recepção, condição considerada extrema para a o modelo de rede proposto. A partir da curva levantada foi desenvolvido um modelo empírico com uma fonte de tensão ideal (V_b) e uma resistência variável (R_b) com o tempo, conforme mostrado na figura 4.

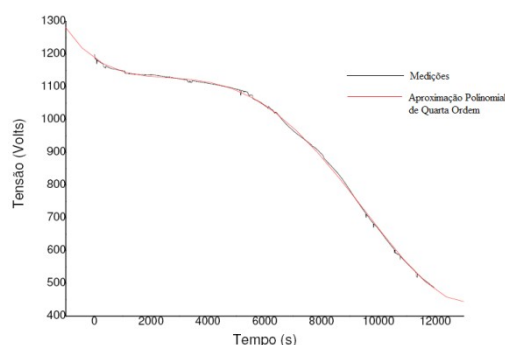


Figura 3. Curva de Descarga da Bateria

A partir dos dados obtidos da medição foi definida uma função por meio de aproximação polinomial e a equação (1) que descreve a tensão da bateria em função do tempo foi encontrada:

$$\Delta U_b(t) = 11,87 - 6,19 \times 10^{-4}t + 2,36 \times 10^{-7}t^2 - 3,86 \times 10^{-11}t^3 + 1,58 \times 10^{-15} \quad (1)$$

Uma vez definido individualmente os modelos elétricos de cada unidade que compõe um nó sensor, a figura 4 serve para visualizar o modelo elétrico completo de um nó sensor.

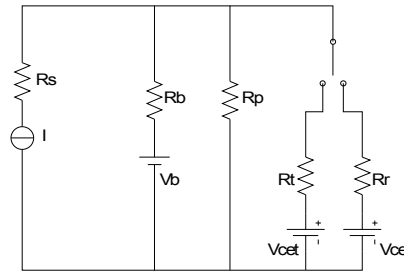


Figura 4. Esquema elétricos equivalente do nó sensor

No modelo de RSSF proposto, a operação dos nós é definida em ciclos, com cada ciclo dividido entre transmissão e recepção/*idle*. Devido aos valores de R_t e R_s serem consideravelmente diferentes, a potência demandada para a transmissão e recepção são diferentes. Dessa forma, podemos escrever a potência requerida da bateria pelo sistema de rádio em função de sua corrente $I(t_k)$, já que a tensão é regulada, sobre o sistema de rádio como uma analogia a um sistema PWM [...] e escrevê-lo da seguinte maneira:

$$I(t_k) = \begin{cases} I_t(p), & t_k < t \leq t_k + \delta T_s \\ I_r(p), & t_k + \delta T_s < t \leq t_k + T_s \end{cases} \quad (2)$$

Teremos $I_t(p)$ a corrente requerida pelo rádio nos ciclos de transmissão, $I_r(p)$ a corrente nos ciclos de recepção/*idle* e $p \in [0,1,2,3]$, definido como os níveis de potência possíveis para o rádio na aplicação. Fazendo $t_k = kT_s$, $k \in \mathbb{N}$, o incremento de tempo, δ uma função que varia dentro do intervalo $[0;1] \subset \mathbb{R}$ definido aqui como ciclo de transmissão. A frequência do ciclo de transmissão não varia e é definido como $T_s = T_{on} + T_{off}$, onde T_s é o janela de tempo de operação do nó sensor, T_{on} é a janela de tempo de transmissão e T_{off} o tempo em que o nó sensor está em modo de escuta. O ciclo de transmissão pode ser então definido como uma relação entre a janela de tempo de transmissão e a janela de tempo de operação do nós sensor $\delta = T_{on}/T_s$ ou definida pela relação entre a corrente média que requisitada pelo sistema de rádio, i , da seguinte forma:

$$(2\delta - 1) = i/I_t(p) \quad (3)$$

A relação entre a fonte de corrente primária e a média de corrente nos terminais do rádio pode ser representada pela seguinte maneira:

$$i(t) = \delta'(t)I_t(p) \quad (4)$$

$$\text{com } \delta' = (2\delta - 1) \in [0; 1] \subset \mathbb{R}$$

O consumo do rádio (parcela variável da carga) é obtida por meio do sistema bateria + célula solar cujo ganho é sujeito ao consumo dos demais componentes eletrônicos encontrados no sistema e necessários a operação do nó sensor, como o próprio sensor, processador, memórias entre outros, conforme esquema elétrico visualizado na figura 4. Por meio de (3), é preciso notar que o controle de potência de saída do rádio é assumido por meio do ciclo de transmissão $\delta(t)$. A dinâmica da variação é restrita ao intervalo $[0; 1] \subset \mathbb{R}$,

independentemente do valor de I . Neste contexto, podemos escrever a equação de balanço de energia conforme mostrado a seguir:

$$V_b I_b - \Delta U_b(t, p) I_b \geq R_p I_p^2 + R_t \delta I_t^2(p) + R_r (1 - \delta) I_r^2(p) \quad (5)$$

