

Rede ZigBee Aplicada à Medição em Agricultura

Fabiano Poderoso¹, Victor Ariel Sobral², Robson N. de Lima³, Amauri Oliveira⁴

¹ LSITEC-Nordeste, Salvador-BA; fabiano.poderoso@lsitec.org.

^{2,3,4} Universidade Federal da Bahia-UFBA-DEE, Salvador-BA, Brasil, delima@ufba.br

Abstract: This paper presents an evaluation of the Zigbee as a potential candidate to form a wireless sensor network applied to precision agriculture. This evaluation is conducted by means of development and experimentation of a 6-node network. Relevant mechanisms for agricultural applications, such as communication range, multihop communication, and reliability under multiple path conditions are tested and their performance suggest that Zigbee is a promising standard to constitute a wireless sensor network for agricultural applications.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Zigbee, Precision Agriculture, IEEE 802.15.4

1. INTRODUÇÃO

As Redes de Sensores sem Fio (RSSF) típicas são constituídas por um grande número de nós sensores (de centenas a milhares) de tamanho minúsculo e que possuem mobilidade apenas eventual. Essas redes realizam sensoriamento denso (grande quantidade de nós por unidade de área) de áreas alvo e possuem organização *ad-hoc*, a partir da qual os nós cooperam a fim de organizar a rede [1]. Diferentemente de redes sem fio que possuem uma infraestrutura disponível, como os sistemas de telefonia celular e suas estações radiobase, os dispositivos que compõem uma rede sem fio *ad-hoc* deverão estabelecer diálogos com seus vizinhos, a fim de criar e configurar a rede.

A Figura 1 apresenta a organização de uma rede de sensores típica. É possível distinguir inicialmente dois tipos de nós: os nós comuns que realizam a medição dos parâmetros físicos e químicos, e os nós escoadores, para os quais as informações são dirigidas. Os escoadores podem estar em contato direto com dispositivos computacionais, como estações de trabalho, computadores ultra-portáteis, ou podem servir como um elemento de conexão (*gateway*) para uma outra rede, como a Internet.

As características peculiares das redes de sensores propiciam a sua utilização em agricultura de precisão. A presença de uma grande quantidade de nós sensores permanentemente instalados no campo possibilita a caracterização do mesmo de maneira precisa nas dimensões espacial e temporal [2]. Podem ser utilizados sensores para parâmetros físicos e químicos do solo, bem como para parâmetros climáticos. O monitoramento de microclimas em vinhas [3] e a irrigação de precisão [4] são exemplos de duas

aplicações em que as Redes de Sensores sem Fio vêm sendo utilizadas com sucesso. Dentre as características desejáveis para estas aplicações estão o consumo reduzido de potência por parte dos nós, a capacidade de comunicação em múltiplos saltos e a tolerância da rede à falha de seus dispositivos.

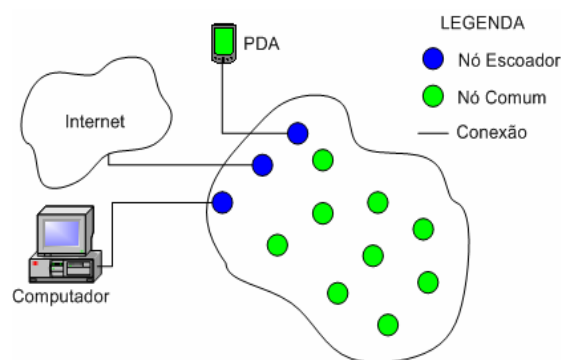


Fig. 1. Esquemático de uma Rede de Sensores sem Fio.

Dada a vantagem de custo reduzido de *hardware* e *software* para padrões amplamente aceitos, foi decidido pela investigação dos padrões para redes sem fio locais e pessoais atualmente disponíveis, quais sejam o Bluetooth, o WiFi e o Zigbee. Os padrões Bluetooth e WiFi apresentam um perfil de consumo de potência pouco adequado para determinadas aplicações de RSSF [5], incluindo a agricultura. O padrão Zigbee, que se baseia no padrão IEEE 802.15.4, é o mais forte candidato para as aplicações em agricultura. O surgimento deste padrão em 2005 teve como alvo a implementação de redes sem fio com custo, consumo de potência e complexidade baixos. O padrão Zigbee foi especificamente criado para a implementação de redes de sensores, permitindo a utilização de redes com uma grande quantidade de nós sensores. A capacidade de seus dispositivos de realizarem roteamento permite estender a região coberta pela rede, sem aumentar as distâncias dos enlaces. O mecanismo de descoberta e estabelecimento de rotas dentro da rede aumenta a robustez e a confiabilidade do sistema em caso de falhas de dispositivos.

