

APLICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSFs) PARA ENGENHARIA AMBIENTAL

Cloves Seidel¹, Fernando Macêdo Ferreira¹, Etienne César Ribeiro de Oliveira¹

Abstract — People have been more and more concerned about the environment preservation; corporate, governmental, and non-governmental environmental programs are more and more intense. This work aims at promoting a study on the use of WSN (Wireless Sensor Networks) applied to Environmental Engineering, as to evaluate the applicability of sensing remote areas, mainly where the environment can be damaged by the existence of industrial facilities. The network simulator ns-2 will allow us to measure the efficiency of the Directed Diffusion network protocol, as well as of the diffusion algorithms 1PP, 2PP and PUSH, in a scenario where the sensors will monitor events that may affect the environment. The results of such simulations will be analyzed and commented, what will lead to the best solutions for the described scenarios.

Index Terms — Sensor Networks, Environmental Monitoring, Environmental Engineering.

INTRODUÇÃO

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 [3]. Como as premissas da engenharia ambiental visam avaliar e minimizar os impactos ambientais indesejáveis e, principalmente, reduzir os efeitos adversos das atividades produtivas nos meios físicos e biológicos, entende-se que as Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) apresentam-se como uma excelente ferramenta para o cumprimento destas tarefas.

Este trabalho apresenta alternativas para o controle e monitoramento de áreas florestais, principalmente onde o meio ambiente possa sofrer alguma agressão devido a existência de instalações industriais.

A seção RSSFs – Redes de Sensores Sem Fio descreve os componentes, as características e as aplicações das Redes de Sensores Sem Fio. Já a seção *Directed Diffusion* apresenta o protocolo *Directed Diffusion* [3,6], utilizado nas simulações realizadas. A seção Simulações descreve o escopo e os cenários das simulações. Por fim, a seção Conclusão comenta os resultados obtidos a partir das

simulações descrevendo a aplicabilidade dos algoritmos de difusão 1PP, 2PP e Push do protocolo de roteamento para redes de sensores *Directed Diffusion*.

RSSFs – REDE DE SENSORES SEM FIO

De acordo com [2], [3], [4] e [5], entre outros, avanços recentes na tecnologia de sensores podem ser observados no desenho de novos sistemas operacionais, na transmissão de dados em RF (Rádio-Freqüência) com baixo consumo de energia e no uso da tecnologia de micro sistemas eletrônico-mecânicos (MEMS – *Micro-Eleto-Mechanical Systems*), que é capaz de prover sensores compactos, confiáveis e de baixo custo.

Os avanços descritos influenciaram positivamente os protocolos de roteamento para redes de sensores, possibilitando o desenvolvimento de novos protocolos e o aprimoramento dos protocolos existentes. Com base nas afirmativas anteriores, é possível supor que os protocolos de roteamento para RSSFs (Redes de Sensores Sem Fio) podem ser avaliados como uma ferramenta de controle e monitoramento para a Engenharia Ambiental.

As referências [2] e [3] definem sensores como pequenos dispositivos, com baixo consumo de energia, capazes de auto-organização, cooperação, processamento, comunicação e monitoramento de objetos, animais, condições meteorológicas etc. Colônias de sensores podem ser lançadas ou estrategicamente posicionadas em locais inóspitos ao ser humano, provendo informações cruciais para a tomada de decisão ou para pesquisas científicas. A FIGURA 1 apresenta alguns exemplos de sensores.

