

Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio com Ênfase em Eficiência Energética

Mauricio de Oliveira Barros

17 de dezembro de 2013

1. Introdução

Uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é uma coleção de nós sem fio autônomos com recursos energéticos limitados que pode ser móveis ou fixos, e estão localizados aleatoriamente em um ambiente em mudança dinâmica conhecido como campo de detecção, onde cada nó é um dispositivo de baixo consumo de energia que integra computação, comunicação sem fio e capacidade de sensoriamento [Shelke et al. 2013]. O gerenciamento de RSSF com ênfase em eficiência energética é composto por diversas estratégias afim maximizar do tempo de vida da rede. [Pantazis et al. 2013] apresentam uma seleção de estratégias de roteamento eficiente dos pacotes de dados que são transmitidos na rede que podem assegurar um consumo mínimo de energia.

De acordo com [Shelke et al. 2013] as RSSFs têm o intuito de observar e possivelmente controlar um determinado ambiente, normalmente sem intervenção humana direta em escala espacial ou temporal. Os nós sensores monitoram e coletam informações sobre fenômenos físicos (por exemplo, temperatura, umidade, vibração, aceleração, ou qualquer outro evento que seja de interesse ao observador), realizam processamento local e disseminam os dados usando a comunicação através de ondas de rádio, até que a informação seja entregue ao nó que solicitou os dados. De acordo com [Akyildiz et al. 2002] uma RSSF tende a ser dependente da aplicação a que se objetiva, pois os requisitos de hardware, software e os mecanismos de operação podem variar de acordo com a necessidade de aplicação.

A principal fonte de energia de uma RSSF geralmente é a bateria, e sensores muitas vezes são destinados a serem implantados ou lançados em campos de detecção inóspitos (por exemplo, campo de batalha ou ambientes de radiação), tornando assim financeiramente ou logisticamente inviável recarregar ou substituir as baterias de todos os sensores. [Shelke et al. 2013, Pantazis et al. 2013, Akyildiz et al. 2002] afirmam que mesmo com essa restrição energética, é extremamente desejável que a vida útil de uma RSSF seja a mais longa possível para qualquer aplicativo de monitoramento. A vida útil do sistema é medido pelo tempo em que todas as baterias dos nós se esgotem.

Dentre as características das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), independente de sua aplicação, a questão energética é a que mais impõe restrição no tempo de vida da rede. Isso faz com que diversas soluções sejam apresentadas como forma de estender ao máximo a durabilidade da rede sem sacrificar a confiabilidade do sistema. A maioria dos nós sensores possuem a característica de serem descartáveis, em virtude de que em determinadas aplicações da rede sua manutenção é inviável. Para [Pantazis et al. 2013] o projeto de qualquer solução para a eficiência energética em aplicações, algoritmos e protocolos de roteamento não podem ser escolhidos avaliando apenas sua elegância e capacidade, mas devem prever o consumo, o modelo de energia e o mapa de energia da rede.

Os recursos físicos dos nós sensores podem ser representados através de um modelo de energia, no consumo e na interação com um modelo de funções. O modelo de energia pode ser visto como um provedor de energia para elementos consumidores, através de uma bateria com capacidade finita de energia armazenada. Cada entidade consumidora responsável pelo sensoriamento do ambiente informa o seu provedor (unidade sink) o nível de energia disponível. O modelo de energia é composto pelos

seguintes elementos: bateria, rádio (interface de comunicação), processamento e unidade de sensoriamento.

A partir do modelo de energia, é possível obter informações individuais de cada nó sensor da rede e realizar um levantamento do mapa de energia da rede, que por sua vez poderá ser utilizado para tomar decisões do que pode ser feito ou não para melhorar o desempenho energético da rede.

Importante destacar que neste modelo de energia, o elemento que mais consome energia é a comunicação, principalmente na função de transmissão e encaminhamento dos dados coletados pelas unidades de sensoriamento.

Devido a dificuldade em ter acesso a uma RSSF densa em pleno funcionamento para realizar simulações com relação ao consumo de energia entre os sensores, na literatura é encontrada algumas propostas de alguns modelos de dissipação de energia para os nós sensores. O principal objetivo desses modelos é caracterizar o consumo de energia em cada nó sensor em uma RSSF. Os modelos comuns utilizados são: modelo de dissipação uniforme, modelo de dissipação baseados em *hotspot* e modelo baseado em quatro modos de operação. Dentre outros autores, [Kashani and Ziafat 2011] além de se preocuparem com o Gerenciamento de Energia Dinâmico (DPM), apresentam uma nova abordagem de gerenciamento de energia baseado em protocolo de clusterização adaptativa centralizada, para auto organização do mapa de sensores através de redes neurais, que podem agrupar os nós sensores com base em vários parâmetros: nível de energia disponível e coordenadas de nós sensores, com o objetivo de distribuir o consumo de energia entre os nós sensores e estender a vida útil da rede.