2. OBJETIVOS

O padrão Zigbee se encontra em processo de desenvolvimento e, dessa forma, alguns aspectos de seu comportamento ainda não estão completamente definidos, podendo variar entre implementações diferentes. Assim, uma investigação de alguns mecanismos importantes para as aplicações que são foco do trabalho é bastante relevante.

Dada a extensão de RSSF em agricultura, que pode atingir alguns quilômetros entre o mais longínquo nó e o destino da mensagem, faz-se necessária a utilização do mecanismo de múltiplos saltos, o qual permite o roteamento de pacotes por dispositivos intermediários até o seu destino. Além disso, também é importante que se avalie o alcance de um enlace, para se planejar a disposição dos nós na rede. As seções 3.1 e 3.2 apresentam experimentos que avaliaram as duas características mencionadas.

Outro mecanismo importante para a operação de RSSF em agricultura é a capacidade que a rede deve possuir de manter o seu serviço, mesmo em caso de falha de determinados nós. O mecanismo de descoberta de rotas, que provê tal robustez, é examinado na seção 3.3.

3. MÉTODOS

Dado que o padrão Zigbee apresenta características compatíveis com as aplicações em agricultura, optou-se pela aquisição de um equipamento adequado para o desenvolvimento dessas redes. Trata-se de uma ferramenta de desenvolvimento de redes Zigbee comercializada pela empresa Silicon Laboratories. Esta ferramenta possui seis nós de rede, cada um constituído por um microcontrolador Silicon Laboratories C8051F121, cujo software de rede foi desenvolvido pela empresa Helicomm, e um transceptor Chipcon CC2420 compatível com o padrão IEEE 802.15.4. A programação da rede foi feita em linguagem C padrão, acrescida de algumas diretivas específicas para microcontroladores 8051.

Inicialmente, optou-se pela implementação de uma rede Zigbee com seis nós sensores. O desenvolvimento deste sistema levou em consideração, entre outros, os seguintes aspectos, importantes para as aplicações em agricultura de precisão:

- Nessas aplicações, os sensores fazem medição periódica de parâmetros. No sistema para irrigação de precisão comentado na introdução, por exemplo, a aquisição de umidade do solo se dá a cada 15 minutos;
- A interação com o usuário (agrônomo, administrador) deve ser feita através de uma interface gráfica “amigável”. É preciso que as informações sejam apresentadas de modo compreensível para o usuário, que poderá não possuir conhecimentos técnicos acerca do funcionamento da rede;
- Uma vez que os nós estejam posicionados no campo, a interface gráfica deve permitir a construção automática da rede, o que é propiciado pela capacidade de auto-organização desses sistemas. Também é interessante que o usuário possa escolher a topologia da rede, quando de sua configuração.

As subseções a seguir apresentam os métodos específicos utilizados para a investigação das características de alcance do enlace, comunicação em múltiplos saltos e o processo de descoberta de rotas.

3.1 Experimentações envolvendo o alcance do enlace

Foi utilizada uma interface gráfica que permite verificar a potência do sinal recebida (RSSI) em cada pacote, bem como o número de pacotes perdidos. Este teste procurou avaliar a qualidade de comunicação entre os dispositivos em diversas distâncias. Para cada distância fixa é realizada uma grande quantidade de transmissões e a quantidade de erros é monitorada. Além disso, a potência recebida do sinal é também obtida, para cada distância.