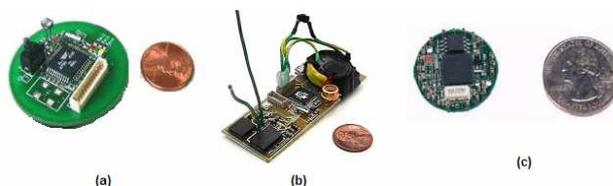


FIGURA 1

EXEMPLOS DE SENSORES (A) E (B) COTS DUST E (C) JPL COM TINYOS [4,7]

A tecnologia para o desenvolvimento de sensores para RSSFs encontra-se disponível no meio acadêmico e comercial. Entre os projetos em desenvolvimento, podemos citar o Smart Dust, Macro Motes e Mica Motes da Universidade de Berkeley, MicroAmps do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), WINS da UCLA (*University of California, Los Angeles*), SensorWeb do JPL

¹ Cloves Seidel, Fernando Macêdo Ferreira, Etienne César Ribeiro de Oliveira, Unigranrio – Universidade do Grande Rio, Rua Professor José de Souza Herdy, 1160, Bairro 25 de Agosto, Duque de Caxias, RJ, Brasil, cloves.seidel@gmail.com, fmferreira@ibest.com.br, etienne.oliveira@unigranrio.edu.br

(*Jet Propulsion Laboratory*) e do *California Institute of Technology*, SCADDS (*Scalable Coordination Architectures for Deeply Distributed Systems*) etc [5].

Componentes

Uma rede de sensores pode ser formada por centenas ou até milhares de sensores posicionados dentro do fenômeno a ser observado ou próximo a ele, que são, de fato, dispositivos compostos de transceptor, fonte de energia, unidade de sensoriamento, processador e memória. Como as redes de sensores sem fio são capazes de se auto-organizar, torna-se dispensável um planejamento minucioso de posicionamento dos sensores.

Os principais elementos de uma RSSF são: o sensor, o observador e o fenômeno observado [8].

- O sensor é um dispositivo que tem por finalidade fazer uma monitoração de um determinado fenômeno e efetuar a transmissão das medidas observadas através de uma comunicação sem fio. Os sensores fonte podem ser equipados com vários tipos de sensores, tais como acústico, sísmico, infra-vermelho, calor, temperatura, pressão etc. Um sensor fonte consiste, tipicamente, de uma unidade de sensoriamento (sensor), memória, bateria, processador embarcado e um transmissor-receptor [4, 9];
- O observador caracteriza-se pelo usuário final que deseja obter informações disseminadas pela rede de sensores sobre o fenômeno observado. Cabe ao observador determinar interesses (consultas) à rede de sensores e receber respostas às solicitações. Múltiplos observadores podem coexistir em uma rede de sensores [9].
- O fenômeno caracteriza pela entidade cujo observador mantém interesse e que está sendo monitorada pela rede de sensores. As informações coletadas podem ser analisadas e filtradas pela rede de sensores, assim como é possível a observação concorrente de múltiplos fenômenos em uma única rede de sensores [9].

Características

Por se tratar de uma variação de redes ad hoc, algumas características são compartilhadas entre as RSSFs e as MANETs (*Mobile Ad-hoc Networks*) [10, 11], tais como:

- Topologia Dinâmica – Os sensores de uma RSSFs podem se deslocar de forma dinâmica e imprevisível, continuamente ou em movimentos esparsos, alterando constantemente a topologia da rede e estabelecendo enlaces de comunicação simétricos e assimétricos. A mudança da topologia decorrente da mobilidade de algum sensor deve ser identificada, em algum momento, pelos demais sensores da rede;
- Largura de Banda Limitada – Quando comparada com as redes cabeadas, as redes sem fio apresentam, de fato, uma largura de banda limitada. Além disso, a variedade da capacidade dos enlaces de comunicação, os efeitos

provenientes do compartilhamento de acesso ao meio de transmissão e as interferências afetam, de forma significativa, a taxa máxima de transmissão dos rádios-transmissores;

- Capacidade Limitada de Energia – Alguns sensores de uma RSSF podem ter sido dispostos em locais de difícil acesso ou inóspitos e, desta forma, a única fonte de energia pode advir de baterias. Como a substituição destas baterias muitas vezes é impossível ou inviável, o consumo de energia torna-se um dos principais quesitos a ser contabilizado pelos protocolos;
- Segurança – O fato de muitos sensores de redes sem fio estarem localizados em áreas externas ou do sinal da rede alcançar áreas externas torna as redes sem fio mais vulneráveis que as redes cabeadas;
- Rede Descentralizada – O fato de não haver um ponto central nas redes ad hoc implica a possibilidade de múltiplos caminhos entre um remetente e um destinatário, aumentando a robustez da rede em caso de falhas dos sensores.