No item 2, abordamos sobre o tema de gerenciamento energético de RSSF com relação a necessidade de prolongar a vida útil dos nós sensores na rede e as técnicas utilizadas para redução do consumo de energia nos nós. No item 3, apresentamos a arquitetura de um nó sensor com os seus quatro subsistemas. No item 4, discutimos os modelos de energia propostos pela literatura. No item 5, descrevemos a fusão de dados como técnica de redução de energia voltado para o subsistema de comunicação. No item 6, eficiência energética através dos protocolos de roteamento em RSSF e, por fim, no Item 7 relatamos as considerações finais.

2. Gerenciamento Energético de Redes de Sensores Sem Fio

Nos últimos anos, o número de implantações de RSSF para aplicações da vida real tem aumentado rapidamente. Contudo, o problema da energia continua a ser uma das principais barreiras que limita a exploração completa desta tecnologia. Nós sensores são normalmente alimentados por uma bateria com energia limitada e, mesmo quando há possibilidade de se obter energia adicional do ambiente externo (por exemplo, energia solar ou piezo elétrico), continua a ser um recurso limitado para ser consumido de forma criteriosa. O gerenciamento eficiente de energia é, portanto, um requisito fundamental para um projeto confiável de RSSF. [Shelke et al. 2013] propuseram uma técnica de gerenciamento dinâmico de energia (DPM), com objetivo de conservação de energia para cada nó sensor, no qual um algoritmo é encarregado de desligar alguns componentes de cada sensor, resultando em eficiência energética e maior tempo de vida da rede.

A definição de uma arquitetura de gerenciamento para RSSF exige o conhecimento em vários contextos nas diferentes áreas funcionais: configuração, falhas, segurança, desempenho e contabilização; e níveis de gerenciamento: elemento de rede, gerenciamento de elemento de rede, gerenciamento de rede, gerenciamento de serviço e gerenciamento de negócio.

De modo geral, para [Anastasi et al. 2008] o consumo de energia do subsistema de detecção depende do tipo de sensor específico. Em muitos casos é desprezível com relação a energia consumida pelo processamento e, acima de tudo, dos subsistemas de comunicações. Embora alguns casos, o gasto de energia para a detecção de dados pode ser comparável, ou superior a energia necessária para a transmissão de dados. As técnicas de economia de energia se concentram em dois subsistemas: o subsistema de rede (ou seja, a gestão de energia é direcionada para as operações em cada nó único, bem como na concepção de protocolos de rede), e o subsistema de detecção (no qual técnicas são utilizadas para reduzir a quantidade ou frequência de amostras com alto consumo de energia).

O tempo de vida útil de uma rede de sensores pode ser estendido através da aplicação de diferentes técnicas em conjunto. Por exemplo, os protocolos de eficiência energética visam minimizar o consumo de energia durante as atividades da rede. No entanto, uma grande quantidade de energia é consumida pelos componentes do nó (CPU, rádio, etc), mesmo que estejam ociosos. Sistemas de gestão de energia são, portanto, usados para desligarem componentes do nó que não são necessários temporariamente, [Anastasi et al. 2008].

O gerenciamento energético em RSSF é uma tarefa um tanto complexa por se tratar de diferentes variáveis a serem consideradas no sistema, conforme apresentado na figura 1. Nos próximos subitens serão abordados modelos de energia, fusão de dados, auto-organização da rede, modelos, serviços e funções de gerenciamento de energia, dos quais estão intrinsecamente relacionado ao consumo de energia do sistema.