3.3 Experimentações envolvendo a comunicação em múltiplos saltos

Foi desenvolvido um experimento, em campo aberto, para se estudar a comunicação em múltiplos saltos na rede Zigbee. Neste experimento é avaliada a comunicação entre dois dispositivos, utilizando-se um dispositivo intermediário. Procura-se observar, em diversas configurações, se a comunicação é realizada através do dispositivo intermediário. Uma vez assegurado o sucesso da comunicação utilizando um roteador, uma segunda configuração do experimento é avaliada, sendo que desta vez a posição relativa dos nós é alterada durante o experimento, a fim de se avaliar a capacidade da rede Zigbee de se auto-configurar dinamicamente.

3.4 Experimentações envolvendo o mecanismo de descoberta de rotas

Uma rede com uma grande quantidade de nós sensores deve tolerar falhas em dispositivos que façam parte de rotas importantes dentro dela. O mecanismo de descoberta de novas rotas, apresentado na Figura 2, permite esta tolerância. Um experimento foi elaborado para o estudo de tal mecanismo. Em primeiro lugar, certifica-se que a comunicação entre dois dispositivos é feita por determinada rota (dispositivo intermediário). Esta rota (dispositivo) é, então, intencionalmente removida e verifica-se a capacidade da rede de estabelecer uma nova rota, através de novo dispositivo.

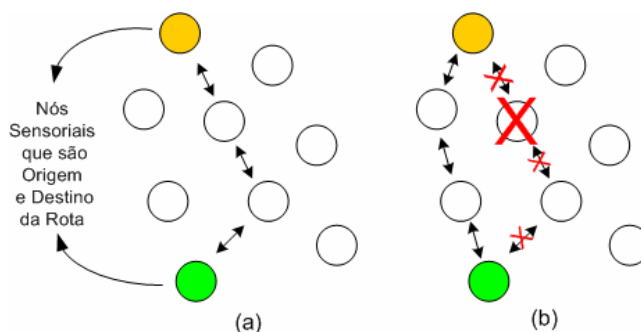


Fig. 2. Mecanismo de descoberta de rotas. (a) Rota original; (b) falha e estabelecimento de uma rota alternativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As subseções a seguir apresentam o sistema desenvolvido e os resultados dos experimentos de alcance do enlace, múltiplos saltos e descoberta de rotas, respectivamente.

4.1 Sistema Desenvolvido

O padrão Zigbee especifica três tipos de dispositivos que podem compor a rede, a seguir:

- Coordenador: responsável pela configuração e criação da rede, capaz de realizar roteamento e permitir a associação de novos dispositivos a ele;
- Roteador: capaz de realizar roteamento e permitir a associação de novos dispositivos a ele;
- Dispositivo Final: não possui as capacidades citadas dos roteadores e coordenadores, podendo operar num estado de consumo de energia extremamente baixo (modo de espera).

O sistema implementado possui seis nós sensores, conforme a Figura 3. Uma das placas (coordenador) se conecta ao computador via interface serial de comunicação. Duas placas fazem leitura de sensores externos de umidade e temperatura através do conversor analógico-digital do microcontrolador. As três placas restantes fazem leitura do sensor de temperatura interno ao microcontrolador. O sensor externo de temperatura utilizado foi o LM35, fabricado pela empresa National Semiconductors, e o sensor de umidade do ar foi o HIH 4000-004, fabricado pela empresa Honeywell.

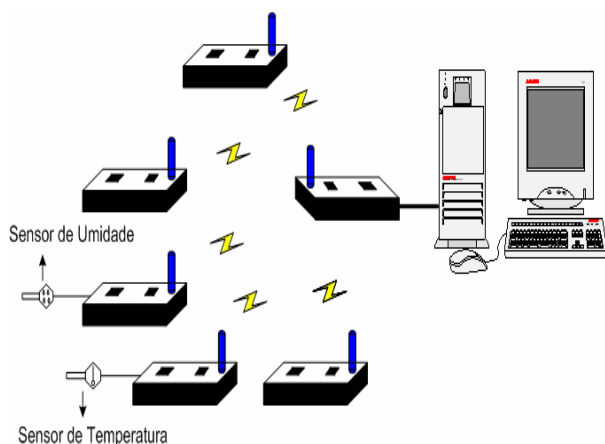


Fig. 3. Configuração do sistema desenvolvido.

