

ASPECTOS GERAIS DE REDES DE SENSORES

Felipe de Moraes Serafini

eng.serafini@gmail.com

Resumo: Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é a nomenclatura dada a um tipo de rede móvel que normalmente é usada em grandes áreas geográficas com o objetivo de monitoramento ou rastreamento. Uma RSSF é formada por vários dispositivos móveis chamados de nós sensores. Esses nós sensores coletam dados que são enviados a um gerenciador responsável por toda análise dos dados coletados. Um grande desafio para as redes de sensores sem fio é o gerenciamento do consumo de energia dos nós sensores, pois geralmente localizam-se em locais de difícil acesso.

Palavras chave: redes sem fio, nós sensores, arquitetura de rede.

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia com o avanço da tecnologia e a necessidade de se obter um alto grau de informação e detalhamento sobre o ambiente em que vivemos, fez crescer o uso de redes de sensores sem fio, RSSF. Essas inovações tecnológicas no ramo da comunicação sem fio conjuntamente com o avanço da eletrônica digital representam uma revolução no sensoriamento remoto.

Essa rede de sensores é formada pelo conjunto de dispositivos conectados entre si por nós. Um nó pode ser qualquer dispositivo capaz de enviar e/ou de receber dados gerados em outros nós. No caso de uma rede de sensores sem fio, como o próprio nome diz, os nós sensores são conectados entre si sem utilização de fios ou cabos.

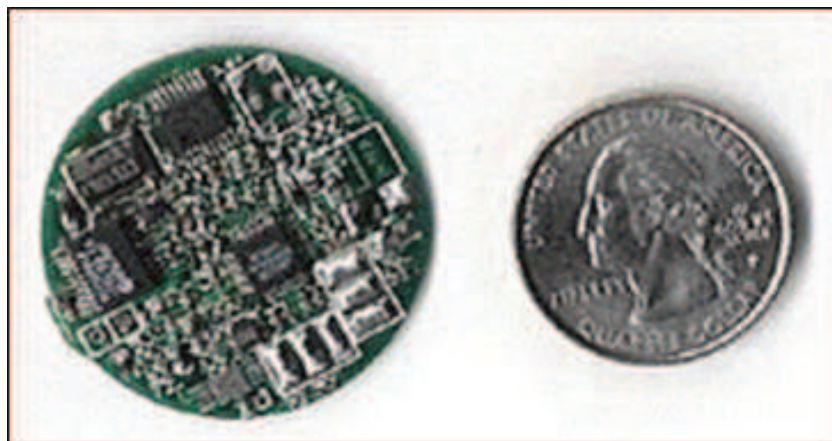
Com relação aos protocolos de rede, existem alguns motivos que impossibilitam o uso de uma rede *Ad-hoc*¹ em sensores sem fio, como: quantidade extremamente alta de nós sensores, os nós sensores são densamente implantados e são propensos a falhas, a topologia de uma rede de sensores muda constantemente devido sua mobilidade, os nós sensores são limitados em memória, energia, capacidade computacional e necessita integração justa com tarefas de sensoriamento.

A tecnologia recente permite que os sensores atuais sejam de tamanhos pequenos (cm³ e até mm³), inteligentes, com baixo custo de produção, capacidade de processamento elevado, durabilidade e resistência em vários tipos de ambiente. Considerando ainda que conforme seu propósito de uso, esses sensores após coletar e analisar o ambiente enviam os dados ao usuário.

A figura 1 abaixo compara o tamanho de um tipo de sensor com uma moeda.

¹ Rede Ad-hoc é uma rede sem fio descentralizada. Cada nó está pronto para transmitir os dados para os outros e para decidir quais nós para a frente dos dados é feita dinamicamente de acordo com a conectividade de rede.

Figura 1: Comparação de tamanho entre uma moeda e um sensor



Fonte: Revista Teleco (2007)

Como uma rede de sensores sem fio pode monitorar uma área extremamente grande, são usados dezenas e até milhares de sensores para melhor monitoramento e qualidade na coleta de dados, que são chamados de nós sensores.

