

Descoberta de Rotas e Mecanismo de Agregação em Redes de Sensores

Antonio José Gonçalves Pinto , Jorgito Stochero , José Ferreira de Rezende *

¹Grupo de Teleinformática e Automação (GTA)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

antonio, stochero, rezende@gta.ufrj.br

Abstract. *In wireless sensor networks, data aggregation is critical to network lifetime. It implies that data will be processed while flowing from multiple sources to an specific node named sink. In this work, we propose a decentralized aggregation mechanism using a parametric technique, such as Bayesian Inference and Dempster Shafer Method, and an extension to an existing data-centric routing protocol in order to favor aggregation with low network overhead. Our proposal is evaluated by simulation.*

Resumo. *Em redes de sensores sem fio, a agregação de dados é crítica para o tempo de vida da rede. Isto implica nos dados serem processados enquanto fluem de múltiplas fontes para um nó específico chamado sorvedouro. Neste trabalho, propomos um mecanismo descentralizado que identifica nós agregadores e emprega neles técnicas paramétricas, como Inferência Bayesiana e o Método Dempster-Shafer para agregar a informação, com um baixo impacto na rede. A nossa proposta é aplicada sobre um protocolo de roteamento já existente e avaliada por meio de simulação.*

1. Introdução

Uma rede de sensores é formada por um grande número de nós, empregados sob demanda em uma área de interesse. Cada nó possui um ou mais sensores, bem como capacidade de processamento, armazenamento e comunicação. O principal requisito da rede, que afeta todas as fases de seu ciclo de vida e independe da aplicação, é o judicioso consumo de energia. A comunicação sem fio consome muito mais energia do que o processamento e o sensoriamento realizado pelos nós da rede [1]. Esta característica sugere que o processamento dos dados seja realizado de forma distribuída. O objetivo desse artigo é explorar dois aspectos complementares em redes de sensores. Inicialmente, a construção da árvore de agregação em um protocolo de roteamento centrado em dados e, em seguida, a agregação destes utilizando técnicas paramétricas, de forma a proporcionar economia de energia. A principal motivação desse trabalho deve-se ao fato de que os nós de uma rede de sensores trabalham de forma colaborativa para responder a uma tarefa de sensoriamento de um fenômeno comum.

2. Roteamento Centrado em Dados e Agregação

Energia é o fator mais importante em uma rede de sensores. O seu tempo de vida depende da energia economizada em cada solução de *hardware* e *software* que compõe a sua arquitetura. Sendo a comunicação de dados a responsável pela maior parcela de consumo

*Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, COFECUB, FAPERJ e SUFRAMA.

de energia na rede, o aumento do processamento dos dados em cada nó consiste em uma alternativa para minimizar suas transmissões. Esta abordagem para economizar energia, envolve a exploração de duas particularidades das redes de sensores: a redundância dos dados coletados e a associação muitos-para-um entre fontes e sorvedouros. Tais características motivam a combinação de um protocolo de roteamento centrado em dados, que favorece o processamento na rede, e a aplicação de técnicas paramétricas, que permitem um mapeamento direto e antecipado (antes do sorvedouro) dos dados com o fenômeno que se quer observar.

A Difusão Direcionada (*Directed Diffusion*) [2] é um exemplo de protocolo centrado em dados, não assume nenhum conhecimento da topologia da rede e é relativamente simples. Contudo, na construção da árvore N para 1, ele favorece rotas com baixa latência em detrimento dos caminhos que permitam a agregação. As técnicas paramétricas incluem a Inferência Bayesiana e o Método de Dempster-Shafer [3], que embora tenham sido bastante exploradas em sensores tradicionais (tais como radares e imageadores orbitais), tem permanecido restritas às citações de seu grande potencial na literatura de redes de sensores.

3. Descoberta de Rotas e Agregação de Dados

Este trabalho ocupa-se dos três diferentes aspectos que envolvem a agregação de dados em redes de sensores, que são *onde*, *como* e *quando* agregar, implicando uso de protocolos de roteamento e mecanismos de filtragem nos nós sensores. Neste artigo, propomos uma extensão ao protocolo de roteamento da Difusão Direcionada, de forma a aumentar a possibilidade de agregação na rede sem incorrer em altos custos relacionados com o estabelecimento e manutenção de uma árvore de agregação, e ainda, um mecanismo de agregação com técnicas paramétricas para um mínimo de perdas em termos de retardo, escalabilidade e robustez. A idéia é usar as mesmas interações localizadas características da Difusão Direcionada para estabelecer uma árvore de agregação empírica na rede, explorando sua arquitetura baseada em filtros [4]. Dois tipos de filtros são usados, um para descoberta de rotas com nós agregadores (Filtro PAR) e outro para agregação de dados (Filtro Bayes ou DS).