Onde $\Delta U_b(t, p)$ é a variação de energia armazenada na bateria em função do tempo e do nível de energia requisitado, de acordo com a equação (1). Podemos considerar também que V_b, I_b, R_p, I_p, R_t e R_r são constantes, uma vez que modelamos a bateria a partir de uma fonte de tensão ideal,

4. PROTOCOLO DE DISSEMINAÇÃO DOS DADOS

Os protocolos de disseminação de dados são mecanismos de elaboração de mapas ou tabelas pelas quais os nós sensores descobrem informações sobre a rede [2]. Visando eficiência energética no redirecionamento dos pacotes na rede, os nós necessitam trocar entre si informações sobre o ambiente da rede. Os protocolos de roteamento existentes para as redes convencionais ou para as redes móveis *ad-hoc* não são adequados neste contexto, pois não consideram suas limitações e características. Nesse caso, os protocolos devem ser projetados para maximizar o tempo de vida da rede [3]. Cada particularidade deve ser considerada, pois podem gerar problemas ou permitir que uma técnica específica de roteamento possa ser empregada. As principais características [5] a serem aperfeiçoadas de um protocolo de roteamento para RSSF são: minimizar o consumo de energia; maximizar o tempo de vida útil dos nós; ser tolerante a falhas e garantir eficiência na comunicação.

Nesse sentido, conforme a mostrado na seção anterior, definimos o comportamento da bateria de um nó sensor por meio de seu modelo elétrico e considerando que desejamos otimizar a banda passante em relação ao consumo da bateria, propomos então um algoritmo multisalto para roteamento de dados em RSSFs em uma arquitetura *flat*.

A construção do protocolo foi realizada a partir das características intrínsecas da aplicação. A aplicação é definida como um conjunto finito de elementos sensores dispostos em linha, cada qual distante um do outro a no máximo 250 metros, conforme visto na figura 3. Estes elementos sensores são compostos basicamente por um sistema de carga de bateria, uma bateria, o elemento sensor de falha no isolador (corrente de fuga), sensor de umidade e temperatura e o sistema de comunicação sem fio, conforme descrito e modelado na seção 2. O sistema de comunicação sem fio é composto por um rádio de baixa potência que permitem alcances de comunicação de rádio em campo aberto até 250 metros.

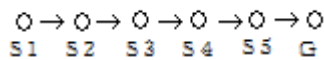


Figura 5. Disposição Espacial dos Sensores em Linha

A partir das características da aplicação, um protocolo com encadeamento para frente ou para trás é utilizado em conjunto com protocolos do tipo *flooding* baseados em contenção [1]. Utilizando como base a especificação IEEE 802.3 e protocolos de difusão direta como referências, a estrutura do pacote do protocolo proposto é apresentado na figura 6.

SFD	DEST	ORG	NOATUAL	NODIR	NOHOP	DATA	FCS
1	3	3	3	1	1	0.255	2

Figura 6. Estrutura Quadro do Protocolo

O primeiro quadro, denominado SFD - *start frame data* - é o campo que indica início de transmissão de um quadro. O quadro SFD evita que qualquer elemento inicie o processo de recebimento de um quadro por motivos errados, como interferências que venham ser confundidas como um dado válido. Os campos destinatário (DEST) e origem (ORG) servem para endereçamento dos elementos sensores que devem ser

distribuídos de forma unívoca. A atribuição dos endereços dos sensores é realizada de forma automática assim que o sensor é inserido na rede. Apenas o *gateway* possui endereço fixo de valor máximo permitido (FFFFFFH), já que todos os nós sensores só encaminham dados para este. Quando um sensor é inserido na rede, ele requisita ao sensor vizinho seu endereço. Neste caso as potências dos sistemas de comunicação devem ser programadas para a requisição de resposta do sensor mais próximo apenas, através de incremento gradual e esquemas de requisição e espera de resposta para detecção de sensores. De posse do endereço de rede de seu vizinho, o sensor atribui seu valor com o endereço do vizinho decrementado de um. O campo NOATUAL indica, no esquema de transmissão, qual o nó atual de transmissão. O campo NODIR indica a direção (0-Frente/1-Trás) do encadeamento utilizado na transmissão do pacote. O campo NOHOP indica a quantidade de saltos que o pacote pode realizar a partir do nó atual. O campo de dados é uma sequência de n octetos e tem tamanho variável de acordo com o campo comprimento, e contém informações referentes ao comando do frame. E, finalmente, o campo FCS contém um verificar de redundância cíclica (CRC 16) de dois octetos, cujo valor é gerado através de um polinômio gerador, conforme a equação (3).