O nó sensor que capta um dado tem o objetivo de transmitir essa informação para outro nó sensor próximo, que por sua vez repassa a informação para outro nó sensor e assim por diante. Um nó sensor tem como principais componentes eletrônicos um transceptor para fazer a comunicação sem fio, um processador que se utiliza de um *software* para processar as informações coletadas, uma fonte de energia para manter o sensor em funcionamento, uma memória e uma unidade de sensoriamento.

Segundo Ruiz, Nogueira e Loureiro (2004), os nós individualmente possuem pouca capacidade computacional e de energia, mas um esforço colaborativo entre os mesmos permite a realização de uma grande tarefa.

A seção 2 mostra a utilidade de uma RSSF. A seção 3 explica o funcionamento de uma rede de sensores sem fio. A seção 4 fala sobre a arquitetura da RSSF. A seção 5 comenta os assuntos relacionados aos dois artigos escolhidos sobre esse tema para análise.

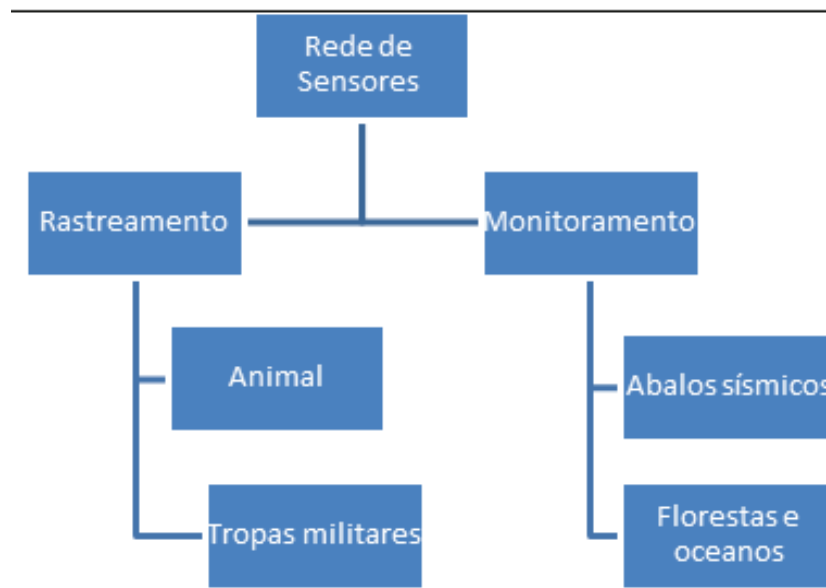
2 UTILIDADE DE UMA RSSF

Diferentemente de uma rede de computador tradicional, as redes de sensores sem fio possuem um número muito grande de nós sensores distribuídos em uma área a ser monitorada. Assim como essa área pode ser uma floresta, um vulcão, um oceano ou até mesmo o corpo humano.

Com a necessidade de se obter dados de uma área grande, a utilidade de uma RSSF cresce conforme a demanda.

Basicamente uma rede de sensores sem fio pode ser dividida em dois tipos: uma rede para monitoramento ou uma rede para rastreamento, conforme ilustra a figura 2 abaixo.

Figura 2: Rede de sensores



Fonte: Autoria própria (2014)

A capacidade de sensoriamento pode variar conforme a necessidade. Megerian, Koushanfar, Veltri e Potkonjak (2002) afirmam que os modelos de sensores encontrados na literatura revelam que sua capacidade de detecção diminui com o aumento da distância do sensor ao fenômeno e cresce com o aumento do tempo de coleta de informações.

No monitoramento é possível medir a temperatura de uma área de difícil acesso, as condições climáticas de uma floresta ou região, um habitat natural de alguma espécie animal, os abalos sísmicos tanto no fundo de um oceano ou próximo de algum vulcão, a pressão atmosférica de uma determinada região.

No rastreamento é possível conferir o movimento e/ou a migração de espécies animais em regiões de difícil acesso ou o movimento no avanço de tropas militares no campo de batalha.

Segundo Janek e Evans (2010), as redes de sensores sem fio fornecem uma forma de monitorar um ambiente com maior granularidade espacial e temporal.