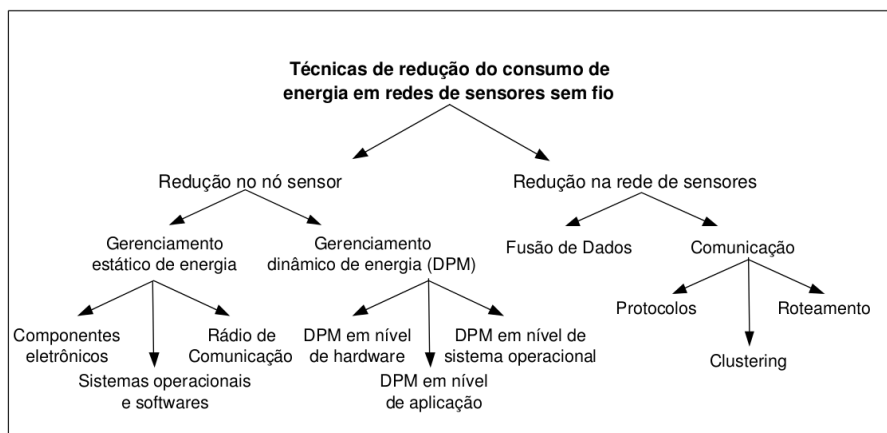


Figura 1. Técnicas de redução do consumo de energia em RSSF (inspirado em [Kashani and Ziafat 2011]).

3. Arquitetura de um Nó Sensor

Os nós sensores são geralmente espalhados em um campo de sensoriamento. Cada um desses nós sensores espalhados tem a capacidade de coletar dados e encaminhar os dados para um observador (também conhecido como *sink*). Os dados são roteados para um observador através da arquitetura de infraestrutura de múltiplos saltos, como mostrado na figura 2. O nó observador pode se comunicar com o nó gerenciador de tarefas via Internet ou via satélite. O projeto da rede de sensores, tal como descrito na figura 2 é influenciado por muitos fatores, incluindo a tolerância a falhas, escalabilidade, custos de produção, ambiente operacional, topologia de rede de sensores, as restrições de hardware, meios de transmissão e consumo de energia.

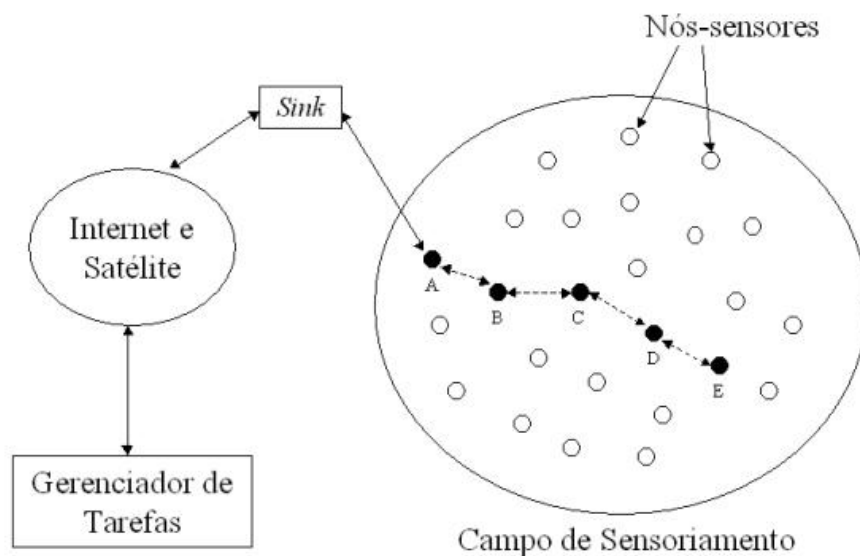


Figura 2. Nós sensores espalhados em um campo de sensoriamento (inspirado em [Akyildiz et al. 2002]).

Conforme definido pelos autores [Akyildiz et al. 2002, Anastasi et al. 2008, Pantazis et al. 2013] cada nó sensor é dividido internamente em quatro unidades principais: energia, sensoriamento, processamento e comunicação. Embora um sensor pode, dependendo da aplicação ser composto por outras unidades, tais como: sistema de localização, gerador de energia e mobilizador. A figura 3 apresenta os principais componentes da arquitetura de um sensor.

De acordo com [Raghunathan et al. 2002] o primeiro passo para obter eficiência energética em RSSF envolve análise das características de dissipação de energia de um nó sensor sem fio. Análise sistemática da potência de um nó sensor é extremamente importante para identificar os gargalos de alimentação no sistema, o que pode, então, ser o alvo de otimização. Os autores analisaram dois nós sensores populares a partir de uma perspectiva de consumo de energia e discutiram como as decisões tomadas durante o projeto do nó pode impactar significativamente o consumo de energia do sistema.

