

AN APPLICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR THE ENVIRONMENT MONITORING IN A CULTIVATION OF CORN

JUAN CARLOS CONGONA BENAVENTE
CARLOS EDUARDO CUGNASCA
JOSÉ PAULO MOLIN
ANTONIO MAURO SARAIVA

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP

Wireless Sensor Networks are gaining importance within the farms, allowing a better management of spatial variability in an agricultural crop. This work presents an exploratory application involving a network with 17 sensor nodes, whose purpose was monitoring environmental variables in a corn crop. The data collected has shown the existence of variability, highlighting the importance of using a wireless sensor networks to improve the management of spatial variability. From the technological point of view the network performance in an agricultural environment was evaluated.

Laboratory:
LAA

Publication:
SBIAgro, 2009

Funding:
FAPESP, CNPq, CAPES,
Ministério da Ciência e Tecnologia

UMA APLICAÇÃO DE REDE DE SENSORES SEM FIO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM UMA CULTURA DE MILHO

JUAN CARLOS CONGONA BENAVENTE¹
CARLOS EDUARDO CUGNASCA²
JOSÉ PAULO MOLIN³
ANTONIO MAURO SARAIVA⁴

RESUMO: As redes de sensores sem fio vêm ganhando importância dentro das fazendas, permitindo um melhor gerenciamento da variabilidade espacial em uma cultura agrícola. Neste trabalho é apresentada uma aplicação exploratória envolvendo uma rede com 17 nós sensores, cuja finalidade foi monitorar variáveis ambientais em uma cultura de milho. A partir da coleta de dados realizada, evidenciou-se a existência de variabilidade, destacando a importância de utilizar uma rede de sensores sem fio para melhorar o gerenciamento da variabilidade espacial. Do ponto de vista tecnológico, procurou-se avaliar o desempenho da rede em um ambiente agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: cultura de milho, monitoramento ambiental, agricultura de precisão, redes de sensores sem fio.

A WIRELESS SENSOR NETWORKS APPLICATION FOR CORN CROP ENVIRONMENTAL MONITORING

ABSTRACT: Wireless Sensor Networks are gaining importance within the farms, allowing a better management of spatial variability in an agricultural crop. This work presents an exploratory application involving a network with 17 sensor nodes, whose purpose was monitoring environmental variables in a corn crop. The data collected has shown the existence of variability, highlighting the importance of using a wireless sensor networks to improve the management of spatial variability. From the technological point of view the network performance in an agricultural environment was evaluated.

KEY-WORDS: corn, environmental monitoring, precision agriculture, wireless sensor networks.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão envolve um conjunto de práticas gerenciais dentro dos sistemas de produção agrícolas e florestais e é reconhecida como uma forma de economizar recursos, minimizar o impacto ambiental e se obter maior rentabilidade. A variabilidade espacial existente em uma cultura agrícola, com relação às condições climáticas, do solo e das plantas, exige a utilização de novas tecnologias que permitam o melhor gerenciamento dessa variabilidade, conseguindo aplicar os conceitos da agricultura de precisão (MOLIN, 2004) (TSCHIEDEL e FERREIRA, 2002).

Uma dessas novas tecnologias, que permite lidar com a variabilidade tanto espacial quanto temporal, é a Rede de Sensores sem Fio (RSSF), a qual é constituída por um conjunto de dispositivos, chamados nós sensores. As capacidades básicas que possuem os nós sensores (sensoriamento, processamento e comunicação sem fio) permitem coletar dados do meio onde são implantados, tornando possíveis aplicações, que anteriormente não podiam ser realizadas mediante o uso de tecnologias convencionais (CULLER et al., 2004).

¹ Mestrando e Bacharel em Engenharia de Sistemas, Escola Politécnica da USP, juan.benavente@poli.usp.br

² Professor Livre-docente em Engenharia de Computação, Escola Politécnica da USP, carlos.cugnasca@poli.usp.br

³ Professor Livre-docente, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP, jpmolin@esalq.usp.br

⁴ Professor Titular, Escola Politécnica da USP, saraiva@usp.br

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar as experiências exploratórias de um trabalho de campo relacionado com aplicações de RSSF, realizado pelo Laboratório de Automação Agrícola (LAA) da Escola Politécnica em conjunto com o Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP. Este trabalho envolveu a aplicação de uma RSSF para monitoramento em tempo real de variáveis ambientais em uma cultura de milho. A partir da análise dos dados coletados pela RSSF, pretende-se mostrar a sua importância para melhorar o conhecimento e gerenciamento da variabilidade espacial dentro de uma cultura como o milho e avaliar o desempenho da RSSF implantada em um ambiente agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do Experimento

O experimento foi realizado em um campo utilizado para pesquisa na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ da USP, para coleta de dados ambientais de temperatura e umidade relativa em uma cultura de milho, por meio de uma RSSF. A rede foi constituída por 17 nós sensores, sendo que um deles (número 01) foi fixado na borda da lavoura e próximo ao *gateway*, como mostrado no lado esquerdo da Figura 1. Os outros 16 nós ficaram fixados dentro da lavoura, presos aos pares em estacas, tal como apresentado no lado direito da Figura 1, permitindo dessa forma, avaliar a variabilidade dos dados dependendo da altura em relação ao solo na qual foi realizada a coleta.