Enfim, a utilidade é infinita e crescente, pois sempre há um motivo ou uma necessidade específica para o uso de uma rede de sensores sem fio.

3 FUNCIONAMENTO

Como uma RSSF utiliza sensores muito pequenos e em grande quantidade, faz com que eles sejam de pouca confiabilidade, ou seja, a rede deve ser tolerante a falhas.

Essas falhas na RSSF podem ser variadas como a falta de energia em um sensor, algum dano físico ou a falta de visibilidade entre um nó com outro. E são falhas comuns, pois normalmente as RSSF são usadas em grandes áreas abertas e expostas ao tempo, porém a rede deve ser capaz de

manter suas tarefas independentemente de perder alguns nós.

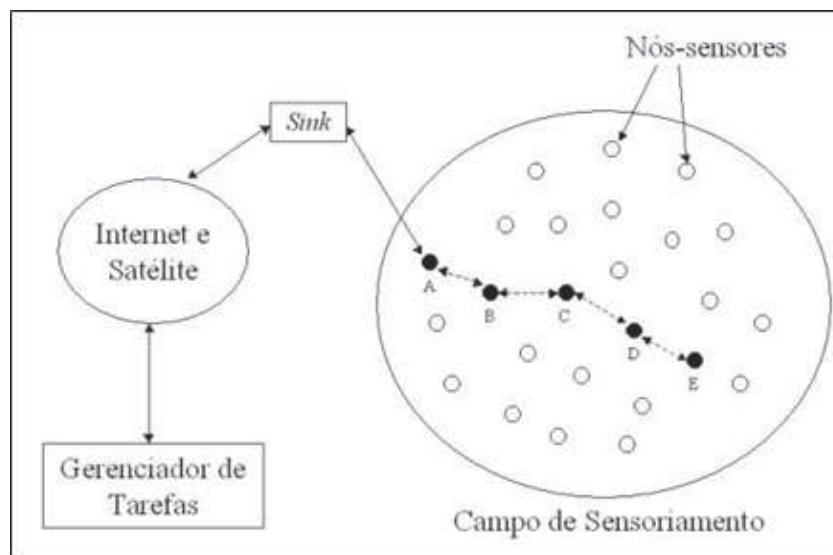
Por se tratar de elementos microeletrônicos, os sensores obrigatoriamente dependem de uma fonte de energia. E o uso dessa energia é de extrema importância nas RSSF, pois sem energia os nós sensores se tornam inativos, sendo assim, os sensores ativos entram no modo “*duty-cycled*”². Para o melhor aproveitamento de energia, os nós sensores são capazes de se adaptarem automaticamente ao ambiente em que estão monitorando de modo a ficarem “adormecidos” quando não houver atividades e se reorganizarem caso ocorra uma perda de um nó sensor.

Projetar e construir circuitos eletrônicos que tenha baixo consumo de energia, utilização de painéis solares e campos magnéticos são algumas técnicas para reduzir o consumo de energia em sensores.

Como o maior consumo de energia se dá na transmissão de dados, a RSSF possui alguns nós sensores principais, o nó sorvedouro, ou o “*sink*”, é ele quem faz a comunicação com o gerenciador de tarefas através da internet ou via satélite. Os nós sensores coletam os dados e transmitem aos nós sensores vizinhos, que por sua vez, retransmitem aos outros nós sensores vizinhos até chegar ao “*sink*”. Esse método evita que a maioria dos nós sensores gaste suas energias na transmissão dos dados coletados com o gerenciador de tarefas.

A figura 3 abaixo exemplifica o modelo do método de utilização do “*sink*” como uma espécie de retransmissor dos dados coletados pelos nós sensores.