A arquitetura do sistema de um nó sensor sem fio é mostrado na figura 3. O nó é composto por quatro subsistemas: i) um subsistema de computação que consiste

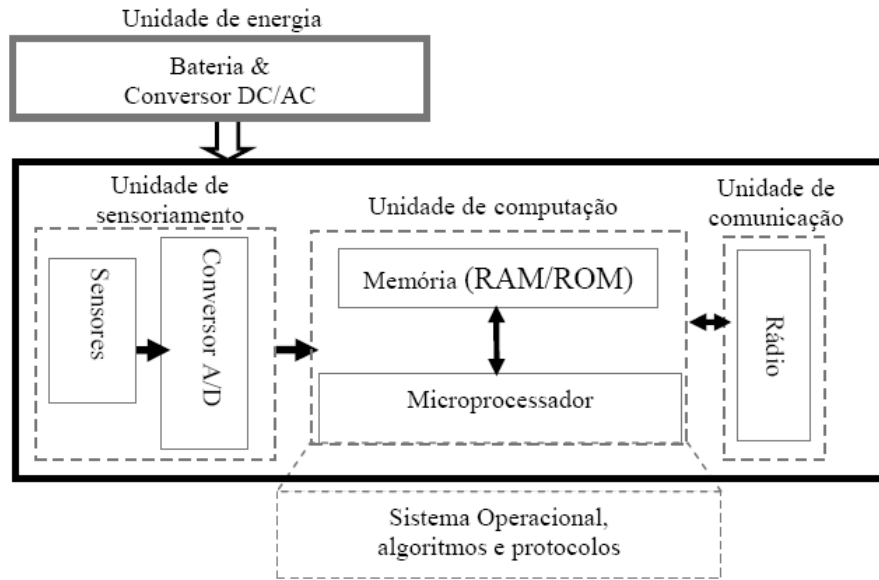


Figura 3. Arquitetura de um nó sensor em uma RSSF (inspirado em [Anastasi et al. 2008]).

em um microprocessador ou microcontrolador; ii) um subsistema de comunicação que consiste em um rádio de curto alcance para comunicação sem fio; iii) um subsistema de sensoriamento que liga o nó para o mundo físico, e consiste de um grupo de sensores e atuadores; e iv) um subsistema de alimentação, que abriga a bateria e o conversor DC-DC, e as atribuições do resto do nó. O nó sensor representado na figura 3 é uma arquitetura genérica, tal como apresentado em [Akyildiz et al. 2002].

A unidade de processamento (*Microcontroller Unit* - MCU) é responsável por prover inteligência ao nó sensor, realizando o controle dos sensores, a execução dos protocolos de comunicação e a execução de algoritmos de processamento de sinal nos dados obtidos pelo sensor [Raghunathan et al. 2002]. A escolha da MCU para um nó sensor é geralmente realizada considerando-se os níveis de desempenho necessários para determinada aplicação. No entanto, esta escolha pode acarretar em um impacto significativo nas características de dissipação de energia nos nós sensores. As MCUs geralmente suportam vários modos de operação, incluindo os modos Ativo (*Active*), Ocioso (*Idle*) e Dormência (*Sleep*).

O rádio do nó sensor possibilita comunicação sem fio com nós vizinhos e o mundo externo. Muitos fatores afetam as características do consumo de energia de um rádio, incluindo o tipo de modulação utilizado, taxa de dados, potência de transmissão e o ciclo de trabalho operacional (*duty cycle*). Em geral, os rádios podem operar em quatro modos de operação distintos: Transmissão (*Transmit*), Recepção (*Receive*), Ocioso (*Idle*) e Dormência (*Sleep*). Na maioria dos rádios, o modo de operação Ocioso (*Idle*) possui alto consumo de energia, semelhante a energia consumida em modo de operação Recepção (*Receive*) [Raghunathan et al. 2002].

Os sensores presentes em um nó sensor traduzem os fenômenos físicos de um ambiente para sinais elétricos e podem ser classificados como dispositivos analógicos ou digitais, dependendo do tipo de saída produzido. Existe uma grande diversidade

de sensores capazes de mensurar parâmetros ambientais tais como temperatura, intensidade de luz, som, campos magnéticos, imagem, entre outros. Um sensor apresenta diversas fontes de consumo de energia: amostragem de sinal e conversão de sinais físicos, condicionamento de sinal e conversão analógico-digital. A bateria fornece energia para todo o nó sensor e influencia diretamente no tempo de vida do nó [Raghunathan et al. 2002]. Baterias são dispositivos complexos os quais dependem de muitos fatores incluindo a dimensão da bateria, tipo de material elétrico utilizado e taxa de difusão dos materiais ativos no eletrodo.