Figura 1 - Localização do *gateway* e do nó sensor 01 (esquerda); nós sensores presos aos pares dentro da lavoura (direita).

A distribuição da rede no terreno é apresentada na Figura 2 (nós sensores de números 02 a 17), considerando que os nós com números pares foram fixados na parte superior da estaca, a uma altura de 85 cm do solo, e os nós com números ímpares, na parte inferior a uma altura de 45 cm. Foram colocadas quatro estacas seguindo o espaço entre duas linhas da cultura, correspondendo aos pares 2 – 3, 4 – 5, 6 – 7 e 8 – 9, enquanto, transversalmente ao par 4 – 5, foram implantados os nós 10 – 11 e 12 – 13 para um dos lados da linha e os nós 14 – 15 e 16 – 17 para o outro. Considerou-se uma distância pequena entre os dispositivos da rede, para garantir uma contínua coleta de dados, minimizando a interferência do ambiente na comunicação dos dados entre os sensores. As estacas localizadas entre duas fileiras de plantas foram fixadas a uma distância de 10 m, no caso dos nós sensores implantados transversalmente. A distância entre suas respectivas estacas foi de 1,50 m, devido à maior presença de plantas nesta área, que interferem na comunicação entre os nós sensores.

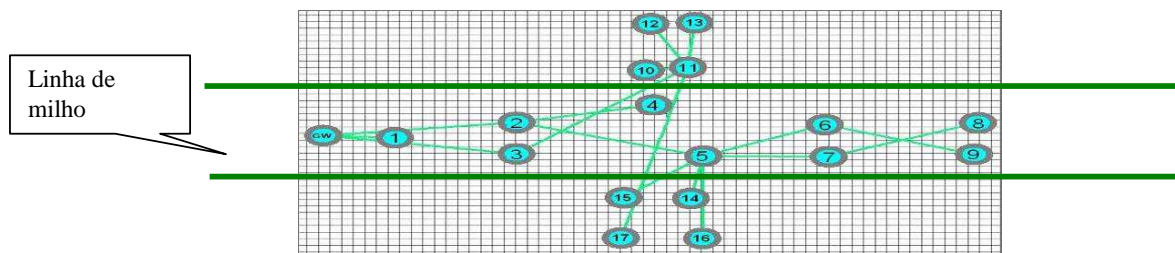


Figura 2 - Distribuição dos nós sensores dentro da lavoura.

O tempo de duração do experimento foi de uma hora e quinze minutos, com um intervalo de amostragem de 20 s. Os dados coletados foram armazenados em um Banco de Dados PostgreSQL por meio do software MoteView 2.0, fornecido pela *Crossbow Technology Inc.* Além dos dados das variáveis ambientais, coletou-se dados relacionados ao estado da rede, dentre eles, o nível de tensão das baterias e aspectos relacionados à comunicação entre os nós sensores (percentual de erros na troca de mensagens).

3.2 Arquitetura do Sistema de Monitoramento Ambiental

A RSSF utilizada no trabalho é da família MicaZ, desenvolvida pela Universidade de Berkeley e distribuída comercialmente pela *Crossbow Technology Inc.* (CROSSBOW TECHNOLOGY, 2009). O seu módulo de rádio opera na faixa de 2.4GHz, conseguindo uma taxa de transmissão de dados de 250 kbps, e opera com duas pilhas AA cuja tensão deve situar-se na faixa de 2.7 V_{DC} a 3.3 V_{DC}. A placa sensora possui cinco tipos básicos de sensores: umidade relativa, temperatura, pressão barométrica, luminosidade e aceleração em dois eixos. O dispositivo que opera como interface entre os nós sensores e o computador é denominado *gateway*; no experimento foi utilizado o *gateway* MIB520CB, conectado a uma porta USB do computador utilizado no experimento.

Todos os dispositivos utilizam o rádio Chipcon CC2420, que segue as especificações do padrão ZigBee/IEEE802.15.4 para as camadas física e de acesso ao meio (KINNEY, 2003). Na camada de rede, é utilizado o protocolo Xmesh (XMESH, 2009), desenvolvido pela *Crossbow Technology Inc.*, tornando possível a comunicação com os nós da rede para recebimento dos dados coletados pelos nós sensores até o *gateway*, e a reprogramação dos nós sensores a partir do *gateway*. Para visualizar os dados na tela do computador, seja por meio de tabelas numéricas, gráficos estatísticos ou forma gráfica, foi utilizado o software MoteView 2.0 (MOTVIEW, 2009).