Figura 3: Comunicação de RSSF



Fonte: UFRJ (2002)

4 ARQUITETURA DE UMA RSSF

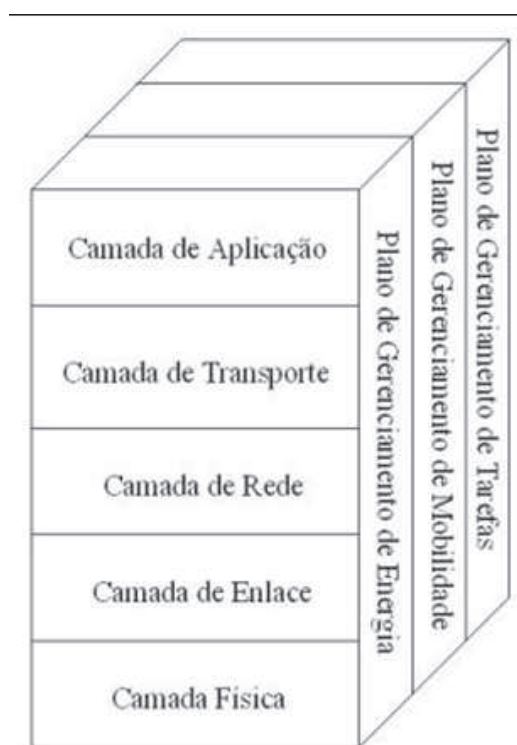
Para Tanenbaun (2003), um conjunto de camadas e protocolos é chamado arquitetura de rede.

² No modo *duty-cycle*, o nó sensor periodicamente se desliga para economizar energia e se religa ao receber algum dado para retransmissão e participação na rede de comunicação.

Uma rede de sensores sem fio utiliza a combinação de *hardware* com um *software* para o envio das informações coletadas de um lugar a outro, e por não necessitar de uma infraestrutura, os nós sensores podem alocar-se aleatoriamente na rede, pois são capazes de se organizarem e se comunicarem entre si automaticamente.

As camadas de comunicação de uma rede de sensores sem fio são mostradas na figura 4 abaixo.

Figura 4: Camadas de RSSF



Fonte: UFRJ (2002)

Em uma rede de sensores sem fio, cada camada possui seus protocolos³ específicos. Na camada física existem a transmissão em rádio frequência (RF), em rede óptica e em infravermelho. Na camada de enlace alguns protocolos são S-MAC, ARC, T-MAC etc. Na camada de rede alguns protocolos são SPIN, SAR, GPSR entre outros. Os protocolos TCP e UDP, além de outros como PFSQ e ESRT pertencem à camada de transporte. Na camada de aplicação alguns exemplos de protocolos são SMP, TADAP e SQDDP.

4.1 Camada física

E por se tratar de rede sem fio, é possível utilizar três tipos de comunicação: a comunicação óptica, a infravermelho e a rádio frequência (RF).

A comunicação óptica é um tipo de comunicação que requer área física para a instalação da antena para transmissão das informações. Uma característica desse tipo de comunicação é que o

³ Protocolo é um conjunto de regras que governa a comunicação de dados. [4]

consumo de energia é baixo, porém requer que o transmissor esteja alinhado com o receptor, pois a propagação é direcional, ou seja, a antena do transmissor deve estar visada com a antena do receptor e sem nenhum obstáculo físico. É um tipo de comunicação muito sensível às condições climáticas e é inviável caso o objetivo do monitoramento seja o de uma área grande e necessite muitos sensores.

A comunicação infravermelha assemelha-se à comunicação óptica, embora não necessite de espaço físico para colocação de uma antena, seu alcance é pequeno, com utilização em áreas fechadas e com propagação direcionada e ainda não há nós disponíveis que utilizem essa forma de comunicação.

A comunicação utilizando rádio frequência (RF), por caracterizar-se pelo uso de ondas eletromagnéticas, e como é usada uma antena omnidirecional que transmite sinais em todas as direções, é a forma de comunicação comercialmente mais utilizada, porém seu maior problema, além do tamanho da antena que é usada, é o consumo de energia gasta pelos nós sensores. E normalmente a comunicação RF pode ser operada de quatro modos diferentes: transmissão, recepção, “idle” e “sleep”.

No modo transmissão e recepção os sinais nos nós sensores são enviados e recebidos, no modo “idle” os nós sensores não estão nem transmitindo e nem recebendo sinal e no modo “sleep” os nós sensores ficam “adormecidos” enquanto não recebem nenhum sinal operando com baixo consumo de energia.