Nesse sistema, foi desenvolvida uma interface gráfica que permite ao usuário, através do coordenador, enviar comandos à rede e receber medições realizadas por cada nó sensor. Ao iniciar a interface, o usuário deve primeiro escolher a topologia da rede, dentre duas possibilidades. As topologias disponíveis são estrela e árvore. Após essa etapa, o usuário deverá criar a rede através do respectivo botão e, em seguida, os outros dispositivos entrarão automaticamente na rede. A partir daí, o usuário poderá escolher o número de transmissões a ser realizado e, após isso, poderá escolher o nó para o qual fará a requisição dos dados. Escolheu-se, de maneira arbitrária, o intervalo de quatro segundos entre as medições. A interface utiliza gráficos para apresentar os dados obtidos. Após a aquisição dos dados, novas medições

podem ser requisitadas, ou a rede pode ser dissolvida e o programa encerrado.

A Figura 4 apresenta um gráfico obtido com diversas medições realizadas com o sensor de temperatura utilizado (LM35).

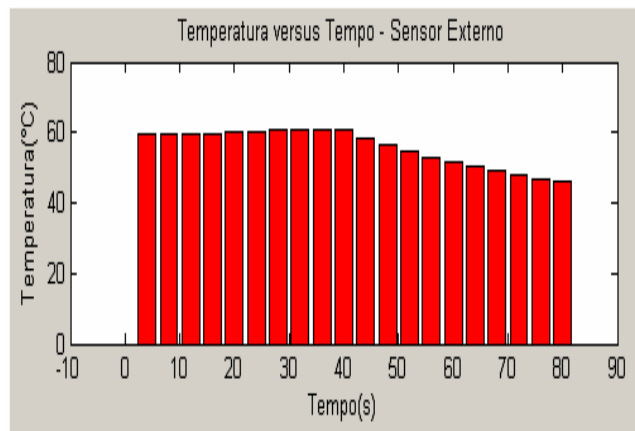


Fig. 4. Gráfico obtido com as medições de temperatura.

Foram comparadas as medições obtidas nas saídas dos sensores externos e na interface gráfica, de modo a se verificar a exatidão dos resultados. As medições de umidade relativa variaram de 40% U.R a 70% U.R, apresentando um erro máximo de 2% U.R.. As medições de temperatura variaram de 25 °C a 60 °C, com um erro máximo de 1 °C. Esses erros são gerados no conversor analógico-digital do microcontrolador.

4.2 Alcance do enlace

Para este experimento, o equipamento foi posicionado conforme a Figura 5, onde a distância "d" foi variada de acordo com a tabela 1, realizando-se um total de 100 transmissões para cada posição. Não havia obstáculos entre as placas.

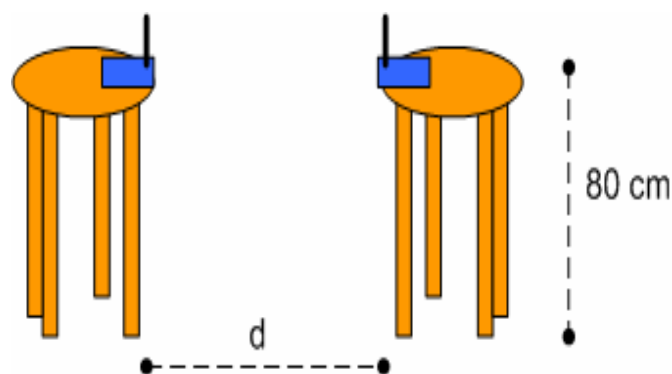


Fig. 5. Disposição das placas para avaliação do alcance.

Conforme pode ser visto na Figura 5, as placas foram posicionadas a uma altura de 0,8 m e as antenas foram voltadas uma para a outra. A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados. A sensibilidade do transceptor utilizado é de -95 dBm e a grandeza RSSI medida apresenta uma exatidão de ± 6 dB.

Tabela 1. Resultados do experimento.

Distância (m)	RSSI (dBm)	Pacotes Perdidos (%)
30	-64	0
60	-65	0
90	-68	0
120	-70	0
150	-77	0
180	-79	0
210	-88	20

De acordo com esses resultados, é possível obter comunicações confiáveis com o equipamento Zigbee em distâncias de até 180 metros em campo aberto. Na distância de 210 m, vinte de um total de cem pacotes enviados foram perdidos.