A caracterização de cada unidade que compõem a arquitetura de um nó sensor é extremamente importante para a identificação dos possíveis pontos de desperdício ou consumo ineficiente de energia, na tentativa de prolongar o tempo de vida do nó sensor, e, conseqüentemente, prolongar o tempo de vida da rede de sensores como um todo. Neste sentido, muitos esforços para otimização do consumo de energia em nós sensores têm sido realizados em todos os aspectos da arquitetura de um nó sensor, desde otimização de circuitos integrados e ciclos de operação em transmissão de rádio, até qualidade de resposta e necessidades de latência do usuário final.

4. Modelos de Energia

O principal objetivo dos modelos de energia é verificar o comportamento de consumo de cada nó sensor de uma RSSF. O modelos de energia é composto pela bateria com uma capacidade finita de energia, e as unidades consumidoras de energia, tais como o rádio, processador e dispositivos de sensoriamento. Cada unidade consumidora é responsável por informar seu consumo de energia ao provedor.

Os nós de RSSF consistem em vários módulos, como mostrado na figura 3: módulo sensor, módulo de processamento, o módulo de comunicação sem fio e módulo de alimentação. Estes componentes trabalham em conjunto de forma a tornar o sensor operacional em uma RSSF. Assim, com o intuito de avaliar o consumo de energia de um nó sensor, afirmam [Pantazis et al. 2013] é importante estudar o consumo de energia dos seus componentes.

Há algumas tentativas de propor e discutir sobre a eficiência energética em modelos de energia para RSSFs. A maioria delas são baseadas no modelo de energia de cada nó sensor, enquanto que ao mesmo tempo, o impacto do hardware do dispositivo de nó sensor e o ambiente de rádio externo são considerados. No entanto, de acordo com [Pantazis et al. 2013] em implantações reais devem ser consideradas a separação do consumo de energia de cada um dos componentes de hardware e o impacto do ambiente externo no rádio.

Os autores [Wang et al. 2006] em seu trabalho ilustram um modelo de consumo de energia realista para dispositivos de RSSF, onde modelos simples de consumo de energia para os principais componentes são identificados individualmente, no qual a faixa de alcance de transmissão efetiva de um nó sensor é modelado pela potência do amplificador de transmissão de energia, sensibilidade do amplificador de baixo ruído de recepção, e do ambiente de Rádio Frequência (RF). Com a utilização deste modelo básico, obtém-se condições para um mínimo consumo de energia provenientes da comunicação de dados entre um dispositivo de nó de origem para um nó de destino. Parâmetros do modelo de consumo de energia foram extraídos através de

dois tipos de nós sensores sem fio, amplamente utilizados e disponíveis no mercado. Para configurações típicas de hardware e ambientes de RF, é mostrado que, sempre que o roteamento de um único salto (*single hop*) é possível, deve ser preferida, pois é quase sempre mais eficiente que o roteamento múltiplos saltos (*multi-hop*) mesmo em circunstâncias realistas. Este modelo de consumo de energia pode ser usado para orientar as escolhas de projeto em diferentes camadas do espaço de design, incluindo, projeto de topologia, o posicionamento do nó, esquemas de roteamento eficiente de energia, gerenciamento de energia e à concepção de futuros dispositivos de hardware para rede de sensores sem fio.

Em [Dunkels et al. 2007] apresentam e avaliam um mecanismo de estimativa de energia on-line, que permite estimar o consumo de energia de um nó sensor baseado em software. Os autores avaliaram o mecanismo através da comparação do consumo estimado de energia com a vida de nós sensores alimentados por capacitores. Ao implementar e avaliar o protocolo X-MAC, abordado no trabalho, mostraram como a estimativa de energia baseada em software on-line pode ser usado para avaliar empiricamente a eficiência energética dos protocolos de rede de sensores. O modelo do sistema de comunicação parece ser relativamente simples, pois é definido apenas dois estados para o microcontrolador e do chip de rádio. Por outro lado, em [Kellner et al. 2008], apresentam um modelo energético dividido em um conjunto de máquinas de estados baseados em autônomos finitos que representam os estados e transições de hardware de um nó sensor. Com este modelo e sua aplicação na contabilidade energética on-line, é possível obter uma visão mais detalhada e mais precisa sobre o consumo de energia em uma rede de sensores do que antes abordado. Os dados recolhidos a partir da contabilização on-line podem ser usados para ajustar o consumo de energia das aplicações do nó sensor automaticamente em tempo de execução .