Para Vieira, Silva Júnior e Mata (2003), muitos rádios que operam no modo “idle” consomem energia como se estivessem no modo de recepção, nestes casos é importante traçar outras estratégias para economia de energia.

4.2 Camada de enlace

A camada de enlace é responsável de transportar os pacotes de um nó a outro nó através da rede, conhecido como entregas *node-to-node*. Entre seus serviços estão o encapsulamento, endereçamento, controle de erros, controle de fluxo e controle de acesso.

Para Forouzan (2006), encapsulamento é a técnica na qual uma unidade de dados (*payload*) de um protocolo é colocada dentro do campo de unidade de dados de outro protocolo. Endereçamento é uma identificação de um dispositivo (computador, impressora, etc.) em uma rede local ou pública. Controle de erros é a detecção e o controle de erros em uma transmissão de dados. Controle de fluxo serve para controlar o fluxo de *frames* (pacotes ou mensagens) e controle de acesso é a determinação do controle do *link*⁴ através do protocolo de enlace.

Conforme Tanenbaun (2003) diz que em toda transmissão em rede sem fio, o maior problema enfrentado são as colisões de pacotes, que por sua vez acarretam em perdas desses pacotes, ou seja,

⁴ Caminho de comunicação físico que transfere dados de um dispositivo para outro. [4]

as colisões resultam em perda de informações. Para a detecção de colisões seria necessário um aumento na banda de transmissão, pois implicaria em transmissão e recepção ao mesmo tempo. Sendo assim, o método empregado nas tradicionais redes Ethernet⁵, CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect*) não pode ser empregado em redes sem fio.

As redes sem fio utilizam o protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) para controle de acesso ao meio que serve para evitar colisões.

4.3 Camada de rede

A camada de rede é a camada onde ocorrem os roteamentos. Alguns dos principais serviços dessa camada é o endereçamento, o encapsulamento, a fragmentação e o roteamento.

Para Tanenbaun (2003), uma questão fundamental do projeto para uma rede de comunicação é determinar a maneira como os pacotes são roteados da origem até o destino, ou seja, os protocolos de roteamento encarregam-se da transmissão fim a fim.

E na camada de rede, a forma de comunicação mais comum é a unidirecional, com direção partindo dos nós fontes para a estação base, como se fosse um *multicast*⁶ invertido e a probabilidade de dados redundantes é maior.

4.4 Camada de transporte

Alguns dos principais serviços da camada de transporte são o controle da conexão, o endereçamento, a confiabilidade e a fragmentação/desfragmentação, pois é a camada de transporte que é responsável por agregar confiabilidade na comunicação envolvendo processos finais.

Se a comunicação entre o usuário e o nó sensor “*sink*” é feita por UDP (*User Datagram Protocol*) ou TCP (*Transmission Control Protocol*) via internet ou por satélite, a comunicação entre os nós sensores e o nó sensor “*sink*” podem ser apenas por UDP porque cada nó sensor possui memória limitada.

O protocolo UDP é um protocolo não confiável e não é orientado à conexão, apenas assegura a comunicação entre processos finais e realiza uma limitada verificação de erros. Por isso, as possibilidades de o destino não receber os dados são várias como, por exemplo, perder os dados, duplicar os dados ou agrupar de forma errada. É o protocolo mais usado em redes de sensores sem fio, pois a transmissão é rápida por se tratar de protocolo com menos interação entre transmissor e receptor.

O protocolo TCP é um protocolo confiável e é orientado à conexão e fornece confiabilidade

⁵ Ethernet é o padrão mais difundido para redes locais e já foi quase sinônimo de LAN (*Local Area Network*).

⁶ Comunicação na qual um quadro é enviado para um grupo específico de dispositivos ou clientes.

aos serviços da camada IP. Sua confiabilidade se dá por possuir mecanismo de confirmação para verificar a integridade dos dados.