4.2 Múltiplos saltos

A topologia utilizada neste experimento se encontra esquematizada na Figura 6. Para a realização da comunicação em múltiplos saltos, aumentou-se a distância entre o coordenador e o dispositivo final, de modo a evitar transmissões diretas. O programa de aplicação envia uma mensagem do dispositivo final para o coordenador da rede. Este último recebe a mensagem e a indica em seus diodos emissores de luz.

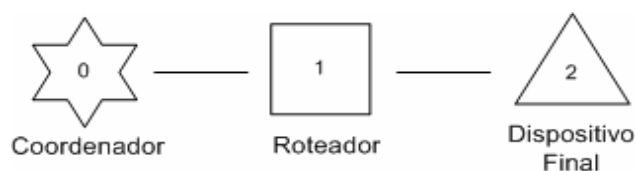


Fig. 6. Configuração para experimento de múltiplos saltos

Com os nós em suas posições, iniciaram-se as transmissões e verificou-se que todas foram bem sucedidas. Então, retirou-se o elemento roteador e verificou-se a falha na transmissão das mensagens. Este experimento foi repetido inúmeras vezes, verificando-se a repetição dos resultados. Após esta verificação, os dispositivos foram aproximados e observou-se que a presença do roteador não é mais necessária para a comunicação do dispositivo final com o coordenador.

A comunicação em múltiplos saltos foi realizada quando o dispositivo final, ao entrar na rede, não tinha contato com o coordenador, tendo somente o roteador como vizinho. Numa segunda configuração do experimento, o dispositivo final estava próximo do coordenador ao entrar na rede, sendo deslocado para o ponto em que não tinha contato com o mesmo posteriormente. Foi observado que a comunicação em múltiplos saltos não ocorre neste caso. Dessa forma, é possível concluir que as conexões iniciais entre os nós são estabelecidas quando da criação da rede e não são modificadas automaticamente quando as posições relativas dos nós sensores mudam.

4.3 Descoberta de rotas

De acordo com a especificação Zigbee v.1.0 o processo de descoberta de novas rotas é iniciado a partir do dispositivo que faz requisição da transmissão, bastando para isso que este dispositivo configure o parâmetro "DiscoverRoute" de sua função de transmissão com o valor "True". Seria interessante verificar o funcionamento deste procedimento na prática e, para isso, foi utilizada a rede com topologias apresentadas nas Figuras 7(a) e 7(b).

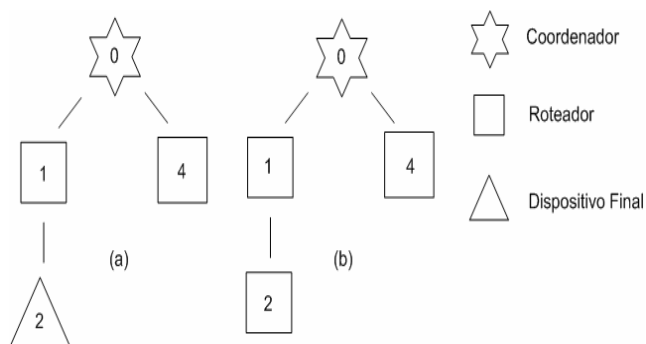


Fig. 7. Configurações para experimento descoberta de rotas.

Para que haja possibilidade de se efetuar tal experimento é preciso evitar a comunicação direta entre o nó de endereço dois e o coordenador. Isto foi garantido utilizando-se obstáculos metálicos.

De acordo com a Figura 7, o coordenador assume o endereço zero, o primeiro roteador assume o endereço um e o segundo assume o endereço quatro. O último elemento da rede a ser adicionado pode assumir o endereço dois ou cinco, conforme se filie aos dispositivos de endereço um ou quatro, respectivamente. Supõe-se que ele assume o endereço dois, o que não implica em perda de generalidade das conclusões obtidas. A partir daí realizam-se transmissões do elemento dois ao coordenador e certifica-se de que todas elas são bem sucedidas. Após isso, retira-se o elemento quatro, ou seja, é excluído da rede o elemento que não é integrante da rota do elemento dois, e verifica-se que as transmissões continuam bem sucedidas. Em seguida, faz-se retornar à rede o elemento quatro e agora é retirado o elemento um. O resultado dos testes subsequentes depende do fato do elemento dois ser roteador (Figura 7(b)) ou dispositivo final (Figura 7(a)).