O consumo de energia é uma das propriedades de protocolo mais crítica em uma rede de sensores sem fio. Assim, um modelo de consumo de energia preciso é necessário para a avaliação de protocolos. Em adição à avaliação, um modelo de energia também pode ser utilizado para a contabilidade da energia on-line. Após o processamento de consultas, nós conscientes do modelo energético pode enviar um relatório de energia para o coletor de dados da rede. Isso permite que o usuário ajuste consultas futuras para ser mais eficiente em energia.

Em [Wang and Yang 2007] propuseram um modelo geral para consumo de energia em dispositivos RSSF baseado na arquitetura de hardware real. A fim de alcançar este objetivo, os autores utilizam o desempenho do consumo de energia medido através dos componentes de hardware real e implementaram um CSESM realista (Modelo de Consumo de Energia em um Subsistema de Comunicação) em dispositivos de RSSF. Isso pode refletir o consumo de energia em vários estados de funcionamento e durante as transições entre os estados dos dispositivos. Neste modelo, o consumo de energia da fase de comunicação é considerado ser influenciada pelo módulo de recepção (Rx), o módulo de transmissão (Tx), o regulador de tensão (VR), o oscilador de cristal ($XOSC$), o gerador de polarização (BG), e o sintetizador de frequência (FS).

Outro modelo relacionado com o consumo de energia da unidade de processa-

mento do sensor é apresentado em [Shareef and Zhu 2010]. Neste trabalho os autores abordam um modelo probabilístico detalhado baseado em redes Petri que avalia o consumo de energia para unidade de processamento do nó sensor sem fio. Este modelo, tem o intuito de avaliar o consumo de energia da unidade de processamento calculando o gasto de energia em modo de espera, modo energizado, estado inativo e ativo da unidade de processamento. O valor total do consumo da unidade de processamento, juntamente com o tempo gasto para concluir o valor do consumo de energia. Os resultados experimentais mostram que este modelo é mais flexível e preciso do que os modelos de Markov. O modelo fornece uma plataforma de simulação útil para estudar estratégias de poupança de energia em redes de sensores sem fio.

Segundo [Pantazis et al. 2013] a mais atualizada e detalhada abordagem em relação ao consumo de energia dos nós de RSSF é apresentado em [Zhou et al. 2011], no qual o consumo de energia dos nós sensores sem fio conforme a figura 3 depende de seus componentes: módulo sensor, módulo de processamento, módulo de comunicação e módulo de energia.

Com o objetivo de descrever o consumo de energia dos nós sensores em uma RSSF, e a grande dificuldade em realizar testes reais em uma RSSF, na literatura é apresentado modelos de dissipação de energia (uniforme ou *hotspot*), ou modelos baseados em modo de operação que podem variar em diferentes níveis de ativação, resultando assim diferentes combinações de níveis de consumo de energia.

Outra técnica abortada na literatura para obter informações dos níveis de energia dos nós sensores são os Mapas de Energia, no qual duas abordagens são encontradas para realizar a coleta dos dados energéticos de cada nó: baseado em agregação e baseado em predição.

5. Fusão de Dados

A fusão de dados entre os nós sensores em uma RSSF densa é desejada para evitar o consumo de energia desnecessário, utilizando a capacidade do elemento de processamento de cada nó, é possível pré-processar os dados da rede de forma distribuída, através de métodos e ferramentas para combinar e agregar dados de diferentes origens.

A comunicação de dados redundantes na rede e colisões é um desafio herdado da característica de escalabilidade das RSSF, que pode ser minimizada através da fusão de dados, reduzindo o número de mensagens a serem transmitidas entre os nós, bem como os dados podem ser obtidos com maior qualidade e precisão, tornando a rede mais robusta, tolerante a falhas e energeticamente eficiente.

Vários são os modelos apresentados na literatura que descrevem os processos e as funcionalidades na fusão de dados, dentre os modelos os mais utilizados são os centrados dos dados (a fusão dos dados ocorre nas seguintes abstrações: dado sensorial, sinais, característica, visão da situação e tomada de decisão) e os centrados nas funcionalidades (organização baseada na funcionalidade e dividida em quatro fases: alimentação, fusão com relevância, avaliação e execução das decisões da fase de avaliação).