$$G(x) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1 \quad (6)$$

4.1 Modelagem em Redes de Petri Colorida do Protocolo

Redes de Petri por ser uma técnica de especificação de sistemas seu uso possibilita representar matematicamente o funcionamento do protocolo, assim como usá-lo como mecanismo de análise. Onde se verifica as propriedades e a corretude do sistema de envio de mensagens. O modelo seguido é não-determinístico e seu formalismo possibilita a verificação da existência de *deadlocks*. O sistema de envio de mensagem abaixo nos mostra com funciona o protocolo para redes de sensores sem fio.

Para fins de modelagem, utilizamos Redes de Petri Colorida para descrever o comportamento do protocolo proposto. O software utilizado para simular o modelo em foi o CPN Tools, e podemos visualizar o modelo nas figuras 7a e 7b. Pela simulação, observaram-se algumas características importantes, tais como: a rede é inicializável e não apresenta nenhum tipo de bloqueio em sua execução.

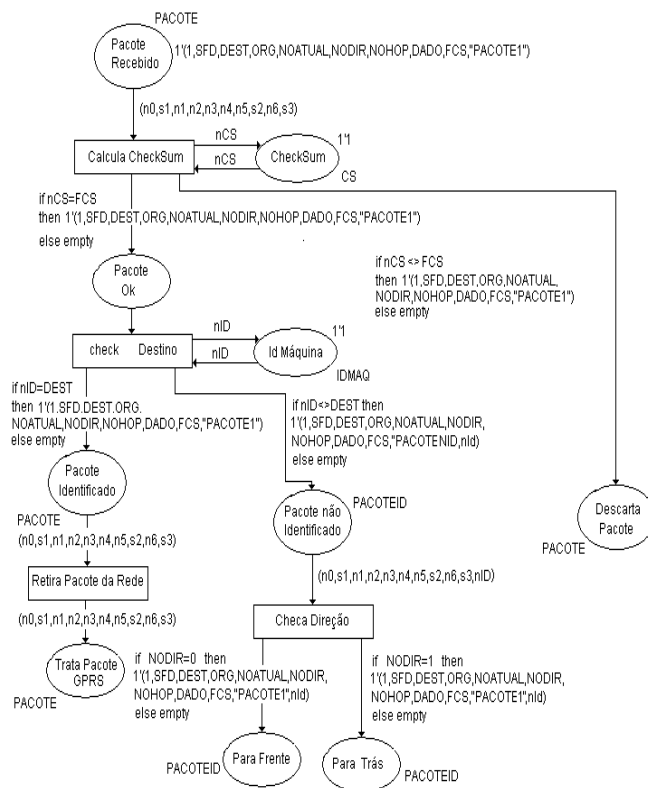


Figura 7a. Modelo em RPC

Podemos observar na figura 7a que quando um pacote é recebido, enviado por outro nó sensor ou pelo sistema de sensoriamento, é inicialmente analisada sua integridade. A função descrita na equação (6) é

responsável pela decisão de descarte do pacote ou não. Não há transmissão de pacotes de erro para evitar tráfego excessivo e desgaste da energia dos nós sensores para envio destes pacotes.

Uma vez que o pacote seja considerado válido, é verificado se o destino foi encontrado. Em caso positivo, o pacote é retransmitido a rede de longa distância, que no caso da aplicação, foi escolhida a rede GPRS. Caso contrário, a análise do pacote continua para determinação da retransmissão, ou não, deste pacote. Essa funcionalidade, entretanto, só é utilizada para o nó sensor sorvedouro e deve ser ignorada nos demais nós sensores da rede, já que não existem comunicações ponto a ponto em uma RSSF e processamento desnecessário implica em desgaste de energia e perda de banda passante.

A decisão da retransmissão dentro da RSSF passa inicialmente por qual direção o pacote deve seguir (para frente ou para trás). A definição da direção da retransmissão é definida pelo nó origem, através do campo NODIR, e não é modificada em nenhum momento dentro da rede. Essa decisão possui a finalidade de qual estratégia o nó que está analisando o pacote irá utilizar para definir se retransmite ou não o pacote. A figura 7b ilustra as duas estratégias de retransmissão.