O fato das RSSFs permitirem a comunicação entre sensores através de múltiplos saltos pode ser considerada uma das características mais importantes, principalmente quando consideramos o quesito área de cobertura. O fato de um par de sensores (sensor fonte e sensor sorvedouro) não estar um ao alcance do outro não implica, obrigatoriamente, que os mesmos não poderão se comunicar, pois a existência de sensores intermediários poderá viabilizar a comunicação. Neste tipo de comunicação, os sensores intermediários atuam como roteadores, recebendo e encaminhando dados (*store and forward*).

Uma relação abrangente de características de redes de sensores, tais como composição, organização, mobilidade, densidade, tipo de coleta de dados etc, pode ser encontrada em [5]. Algumas das principais características, inerentes às RSSFs, são apresentadas nas sub-seções seguintes.

Roteamento Centrado em Dados

A referência [6] descreve um novo paradigma onde, diferentemente das redes tradicionais, nas redes de sensores, os sensores não necessitam ter uma identidade, isto é, um endereço. Conseqüentemente, as aplicações desenvolvidas para redes de sensores não são capazes de efetuar questionamentos clássicos como: “Qual a temperatura no sensor 14?”. As aplicações desenvolvidas para redes de sensores mantêm o foco nos dados, os quais são identificados por atributos e podem ser localizados comparando-se os valores coletados pelos sensores com os valores dos atributos requisitados pelas aplicações.

De acordo com a abordagem apresentada, as aplicações desenvolvidas para redes de sensores devem efetuar questionamentos como: “Onde encontram-se os sensores cuja temperatura recentemente ultrapassou os 30 graus?” ou “Em qual área a umidade está abaixo de 15%?”, desassociando os dados do sensor fonte que efetivamente os

produziu. Essa abordagem aumenta a robustez das aplicações, pois como os sensores podem armazenar informações de outros sensores, mesmo que ocorra uma falha em qualquer sensor fonte, um sensor próximo pode recuperar a informação solicitada.

Agregação de Dados

Conforme [4], como as RSSFs são centradas em dados, a atividade de disseminação de dados deve ser analisada no nível da aplicação, de forma que seja possível definir se os dados serão simplesmente retransmitidos, agregados com outros dados e transmitidos ou apenas eliminados. A FIGURA 2 apresenta as diferenças entre o processo de roteamento tradicional e a roteamento (disseminação) com agregação de dados.

Observando a FIGURA 2, identificamos os sensores fonte A, B e C enviando dados para o sensor sorvedouro S. No roteamento tradicional, o processo de difusão dos dados implicaria a transmissão de 9 mensagens, já no processo de roteamento (disseminação) com agregação de dados, seriam transmitidas apenas 6 mensagens. Na FIGURA 2b, o primeiro sensor em destaque agrega as mensagens a e b em ab. Em seguida, o segundo sensor em destaque, agrega a mensagem ab com a mensagem c, gerando uma única mensagem abc. Além de reduzir o tráfego na rede, o processo de agregação de dados prevê economia de energia para a RSSF.

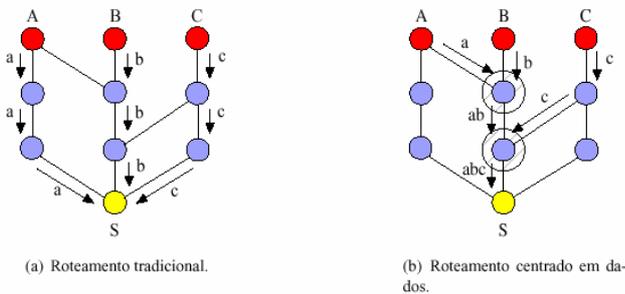


FIGURA 2

ROTEAMENTO TRADICIONAL E ROTEAMENTO CENTRADO EM DADOS [4]