No caso de se ter um roteador, inicialmente realiza-se, com o elemento dois, uma transmissão com o parâmetro "DiscoverRoute" na condição "False" (este é um parâmetro da função de transmissão). A transmissão é mal sucedida e o elemento é automaticamente excluído da rede. Caso contrário (DiscoverRoute = True), uma nova rota será estabelecida e as transmissões serão bem sucedidas.

No caso de se ter um dispositivo final, a transmissão será bem sucedida independentemente do parâmetro "DiscoverRoute". O dispositivo mudará de endereço (assumirá o endereço cinco), indicando que o elemento quatro adotou o dispositivo final. O experimento de descoberta de rotas aqui descrito foi repetido inúmeras vezes, verificando-se a repetição dos resultados.

Alguns resultados obtidos nesta subseção e na subseção anterior não estão previstos na especificação Zigbee versão 1.0. Isto se deve, em parte, ao fato do padrão Zigbee estar

em processo de desenvolvimento. Além disso, algumas características do comportamento da rede são deixadas a critério de quem as implementa.

5. CONCLUSÃO

A avaliação de características importantes do padrão Zigbee realizadas durante essa pesquisa permite apontá-lo como um forte candidato para as aplicações de RSSF em agricultura. O sistema desenvolvido em laboratório, além de possibilitar uma familiaridade na utilização das redes Zigbee programadas para aplicações em agricultura, permitiu observar e avaliar algumas propriedades de organização *ad hoc* da rede. Uma vez dispostos no campo, os nós Zigbee encontrarão seus vizinhos de maneira autônoma e criarão rotas iniciais para comunicação dos seus dados ao coordenador. Caso estas rotas sejam prejudicadas por falhas de dispositivos ou de enlaces, o mecanismo de descoberta de rotas estudado permitirá manter a funcionalidade da rede. O mecanismo de múltiplos saltos permite que a rede se estenda até alguns quilômetros, embora, de acordo com o observado experimentalmente, os nós da rede devam permanecer em posições fixas após a configuração da rede.

Cabe ressaltar que, para todos os experimentos realizados, os serviços da rede Zigbee utilizados foram fornecidos pela camada de rede. O padrão Zigbee também fornece uma camada de aplicação, que se localiza acima da camada de rede. Porém, tal camada é voltada para aplicações de automação residencial ou monitoramento de parâmetros fisiológicos, em detrimento de aplicações em agricultura, que possuem características bem distintas.

Outros órgãos responsáveis pela padronização de tecnologias de comunicação, tais como o **IETF** e o **ISA**, têm percebido as potencialidades do padrão IEEE 802.15.4 e, tal qual a organização responsável pelo Zigbee, implementado tecnologias de comunicação para novas aplicações. Dentre estes, é possível citar o padrão **6Lowpan**, que possibilita a utilização de protocolos TCP/IP sobre o IEEE 802.15.4, e o **Wireless Hart**, que usa o mesmo padrão como base para aplicações industriais.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Frodigh, P. Johansson, P. Larsson; "Wireless Adhoc Networking: The Art of Networking Without a Network", Ericsson Review, n. 4, 2000.
- [2] A. Camilli, C. Cugnasca, A. Saraiva, A. Hirakawa; "From Wireless Sensors to Field Mapping: Anatomy of an Application for Precision Agriculture ", Computers and Electronics in Agriculture, v.50, n.1, p. 1-14, Janeiro de 2006.
- [3] R. Beckwith, D. Teibel, P. Bowen; "Report from the Field: Results from an Agricultural Wireless Sensor Network", 29th Annual IEEE International Conference on Local computer Networks (LCN 2004), p. 471-478, 2004.
- [4] Torre-Neto, R. Ferrarezi, D. Razera, E. Speranza, W. Lopes, T. Lima, L. Rabello e C. Vaz "Wireless sensor network for variable rate irrigation in citrus," 7th Information & Technology for Sustainable Fruit & Vegetable Production, v.1, pp. 118-123, Montpellier 2005.
- [5] H. Karl e A. Willig, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Wiley, 2005.