A Figura 3 apresenta a arquitetura do sistema de monitoramento ambiental para a cultura de milho. Os nós sensores, situados dentro da lavoura de milho, por meio de uma comunicação *multi-hop* enviam seus dados aos nós vizinhos de modo que eles possam chegar ao *gateway*, o qual está conectado a um notebook, para a visualização e o armazenamento dos dados coletados.

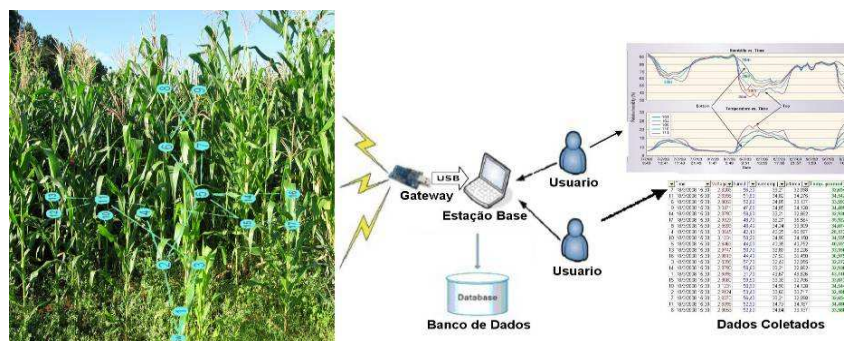


Figura 3 - Arquitetura do sistema de monitoramento ambiental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variabilidade espacial dentro da lavoura

Na Figura 4 são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa coletados pelos nós sensores. Pode-se perceber a variabilidade espacial existente entre os dados, a qual é maior entre o nó 01 (linha com triângulos) e os outros nós sensores. Como foi descrito anteriormente, esse nó foi fixado fora da lavoura, apresentando valores mais elevados para temperatura, e mais baixos para a umidade relativa. Percebe-se também alguns dados dos nós sensores fora da curva, sendo provável que a base de plástico na qual eles foram colocados tenha influenciado na leitura dos dados ambientais.

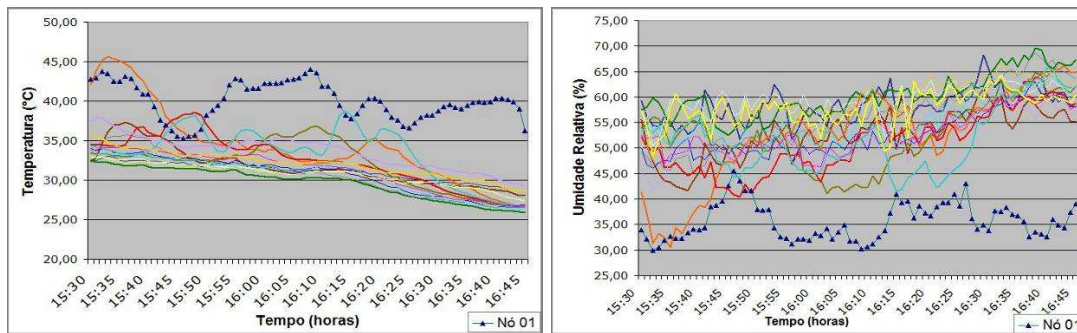


Figura 4 - Gráficos da temperatura (esquerda) e da umidade relativa (direita) em relação ao tempo.

No entanto, mediante a comparação realizada entre os dados de umidade relativa coletados a duas diferentes alturas (45 e 85 cm), constatou-se a existência de uma diferença significativa em relação à mesma região amostrada (com média entre 1,75% e 7,50%). Para uma separação de 0,40 m, essa diferença representa uma incoerência na coleta dos dados da mesma região, com uma tendência a aumentar para uma separação maior. Porém, como a comunicação na rede torna-se difícil ao nível do solo pela maior interferência do meio, uma possível solução, como a adotada pela *Crossbow Technology Inc.* para sua linha *ēKo Pro Series* (CROSSBOW TECHNOLOGY, 2009), é separar os módulos sensor e rádio mediante o uso de um cabo, com a finalidade de colocá-los no lugar a ser monitorado, de forma que os módulos de rádio possam ficar a uma altura maior do solo, permitindo assim, um alcance maior do rádio.