Além dos modelos acima citados, métodos de fusão de dados em RSSF também

são abordados: métodos de agregação, inferência e intervalos, estes responsáveis por processar os dados, com o objetivo de reduzir o volume dos dados, níveis de ruídos e obter dados relevantes em um determinado intervalo em unidades de tempo.

6. Eficiência Energética Através dos Protocolos de Roteamento em RSSF

Devido as peculiaridades das RSSF, a utilização de protocolos para gerenciamento em redes sem fio *ad hoc* tradicionais se tornam inviáveis. [Akyildiz et al. 2002] afirmam que as características peculiares das RSSF e requisitos de aplicação exigem protocolos e algoritmos específicos, conforme as seguintes diferenças de característica de redes de sensores com relação as redes *ad hoc* tradicionais e :

- a quantidade de sensores em uma rede de sensores pode ser extremamente maior do que nós de uma rede *ad hoc* tradicional;
- nós sensores podem ser implantados densamente;
- nós sensores são propensos a falhas;
- a topologia de uma rede de sensores é considerada dinâmica;
- nós sensores utilizam principalmente um paradigma de comunicação em transmissão, por outro lado a maioria das redes *ad hoc* são baseadas em comunicação ponto-a-ponto;
- nós sensores são limitados em energia, processamento e memória; e
- nós sensores pode dispensar a utilização de uma identificação global (ID) na rede, em virtude da grande quantidade de sensores que podem ser implantados na rede.

Para que os protocolos de roteamento funcionem corretamente é necessário um controle ou conhecimento da topologia da rede.

Atualmente muitos pesquisadores estão envolvidos no desenvolvimentos de técnicas, protocolos e algoritmos que cumpram os requisitos em RSSF, principalmente na questão energética que ainda continua a ser um dos grandes problemas em RSSF. A utilização de protocolos convencionais de roteamento em redes de sensores, apresentam sérias complicações com relação as limitações de energia e de memória, pois a maioria desses protocolos utilizam a técnica de inundação de mensagens na rede, onde cada nó que recebe uma mensagem é responsável por encaminhá-la aos demais nós vizinhos.

Em [Cirstea 2011] apresenta dados para avaliação de protocolos de roteamento, bem como a descrição do estado da arte de técnicas de roteamento para RSSF com eficiência energética. Abordam estudos sobre consumo de energia e a sobrecarga de comunicação, bem como as vantagens e desvantagens de cada protocolo de roteamento com intuito de nortear a direção de novas pesquisas.

Técnicas adequadas para roteamento de dados desempenham um papel importante na eficiência energética em RSSF, bem como na latência, taxas de transferência de dados e qualidade de serviço. Pelo fato das RSSF serem consideradas de natureza específica, uma enorme quantidade de protocolos foram desenvolvidos para abordar essas questões, embora sem nenhuma padronização. Atualmente os protocolos desenvolvidos, abordam o gerenciamento de energia em todas as camadas da pilha de

protocolos para redes de sensores, desde a camada física até a camada de aplicação. Por exemplo, na camada de rede é altamente desejável encontrar técnicas de descobertas de rotas, fusão de dados e correlação na retransmissão dos dados dos nós sensores para o nó observador (*sink*) com o menor consumo de energia.

De acordo com [Cirstea 2011] outro desafio da gerencia em RSSF é a mobilidade dos nós, que consequentemente determinam frequentes e imprevisíveis mudanças na topologia da rede, no qual informações de localização dos nós passam a ser exigidas. Métodos de monitoração de triangulação, multilateração ou utilização do Sistema de Posicionamento Global (GPS) podem ser utilizados na tentativa de resolver o problema da mobilidade. A implantação aleatória e possibilidade de nós móveis são fatores determinísticos na redundância dos dados em RSSF, que podem ser solucionado ou minimizado com a utilização de protocolos de roteamento específicos para a aplicação, através de técnicas de roteamento adequadas tais como: agregação de dados e correlação, a fim de minimizar o consumo de energia, processamento e utilização da banda de comunicação. A partir desse cenário, os autores propuseram a classificação de eficiência energética para os protocolos de roteamento em RSSF em quatro categorias: localização auxiliada, dados centrados, mobilidade e protocolos de roteamento heterogêneos, com o objetivo de identificar as vantagens e desvantagens.