Forouzan (2006) diz que a detecção de erros em um protocolo TCP é feita pelo *checksum*, que confere o total de verificação do cabeçalho e dos dados, pelo *ack (acknowledgement)*, que é uma confirmação de recebimento e pelo *time-out* (tempo limite) e seu mecanismo para controle de fluxo de dados é a janela deslizante, que é um protocolo que permite a transmissão de diversas unidades de dados sem ter que receber antes uma mensagem de confirmação (*ack*) para cada uma delas, cujo tamanho da janela é determinado pelo receptor.

4.5 Camada de aplicação

É a camada que permite que o usuário se utilize das informações recebidas e coletadas pelos nós sensores. Fornece acesso aos recursos da rede.

Existem alguns protocolos específicos para que os usuários consigam monitorar o andamento de um grupo de sensores em determinada área, ou que consigam reconfigurar a rede dos sensores, gerenciando toda sua funcionalidade.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com relação aos dois artigos escolhidos, *Wireless sensor network survey*, de Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee e Dipak Ghosal do Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Califórnia, em Davis, Estados Unidos e *A survey on routing protocols for wireless sensor networks*, de Kemal Akkaya e Mohamed Younis do Departamento de Ciência da Computação e Engenharia Elétrica da Universidade de Maryland, em Baltimore, Estados Unidos. Enquanto o primeiro faz uma visão geral sobre rede de sensores sem fio, o segundo procura focar um pouco nos protocolos de roteamento das redes de sensores sem fio.

No primeiro artigo, os autores buscam uma visão geral das RSSF, iniciam citando como é seu funcionamento, fazem algumas comparações entre alguns tipos de redes de sensores sem fio, suas aplicações, seu protocolo de comunicação e concluem classificando e comparando os protocolos da camada física, da camada de enlace, da camada de rede e da camada de transporte.

No segundo artigo, os autores focam nos protocolos de roteamento e na classificação de protocolos de rede de sensores sem fio. Começam com uma breve visão sobre a arquitetura da rede e suas implicações no roteamento, passando pela hierarquia de protocolos na rede e outros protocolos baseados em qualidade de serviço em RSSF. Concluem com um comparativo entre vantagens e desvantagens referentes aos problemas de pesquisa.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista a larga potencialidade das redes de sensores sem fio, além da sua adaptabilidade e facilidade para acesso em áreas inóspitas, outra grande vantagem é o fator econômico. A medida que a tecnologia do *hardware* utilizado progride, seu custo final diminui e a popularidade de seu uso tende a aumentar.

Outra característica importante que não se pode menosprezar referente sua utilidade é que mesmo que um nó sensor tenha sua aplicação perfeita para um tipo de uso, com sua dimensão, taxa de transmissão e alcance específico, esse mesmo nó sensor talvez seja inadequado para outro tipo de aplicação.

Entretanto, por ser uma atividade relativamente nova, as redes de sensores sem fio apresentam algumas dificuldades e desafios, pois com o aumento de seu uso surgem novas tecnologias para seu aprimoramento e conseqüentemente surgem novas oportunidades de uso.

Enfim, com o surgimento de novos conceitos e novos problemas com relação às redes de sensores sem fio, faz-se crescer a necessidade e a oportunidade de novas pesquisas relativas ao assunto.

REFERÊNCIAS

- FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman. 2006.
- JANEK, J. F.; EVANS, J. J. **Predicting ground effects of omnidirectional antennas in wireless sensor networks**. *Wireless Sensor Network*, v. 2. 2010.
- MEGERIAN, S.; KOUSHANFAR, F.; QU, G.; VELTRI, G. and POTKONJAK, M. **Exposure in wireless sensor networks: Theory and practical solutions**. 2002.
- RUIZ, L. B., NOGUEIRA, J. M. S. e LOUREIRO, A. A. **Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems**, volume I, chapter III: Sensor Network Management. CRC Press. 2004.
- TANENBAUN, A. S. **Computer networks**. Prentice Hall PTR, 4th edition. 2003.
- VIEIRA, M. A. M.; SILVA JÚNIOR, D. C.; MATA, J. M. **Survey on wireless sensor network devices**. In IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. 2003.