4.2 Avaliação do desempenho da RSSF

Um aspecto avaliado foi o consumo das baterias, devido ao fato de ser ele um recurso limitado nas RSSF. Os dados de voltagem inicial e final das baterias dos nós sensores permitiram determinar o consumo, percebendo-se que os nós que experimentaram maior consumo foram os localizados nos extremos da rede, uma vez que todos os nós sensores foram configurados em modo *High Power*, não havendo eficiência no uso das baterias. A instabilidade de comunicação da rede devido a interferências das plantas produziu maior consumo de energia, exigindo freqüentes reconfigurações da rede, levando os nós das extremidades a procurar constantemente novas rotas para enviar seus dados. Para a aplicação realizada foi verificado que, a porcentagem de mensagens de controle em relação ao total de mensagens de dados era de 15%.

Constatou-se que o tempo de vida da rede pode ser aumentado a partir de três providências: utilização de um intervalo de amostragem maior (15 minutos, por exemplo, uma vez que as grandezas variam com lentidão); reprogramação dos nós sensores finais para o modo *Low Power* ou *Extended Low Power*, que utilizam menos energia para a comunicação; e utilização de um protocolo de roteamento mais eficiente para o consumo de energia, como mostram algumas propostas de protocolos para aplicações em ambientes agrícolas. Entre essas propostas pode-se destacar a descrita em Chiti et al. (2005), o protocolo *LEACH* (HEINZELMAN et al., 2000), o *Data MULEs* (SHAH et al., 2003) ou o *Direct Diffusion* (INTANAGONWIWAT et al., 2000), os

quais podem ser escolhidos dependendo da aplicação a ser desenvolvida e da quantidade de nós sensores a serem utilizados. Constatou-se também que o alcance dos rádios foi significativamente inferior ao obtido em campo aberto (50 m), devido à atenuação dos sinais de rádio causada pela presença de vegetais.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A aplicação de uma RSSF experimental realizada permitiu levantar os desafios de sua implantação em um ambiente agrícola, dentre eles a limitação da distância de comunicação entre os nós sensores devido à interferência do meio e os aspectos ligados ao consumo de energia. Porém, considera-se de grande importância o uso dessas redes, possibilitando um melhor gerenciamento da variabilidade espacial, além de permitir o monitoramento ambiental das culturas em tempo real. Acompanhar o comportamento da temperatura e a umidade relativa permitiria alertar aos agricultores, por exemplo, sobre o possível ataque de doenças fúngicas ou ocorrência de geadas. Um trabalho futuro envolvendo fitopatologistas permitiria desenvolver um sistema para prever riscos de doenças na cultura do milho e servir de apoio na tomada de decisões.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, projeto nº 484125/2006-0, e à FAPESP, projetos nº 03/08134-4 e nº 04/15801-0, pelos recursos fornecidos para o desenvolvimento do trabalho, como também o apoio do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC), projeto 573963/2008-8 (CNPq) e projeto 08/57870-9 (FAPESP), e à ESALQ, que proporcionou o apoio aos testes em campo bem como cedeu os locais de experimentação.

7. REFERÊNCIAS

- CHITI, F.; CRISTOFARO, A.; FANTACCI, R.; TARCHI, D.; COLLODO, G.; GIORGETTI, G.; MANES, A. Energy efficient routing algorithms for application to agro-food wireless sensor networks. **In:** Communications, 2005. ICC 2005. 2005 IEEE International Conference on, p. 3063-3065, v. 5, mai. 2005.
- CROSSBOW TECHNOLOGY. **Crossbow Wireless Sensor Networks**. Disponível em: <<http://www.xbow.com>>. Acesso em 20/05/2009.
- CULLER, D.; ESTRIN D.; SRIVASTAVA M. Overview of Sensor Networks. **IEEE Computer Magazine**, Estados Unidos, v. 37, n. 8, p. 41-49, ago. 2004.
- HEINZELMAN, W. R.; CHANDRAKASAN, A.; BALAKRISHNAN, H. Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks. **In:** System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, 10 p., v. 2, jan. 2000.
- INTANAGONWIWAT, C.; GOVINDAN, R.; ESTRIN, D. Directed Diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, **In:** MobiCom 2000: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, p. 56-67, 2000.
- KINNEY, P. **ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works**. White Paper, out. 2003.
- MOTEVIEW. **MoteView Users Manual**. Disponível em: <http://www.xbow.com/Support/Support_pdf_files/MoteView_Users_Manual.pdf>. Acesso em 12/05/2009.
- MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. **In:** Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão 2004, 2004, Piracicaba. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2004. Piracicaba : ESALQ/USP, 2004. p. 1-10.
- SHAH, R. C.; ROY, S.; JAIN, S. BRUNETTE, W. Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks, **In:** Sensor Network Protocols and Applications. Proceedings of the First IEEE International Workshop on, p. 30-41, USA, mai. 2003.
- TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens. **Ciência Rural Magazine**, Santa Maria, RS, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.
- XMESH. **XMesh User's Manual**. Disponível em: <http://www.xbow.com/Support/Support_pdf_files/XMesh_Users_Manual.pdf>. Acesso em 15/05/2009.