O **Filtro PAR** age nas mensagens exploratórias usadas para descoberta de rotas e configuração de caminhos, antes de serem processadas pelo filtro *Gradiente*, que é o módulo de roteamento do protocolo. Ao invés de imediatamente encaminhar a primeira mensagem exploratória recebida, o filtro PAR configura um temporizador a ela associado e a compara com outras até que o temporizador expire, visando selecionar fluxos com o maior número de nós agregadores, e de forma que estes estejam próximos das fontes. O mecanismo de seleção de rotas funciona em duas fases. A primeira acontece quando a mensagem chega ao nó e é comparada com similares, previamente recebidas, para agregação. O filtro PAR checa os parâmetros de agregação, que são baseados na distância entre a fonte e o primeiro nó agregador, no número de nós agregadores e no identificador da fonte, e estabelece um temporizador para transmissão das mensagens com melhores parâmetros, descartando as demais. A segunda fase inicia quando o temporizador expira e uma nova verificação é realizada para identificar qualquer alteração na fila de mensagens a serem transmitidas, como a chegada de melhor mensagem, até o envio ao filtro *Gradiente* da mensagem selecionada. O Gradiente passa então a reforçar estes novos nós (agregantes) em detrimento aos nós com baixa latência.

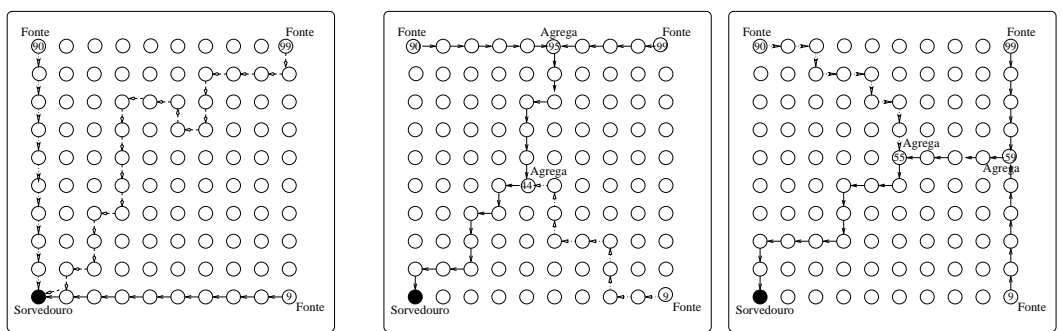
Os **Filtros Bayes** e **DS** atuam nos fluxos selecionados pelo PAR, empregando técnicas paramétricas de forma distribuída, na qual a agregação ocorre localmente em cada nó sem tempo de espera. O nó agregador combina a informação disponível (isto é, as

observações locais e as informações obtidas dos nós vizinhos) no momento em que recebe uma mensagem. Os dados que chegam não ficam aguardando para serem agregados com outros dados oriundos de fontes que estão mais afastadas. Nesse sentido, este mecanismo difere do procedimento tradicional de armazenar e encaminhar mensagens. O resultado é um processamento distribuído na rede, o que favorece a escalabilidade, e uma redução de transmissões sem ocorrer em aumento da latência. Os nós realizam a agregação pela combinação de técnicas paramétricas de fusão de dados [3] com o descarte de mensagens redundantes. Tais técnicas permitem um mapeamento direto entre os dados dos sensores e os eventos de interesse, o que é facilitado pelo esquema de endereçamento centrado em dados. Os métodos de agregação implementados nos filtros são a Inferência Bayesiana e a de Dempster-Shafer.

4. Simulação e Resultados

Para avaliar nossa proposta, simulamos um campo de sensores com uma topologia em forma de grade com 100 nós, cada um distante 200 metros dos vizinhos e com alcance de transmissão de 250 metros. Escolhemos duas métricas de desempenho: número de mensagens recebidas no sorvedouro e número total de transmissões (saltos) na rede. O cenário foi implementado no simulador ns-2 [5], consistindo de fontes que enviam mensagens de dados a cada segundo, durante 200 segundos (em todas as rodadas). Um exemplo real da aplicação simulada poderia ser a "identificação de fogo" (mensagem agregada), a partir das informações de "temperatura", "fumaça" e "umidade", fornecidas pelos sensores.