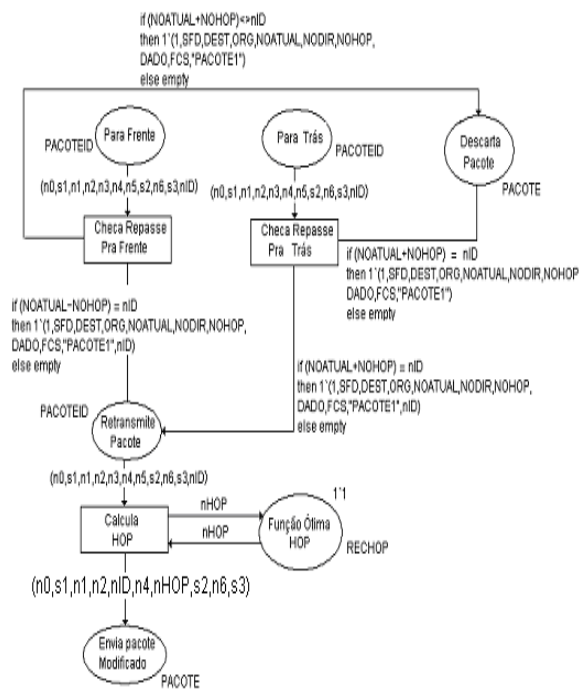


Figura 7b. Modelo em RPC

Em ambas as estratégias da, o nó sensor avalia os campos NOATUAL, NOHOP e seu endereço. A soma dos campos NOATUAL e NOHOP indica o endereço do nó que deve retransmitir o pacote e deve coincidir com endereço do nó que está recebendo o pacote. Essa afirmação é válida o caso do encadeamento para trás. No caso do encadeamento para frente o NOATUAL deve ser subtraído do NOHOP para indicar o nó que deve retransmitir. Se os resultados das operações entre NOHOP e NOATUAL não coincidirem com o Identificador do nó em questão, o pacote é descartado. Caso contrário, o pacote é retransmitido, substituindo-se os campos NOATUAL do *header* do pacote recebido pelo seu identificador e atualizando o campo NOHOP. A atualização do campo NOHOP é realizada pela função levantada na seção 2.

5. SIMULAÇÃO

O *Network Simulator 2* simula redes de sensores, utilizando protocolos existentes ou novos protocolos. A linguagem utilizada pelo NS2 é Otcl e C.

Dentro da interface NAM podemos ver como funciona o protocolo na situação descrita abaixo. A figura 8 exemplifica o protocolo de transmissão com encadeamento para frente.

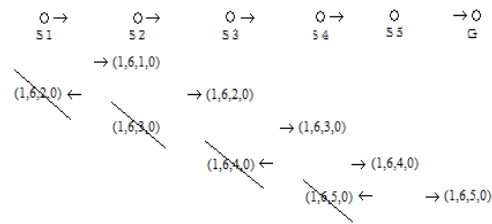


Figura 8. Transmissão do pacote

Vamos supor, para efeito de descrição de cenários, o *gateway* com o endereço 6. O sensor 1 está enviando uma leitura para o *gateway*. Ele então transmite para o sensor vizinho o pacote com os campos ORIG = 1, DEST=6, NOATUAL=1 e NODIR=0. Consideremos também NOHOP = 1 para todos os sensores. O sensor 2 ao receber o pacote analisa inicialmente se o campo de DEST corresponde ao seu próprio endereço. Em caso negativo, ele tentará retransmitir o pacote. Para isso ele subtrai o valor do seu próprio endereço com o valor do campo NOATUAL. Como o NODIR está indicando encadeamento para frente ele e o resultado da subtração é positivo, o pacote está apto a ser transmitido, apenas modificando o valor do campo NOATUAL, que receberá o valor do endereço do nó atual. Na retransmissão pelo sensor 2, os sensores vizinhos irão receber o pacote representado pela tupla (1,6,2,0), indicando respectivamente os valores de de ORG, DEST, NOATUAL e NODIR. Neste exemplo, os nós 1 e 3 receberão o pacote de retransmissão. O sensor 1, por sua vez, ao executar o protocolo, encontrará um valor negativo na subtração entre o valor de seu endereço e o valor do campo NOATUAL, descartando o pacote. Isso evita que o pacote seja retransmitido por um sensor onde ele já esteve anteriormente.

O protocolo funciona no modo de requisições/respostas de um nó sensor ou fluxo contínuo de leituras. Em qualquer um dos casos, o destino é sempre o *gateway* com o endereço fixo em FFFFFFFH. No modo de fluxo contínuo de leituras, cada nó transmite o pacote com o valor da leitura do sensor em encadeamento para frente.