Aplicações

As referências [2, 4-6] destacam que as redes de sensores podem ser constituídas de vários tipos de sensores com objetivo de monitorar inúmeros fenômenos, tais como:

- Aplicações Militares – A facilidade com que as redes de sensores podem ser constituídas, adicionada às características de auto-organização, coordenação e tolerância a falhas tornam as redes de sensores apropriadas para uso militar. Sensores podem ser lançados através de aeronaves em campos de batalha, possibilitando a identificação e/ou o monitoramento de ações de tropas amigas ou inimigas. Como tipicamente as redes de sensores são densamente povoadas, a destruição de alguns sensores por ações inimigas, por

perda de energia etc, possivelmente não implicará perda de conectividade;

- Aplicações Ambientais – O monitoramento do processo migratório de pássaros, insetos ou de pequenos animais pode ser realizado através de redes de sensores. Além disso, milhões de sensores dispostos em uma floresta possibilitam a identificação de inundações e a identificação exata da origem de incêndios (naturais ou criminosos) e de queimadas antes que o fogo possa ficar descontrolado, eventos estes que podem causar inúmeros prejuízos à população e à natureza. O uso de pesticidas acima do limite permitido ou a presença de insetos nocivos à cultura de uma determinada lavoura são eventos passíveis de serem monitoradas através das RSSFs;
- Aplicações Médicas – Órgãos vitais dos seres vivos podem ser monitorados através de introdução de sensores nos organismos, identificando a presença de alguma substância específica ou o surgimento de algum problema biológico;
- Aplicações Diversas – Na produção industrial, as RSSFs podem ser utilizadas para controlar métricas importantes, tais como fluxo, pressão, temperatura, umidade, nível, possibilitando a identificação de vazamento, aquecimento etc. Essas métricas são essencialmente úteis para fornecedores e distribuidores de água, gás, energia elétrica etc.

DIRECTED DIFFUSION

O protocolo Directed Diffusion ou Difusão Direcionada apresenta uma mudança de paradigma na forma de comunicação, ou seja, o roteamento passa a ser centrado nos dados e implementa-se um mecanismo para agregação de dados [6].

De acordo com [12], para que um programa ou usuário possa obter alguma informação é necessário o envio de uma mensagem especial denominada interesse com um determinado conjunto de atributos. Os sensores responsáveis por esta tarefa são denominados sensores sorvedouro ou *data sink*. Em contrapartida, os demais sensores que publicam os dados que dispõem são denominados de sensores fonte ou *data source*. A forma como a comunicação entre sensores sorvedouro e os sensores fonte é estabelecida e mantida é de responsabilidade dos algoritmos de difusão ou algoritmos de disseminação.

Os elementos que compõem o protocolo *Directed Diffusion*, tais como o esquema de endereçamento por nomes, a propagação de interesses, o estabelecimento de gradientes, a propagação dos dados, o mecanismo de manutenção de rotas, assim como detalhes específicos da implementação dos algoritmos de difusão 1PP (*One Phase Pull*), 2PP (*Two Phase Pull*), e *Push* podem ser encontrados em [3, 6, 12-15]. As características e os algoritmos de

difusão não serão apresentados em detalhes em função da limitação da quantidade de páginas.

SIMULAÇÕES

Atualmente, a preocupação com o meio ambiente é cada vez intensa. Muitas florestas e, conseqüentemente, muitas espécies de plantas e animais estão deixando de existir por intermédio da mão humana. A rede de sensores sem fios proposta tem como finalidade a supervisão de florestas para tentar diminuir a destruição causada pelo homem, seja por meio de queimadas, seja por desmatamentos ou por qualquer outro meio.

Os sensores serão distribuídos de forma uniforme pela floresta e irão supervisionar a temperatura e a umidade do ambiente. Um aumento excessivo de calor pode significar uma queimada e um aumento ou diminuição incomum nos níveis de umidade pode nos levar a descobrir que uma área está sendo desmatada. A falta de comunicação inesperada com um número grande de sensores também pode significar que os mesmos estão sendo destruídos e, provavelmente, a floresta esteja sofrendo as mesmas conseqüências.