O primeiro passo na simulação envolve a descoberta de rotas. As rotas estabelecidas pela Difusão Direcionada sem o PAR (figura 1(a)), seguiram um padrão de menor retardo. Ao adicionar o filtro PAR, as rotas preferidas alternaram-se entre dois casos: os fluxos das fontes 90 e 99 (próximas uma da outra) agregando-se no nó 95 e posteriormente juntando-se ao fluxo da fonte 9 no nó 44 (figura 1(b)); e os fluxos das fontes 9 e 99 (também próximas) agrupando-se em 59 e posteriormente juntando-se ao fluxo de 90 no nó 55 (figura 1(c)). Ambos os casos são parecidos em termos de potencial economia de energia.



(a) Directed Diffusion

(b) Directed Diffusion + PAR - primeiro caso

(c) Directed Diffusion + PAR - segundo caso

Figura 1: Rotas mais comuns.

Com a aplicação distribuída do Filtro Bayes na rede, foi possível avaliar o desempenho variando o tamanho da grade com uma quantidade fixa de fontes e comparar os resultados da Difusão Direcionada pura, do Bayes fazendo agregação oportunista e do Bayes com o PAR, mostrado na figura 2. Em 2(a) observamos que o aumento da quantidade de nós na rede não teve influência significativa no desempenho de nenhuma das três situações, mas fica evidente a redução do número de mensagens no sorvedouro com a

utilização do Bayes, para qualquer das grades utilizadas. Ao adicionar o PAR, com a conseqüente escolha dos melhores caminhos, a redução ocorre de forma drástica, da ordem de 80%. Com relação ao número de saltos, pode ser observado na figura 2(b), que efetivamente a redução do número de mensagens no sorvedouro contribuiu para uma redução das transmissões na rede. Outras simulações realizadas, além das simulações com o filtro DS, não apresentadas nesse artigo por falta de espaço, mostraram resultados bastante satisfatórios em termos de economia de energia, seja pela redução do número de mensagens no sorvedouro, seja pela diminuição das transmissões.

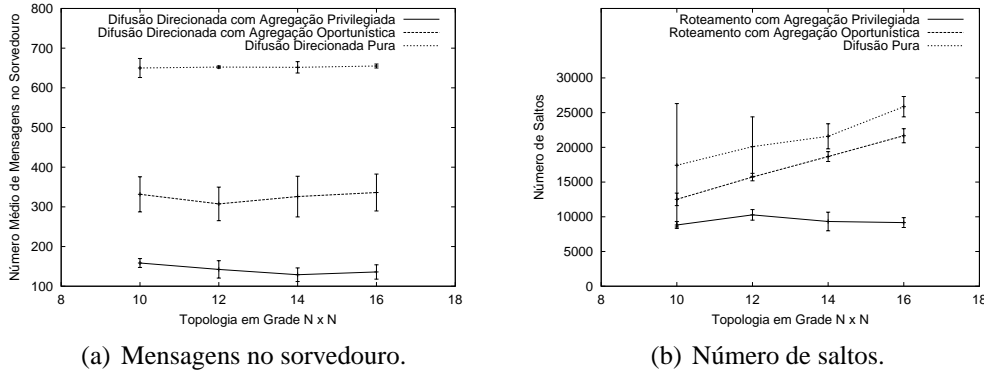


Figura 2: Variação do número de nós.

5. Conclusões

Neste artigo, propomos uma extensão a um protocolo de roteamento que identifica nós agregadores (Filtro PAR) e um mecanismo de agregação baseado em técnicas paramétricas (Filtro Bayes e DS) com o objetivo de aumentar o tempo de vida da rede. Ambos foram implementados de forma a minimizar os custos da agregação em redes de sensores. Assim, o emprego dos filtros no protocolo original conseguiu, segundo as simulações realizadas, atingir o objetivo.

Referências

- [1] HEINZELMAN, W. R., CHANDRAKASAN, A., AND BALAKRISHNAN, H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *Proceedings of the 33rd IEEE Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (janeiro de 2000), 1–10.
- [2] INTANAGONWIWAT, C., GOVINDAN, R., AND ESTRIN, D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. *Proceedings of ACM MobiCom'00, Boston, MA* (agosto de 2000), 56–67.
- [3] HALL, D. L. *Mathematical Techniques in Multi-Sensor Data Fusion*. Artech House, 1992.
- [4] HEIDEMANN, J., SILVA, F., YU, Y., ESTRIN, D., AND HALDAR, P. *Diffusion Filters as a Flexible Architecture for Event Notification in Wireless Sensor Networks*. USC/ISI Technical Report 2002-556, 2002.
- [5] [HTTP://WWW.ISI.EDU/NSNAM/NS](http://www.isi.edu/nsnam/ns). *The Network Simulator NS-2*.