6. CONCLUSÃO

Foram feitos os estudos às métricas de desempenho para criação de um protocolo para redes de sensores sem fio, sua utilização em ambientes inóspitos e sua configuração de acordo com os parâmetros pesquisados no início e definidos para a criação do mesmo. A preparação do protocolo utilizado para as redes de sensores sem fio, feita matematicamente em Rede de Petri foi testada no *Network Simulator 2* para a avaliação de seu desempenho.

A plataforma para gerar o modelo em rede de petri mostrou a eficiência do protocolo, permitindo correções de erros e prevendo *deadlocks*. Os testes foram executados e apresentados para análise e a partir deles, foram melhorados para a próxima demonstração.

O uso do protocolo para roubos de cabos se mostrou uma solução que une a eficiência das novas tecnologias de redes de sensores e a necessidade de se manter em uso equipamentos em ambientes inóspitos.

Dentro das expectativas de um protocolo que atingisse as métricas de alto desempenho e baixo consumo de energia, o protocolo criado foi satisfatório. As complicações de sua implementação estão na transferência dos protocolos para suas condições reais que acarretaria em um aumento no consumo de energia, pois na simulação, não se tem uma real resposta sobre seu gasto.

7. REFERÊNCIAS

Al-Karaki, J.N. Kamal, A.E. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey. IEEE Wireless Communications, v. 11, n 6, p 6- 28, Dez, 2004.

ALVES, Nilton Jr. **Introdução as Redes Wireless**. Nota técnica- CNPF-NT-001/05. Disponível em: http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/nt00105.2006_01_30_16_14_17.pdf Acesso em: 19 fev. 2008.

C. Rahul, J. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), v.1, Março, 2002, Orlando, FL, p. 350-355.

C. Schurgers and M.B. Srivastava, **Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks**. *MILCOM Proc. Commun. for Network-Centri*, Force McLean, VA, 2001.

CAMILO, T. et al. **Redes de Sensores sem fios**: considerações sobre sua instalação em ambiente real. Disponível em: <<http://ubicomp.algoritmi.uminho.pt/csmu/proc/camilo-125.pdf>> Acesso em: 16 jan. 2008.

Defense Advanced Research Projects. **RFC 791 - Internet Protocol**. Califônia, 1981.

FAÇANHA, Thiago dos Santos. **Rede de Sensores sem fio**: Uma abordagem para detecção de falhas em sistemas elétricos. (Tecnólogo em Telemática)-CEFetCE, 2007.

I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci. **A survey on sensor networks**. IEEE Communications Magazine, Volume: 40 p: 8, p .102-114, August 2002.

L. Subramanian, R. H. Katz. **An Architecture for Building Self Configurable Systems**. *IEEE/ACM Wksp. Mobile Ad Hoc Net. and Comp.* Boston, MA, Agosto, 2000.

LOUREIRO, Antônio A.F. **Redes de Sensores sem fio**. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), maio 2003

LUZ, Giulian Dalton. **Roteamento em Redes de sensores**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)-Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004

MOREIRA, Marcelo D.D. **Introdução às redes de sensores sem fio**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/06_1/rssf/sensores.html> Acesso em: 19 fev. 2008.

PEREIRA, Marluce R. et al. **Tutorial sobre Redes de sensores**. Disponível em: <<http://magnum.ime.uerj.br/cadernos/cadinf/vol14/3-clicia.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2008

ROCHA, João W.V. **Redes de sensores sem fio**. Tutorial sobre estudo da tecnologia de redes de sensores sem fio, publicado em 20 ago. 2007. Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/default.asp> > Acesso em 19 jan. 2008

RUIZ, Linnyer Beatrys et al. **Arquiteturas para Redes de sensores sem fio**. Disponível em: <<http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/pdf/mc-sbrc2004.pdf>> Acesso em: 13 jan. 2008

Technical Committee on Computer Communications of the IEEE Computer Society. **An American National Standard IEEE Standards for Local Area Networks: Supplements to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications**. 1987, ANSI/IEEE Std 802.3a,b,c, and e-1988.

TEIXEIRA, Ingrid. **Roteamento com balanceamento de consumo de energia para redes de sensores sem fio**. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005

Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin. **Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing**. 7th Annual ACM/IEEE Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net., 2001, p. 70-84.

W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan. **Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks**, **Proc. 5th ACM/IEEE Mobicom Conference (MobiCom '99)**, Seattle, Agosto, 1999. p. 174-85.