Níveis críticos de umidade e temperatura observados pelos sensores e transmitidos através da RSSF farão com que um alarme seja enviado para a central de observação, que irá indicar uma condição crítica para a área. Essas informações permitirão uma atuação mais rápida dos bombeiros e da polícia florestal na tentativa de minimizar o estrago provocado por uma queimada ou para evitar que uma área seja desmatada.

As simulações serão realizadas com o simulador de redes ns-2 [16] em um cenário que descreve um trecho de 10 Km² (1 km x 10 km) da floresta Amazônica, localizada no estado de Roraima, e que representa, infelizmente, um bom exemplo de destruição da fauna e da flora brasileiras. Para as simulações serão usados 160 nós sensores posicionados em intervalos de 200 metros, cujas antenas apresentam potência suficiente para alcançar uma distância de cerca de 250 metros. O ponto responsável pela propagação dos interesses ficará posicionado nas coordenadas (0,500). O padrão IEEE 802.11, com taxa de 11 Mbps, foi selecionado como protocolo MAC (*Medium Access Control*) para as simulações.

Os algoritmos de difusão 1PP, 2PP e *Push* do protocolo *Directed Diffusion* serão utilizados nas simulações que terão duração de 300 segundos. O protocolo *Directed Diffusion* foi selecionado por ser um dos protocolos para RSSFs mais referenciados, senão o mais referenciado. Após receberem as solicitações, os sensores enviarão as informações coletadas em intervalos constantes de 5 segundos. As métricas vazão, atraso e perdas foram calculadas e serão apresentadas através das FIGURAS 3 e 4 e da TABELA 1.

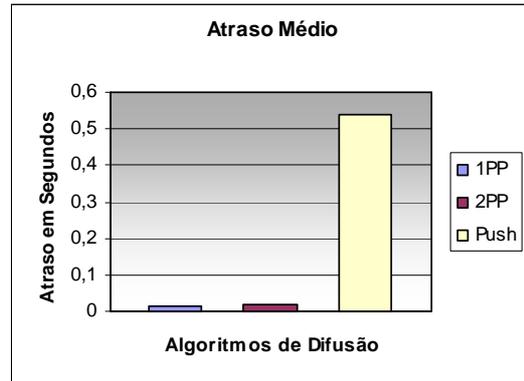


FIGURA 3

MÉTRICA: ATRASO MÉDIO EM SEGUNDOS

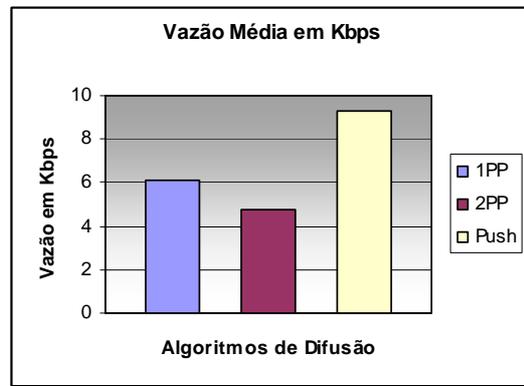


FIGURA 4

MÉTRICA: VAZÃO MÉDIA EM Kbps

TABELA I

MÉTRICA DE PERDAS DE PACOTES

MÉTRICA	1PP	2PP	PUSH
TOTAL DE PERDAS (CAMADA DE REDE)	0	86	2.274
TOTAL DE PERDAS POR CONGESTIONAMENTO	0	26	972
PERDAS POR COLISÃO (CAMADA MAC)	14	10.322	36.294

CONCLUSÕES

O uso de sensores especificamente projetados para monitorar áreas florestais é capaz de prover informações importantes para a tomada de decisão com intuito de proteger a fauna e a flora.