Por outro lado [EI-Aaasser and Ashour 2013] abordam uma tradicional classificação energética para os protocolos de roteamento de apenas três categorias: plana, hierárquica e baseada em localização, no qual é classificada de acordo com as operações dos protocolos. Os autores apresentam uma nova classificação dos protocolos de roteamento de RSSF em relação a eficiência energética para os mais diversos protocolos. Em pesquisas encontram uma nova categoria que pode ser adicionada na tradicional classificação denominada de método de relatório de dados. Essa categoria é totalmente dependente da aplicação e altamente acoplada com os desafios da dinamicidade da rede, e também dependente dos dados críticos. Podem ser classificados como: orientado por tempo, orientado por evento e orientado por consulta.

7. Considerações Finais

O prolongamento da vida útil de um nó sensor ou mesmo de toda RSSF é um problema tratado por muitos pesquisadores através de diferentes abordagens, em virtude de que o gerenciamento energético em RSSF é uma tarefa complexa, que envolve muitas variáveis a serem consideradas no sistema.

Neste relatório apresentamos os principais componentes da arquitetura de um nó sensor estudados na literatura, no quais sua caracterização é de extrema importância para a identificação dos possíveis pontos de desperdício ou consumo ineficiente de energia. Neste sentido, muitos esforços para otimização do consumo de energia em nós sensores têm sido realizados em todos os aspectos da arquitetura de um nó sensor, desde otimização de circuitos integrados e ciclos de operação em transmissão de rádio, até qualidade de resposta e necessidades de latência do usuário final. Portanto, com o intuito de avaliar o consumo de energia de um nó sensor é importante estudar o consumo de energia dos seus componentes.

Outra técnica abortada na literatura para obter informações dos níveis de

energia dos nós sensores são os Mapas de Energia, no qual duas abordagens são encontradas para realizar a coleta dos dados energéticos de cada nó: baseado em agregação e baseado em predição.

Atualmente muitos pesquisadores estão envolvidos no desenvolvimento de técnicas, protocolos e algoritmos que cumpram os requisitos em RSSF, principalmente na questão energética que ainda continua a ser um dos grandes problemas em RSSF. A utilização de protocolos convencionais de roteamento em redes de sensores, apresentam sérias complicações com relação as limitações de energia, de memória e na maioria das vezes sem padronização.

Referências

- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. (2002). Energy management in wireless sensor network. *IEEE Communications Magazine*, pages 102–114.
- Anastasi, G., Conti, M., Francesco, M. D., and Passarella, A. (2008). Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. *Elsevier B.V. - Ad Hoc Networks*, pages 537–568.
- Cirstea, C. (2011). Energy efficient routing protocols for wireless sensor networks: A survey. *IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pages 277–282.
- Dunkels, A., Osterlind, F., Tsiftes, N., and He, Z. (2007). Software-based on-line energy estimation for sensor nodes. *In Proc. 4th workshop on Embedded Networked Sensors, New York, USA*, 1:28–32.
- EI-Aaasser, M. and Ashour, M. (2013). Energy aware classification for wireless networks routing sensor. *The 15th International Conference on Advanced Communications Technology - ICACT2013*, pages 66–71.
- Kashani, M. A. A. and Ziafat, H. (2011). A method for reduction of energy consumption in wireless sensor network with using neural networks. *Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT) 6th International Conference on*, pages 476–481.
- Kellner, S., Pink, M., Meier, D., and Blab, E. O. (2008). Towards a realistic energy model for wireless sensor networks. *In Proc. 5th Annual Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services, Garmisch*, 1:97–100.
- Pantazis, N. A., Nikolidakis, S. A., and Vergados, D. D. (2013). Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 15(2):551–591.
- Raghunathan, V., Schurgers, C., Park, S., and Srivastava, M. B. (2002). Energy-aware wireless microsensor networks. *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE*, pages 40–50.
- Shareef, A. and Zhu, Y. (2010). Energy modeling of wireless sensor nodes based on petri nets. *In Proc. 39th International Conference on Parallel Processing*, 1:101–110.

- Shelke, R., Kulkarni, G., Sutar, R., Bhore, P., Nilesh, D., and Belsare, S. (2013). Energy management in wireless sensor network. *UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, pages 668–671.
- Wang, Q., Hempstead, M., and Yang, W. (2006). A realistic power consumption model for wireless sensor network devices. *In Proc. 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Network, Reston*, 1:286–295.
- Wang, Q. and Yang, W. (2007). Energy consumption model for power management in wireless sensor networks. *In Proc. 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, SanDiego*, 1:142–151.
- Zhou, H., Luo, D., Gao, Y., and Zuo, D. (2011). Modeling of node energy consumption for wireless sensor networks. *Wireless Sensor Network - Scientific Research*, 3:18–23.