A partir da análise dos algoritmos de difusão do protocolo *Directed Diffusion* podemos observar que o algoritmo 1PP apresentou o melhor desempenho nas métricas Atraso e Percentual de Perdas e que o algoritmo de difusão *Push* apresentou um melhor desempenho na métrica Vazão.

No entanto, é necessário observar mais alguns detalhes:

- Na métrica Atraso, o algoritmo de difusão 2PP apresentou um atraso ligeiramente superior (aproximadamente 17%) ao algoritmo de difusão 1PP. No entanto, o algoritmo de difusão *Push* apresentou um atraso superior ao algoritmo de difusão 1PP de mais de 3270%;
- Na métrica Vazão, o algoritmo de difusão 1PP apresentou uma vazão cerca de 35% inferior ao algoritmo de difusão *Push*. Já o algoritmo de difusão 2PP apresentou uma vazão cerca de 51% inferior ao algoritmo de difusão *Push*;
- Nas métricas relacionadas às perdas, é evidente o melhor desempenho do algoritmo de difusão 1PP quando comparado com os algoritmos de difusão 2PP e *Push*.

Em função das argumentações apresentadas, podemos concluir que, neste cenário específico, o algoritmo de difusão 1PP apresentou o melhor desempenho.

REFERENCIAS

- [1] Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D. "An Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks". In: Proceedings of the IEEE INFOCOM 2002, p. 1567-1576, Junho de 2002.
- [2] Akyildiz, I., Su, W., Sankarabramanian, Y., Cayirci, E. "Wireless sensor networks: a survey". In: Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, ed. Elsevier Science Publishers, v. 38, i. 4, p. 393-422, Março de 2002.
- [3] Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D. "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks". In: Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom'00, ed. ACM Press, p. 56-67, 2000.
- [4] Loureiro, A., Nogueira, J., Ruiz, L., Mini, R., et al. "Rede de Sensores Sem Fio". In: 21o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, p. 179-226, 2003.
- [5] Ruiz, L., Correia, L., Vieira, L., et al. Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio. In: 22o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, p. 167-218, 2004.
- [6] Estrin, D., Govindan, R., Heidemann, J., Kumar, S. "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks". In: Proceedings of the 5th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom'99, ed. ACM Press, p. 263-269, 1999.
- [7] University of Siegen. "Zess - IP - Research: Master Student Topics". Disponível em: http://www.zess.uni-siegen.de/cms/front_content.php?idcat=76, acessado em Outubro de 2006.
- [8] Pereira, M., Amorim, C. e Castro, M. "Tutorial sobre Redes de Sensores". Cadernos do IME - Série Informática 13, Rio de Janeiro, v. 14, 2003.
- [9] Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N., Heinzelman, W. "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models". In: ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, ed. ACM Press, v. 6, i.2, p. 28-36, Abril de 2002.
- [10] Corson, S., Macker, J. "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations". In: RFC 2501, disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>, acessado em Novembro de 2006.
- [11] Cordeiro, C., Agrawal, D. Mobile Ad hoc Networking. In: XXº Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, p. 125-186, Julho de 2002.
- [12] Silva, F., Heidemann, J., Govindan, R., Estrin, D. "An Overview of Directed Diffusion". In: Technical Report ISI-TR-2004-586, USC/Information Sciences Institute, Fevereiro, 2004.
- [13] Intanagonwiwat, C. "Directed Diffusion: An Application-Specific and Data-Centric Communications Paradigm for Wireless Sensor Networks". In: University of Southern California: Doctor in Philosophy (Computer Science), Dezembro, 2002.
- [14] Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., et al. "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networks". In: IEEE/ACM Transactions on Networking - TON'03, IEEE Press, v. 11, i. 1, p. 2-16, Fevereiro, 2003.
- [15] Heidemann, J., Silva, F., Intanagonwiwat, C., et al. "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming". In: Proceedings of the 8th ACM symposium on Operating Systems Principles, p. 146-159, 2001.
- [16] NS-2 (2006), "Network Simulator - User Information - Nsnam", http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/User_Information, acessado em Novembro de 2006.