

ANÁLISE DAS PERDAS DE PACOTES ALTERANDO AS VARIÁVEIS DE DISTÂNCIA, OBSTÁCULOS E INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA UTILIZANDO IEEE 802.15.4 VII EPG – UNIVAP 2007

Hermevaldo Pereira Reis, Francisco Javier Ramirez Fernandez

Escola Politécnica de Universidade de São Paulo (EPUSP)/ Laboratório de Microeletrônica(LME), Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3 nº380 – São Paulo – SP – Brasil, valdo.reis@gmail.com, jramirez@lme.usp.br

Resumo – As redes WPAN englobam os padrões de tecnologias de transmissão de curto alcance da ordem de metros. Entre as diversas tecnologias encontra-se a ZigBee IEEE 802.15.4 que efetua comunicações entre dispositivos de monitoramento e controle com a melhor relação custo-benefício, porém como qualquer rede sem fio, a mesma está sujeita às limitações do ambiente. A topologia contempla dois pontos capazes de realizar o monitoramento remoto da temperatura, com intuito de analisar o desempenho de alcançabilidade, a influência dos obstáculos e as interferências entre os módulos de interconexões. Os resultados apresentaram imunidade quando expostos a algumas fontes de interferência. Uma das fontes foi um forte campo eletromagnético produzido por uma cabine primária de energia elétrica de 225kVA/60Hz. Outra fonte, distante 10m, foi um rádio WI-FI IEEE 802.11B. Em relação às barreiras utilizou-se uma parede de tijolos maciços de espessura de até 30cm e quatro divisórias de madeira de espessura de até 3cm com distância de 40m entre elas. As paredes, bem como as fontes de interferência contribuíram para perdas consideráveis de pacotes, ficando nítida a relevância de uma análise criteriosa na implantação de projetos.

Palavras-chave: ZigBee, Comunicações Sem Fio, Interferências, Redes de Sensores Sem Fio, WPAN

Área do Conhecimento: Engenharia Elétrica com Ênfase em Redes de Comunicação Sem Fio

Introdução

Atualmente tem crescido o interesse da comunidade científica e industrial na tecnologia de redes de sensores sem fio. Diversos projetos têm sido realizados com essa nova abordagem no que se refere ao monitoramento e automação de processos. No meio científico, assim como no ambiente industrial, comercial e residencial (IEEE, 2003), existe uma necessidade crescente de monitoramento e implementação de sistemas de segurança, automação predial e de processos produtivos que utilizem tecnologias com uma boa relação custo-benefício. Muitas vezes esses lugares são de difícil acesso, por esse motivo é favorecida a utilização de redes de sensores com comunicação sem fio.

As redes de sensores sem fio (RSSF) são um conjunto de nós individuais (sensores), que operam independentemente e que formam uma rede com o objetivo de agregar as informações individuais de cada sensor para o monitoramento de algum fenômeno ou processo. Normalmente, possuem um grande número de nós distribuídos e devem possuir mecanismos para auto-configuração e adaptação, devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nós. Essas redes tendem a ser autônomas e requerem um alto grau de cooperação para executar as tarefas definidas com mínima interferência possível. O LME da EPUSP, possui uma infraestrutura física e uma equipe com conhecimento específico baseado na tecnologia ZigBee, para desenvolvimento de RSSF.

Metodologia

Com o avanço das tecnologias das redes sem fios, e o crescimento no número de usuário para o acesso à Internet móvel, implicaram no surgimento de sistemas flexíveis de comunicações pessoais de curto alcance, com uma boa relação custo-benefício, como as WPANs (Bluetooth, Ultra Wideband e ZigBee), implementados como uma extensão ou uma alternativa às redes convencionais com fios, oferecendo as mesmas funcionalidades com maior mobilidade.

As redes WPAN, englobam os padrões de tecnologias de transmissão de curto alcance da ordem de metros, e efetuam comunicações entre dispositivos pessoais, dispositivos de monitoramento e controle. Os padrões WPAN analisados no seguimento são: Bluetooth homologado pelo IEEE, através da especificação IEEE 802.15.1, possibilita aplicações de dados e voz a uma velocidade de 1 Mbps (EL-HOIYDI et al., 2005) (FERRO et al., 2005).

O padrão Ultra Wideband, ainda em processo de homologação pelo IEEE, através da especificação IEEE 802.15.3, será ideal para aplicações multimídia com uma velocidade acima de 100 Mbps (CHIN et al., 2003). O padrão ZigBee, homologado pelo IEEE, através da especificação IEEE 802.15.4, que recebeu o nome ZigBee fornecido pela ZigBee Alliance, que é uma associação constituída por diversas empresas: Honeywell, Mitsubishi, Invensys, Samsung, Ember, Freescale, Motorola, Philips entre outras, que investem nesta tecnologia, foi projetada

obedecendo aos requisitos que estejam de acordo com as necessidades únicas das comunicações sem fio, confiáveis, de baixo nível de transmissão entre dispositivos eletrônicos para monitoramento e controle de processos, como por exemplo, uma rede de sensores sem fio.

O padrão ZigBee, possui baixa latência, taxa de transferência de até 250 Kbps, otimização do consumo de energia (a vida útil, para uma pilha AA pode durar de 1 a 2 anos; a vida útil de uma bateria de lítio, pode durar de 10 a 20 anos), baixa corrente na transmissão (30mA), possibilidade de implementação de redes com elevados números de dispositivos (2^{16}), pouca complexidade dos nós da rede a um custo relativamente baixo(IEEE, 2003)(PUGHE, 2003).

De acordo com os requisitos exigidos em projetos de redes de sensores sem fio, como elevado número de nós, otimização do consumo de energia, baixa complexidade e baixo custo, a tecnologia ZigBee mostra, até o momento, uma melhor relação custo-benefício.

A rede pode ser configurada em estrela (Star), árvore (Cluster Tree), malha (Mesh), anéis (Ring). A topologia em anéis, permite que a rede se ajuste automaticamente na inicialização, na entrada ou retirada de dispositivos. Nesta situação, existem múltiplos caminhos entre os diferentes nós e a rede é auto-suficiente para otimizar o tráfego de dados. Usando esta configuração, podem-se utilizar redes cobrindo largas áreas geográficas, vide figura 1.

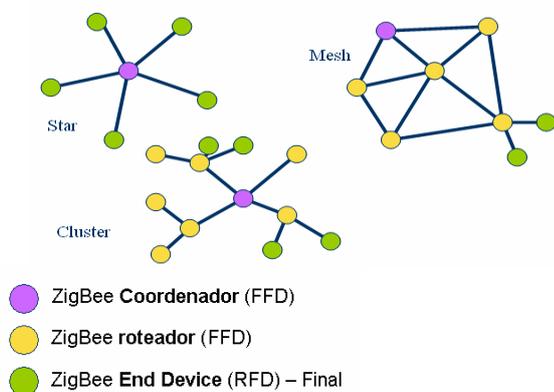


Figura 1– Topologias ZigBee (PUGHE, 2003).

A topologia implementada consiste de uma rede com dois pontos (nó) capazes de realizar o monitoramento e sensoriamento remoto. O primeiro ponto atuando como Coordenador, dispositivo físico da classe FFD (Full Function Device), o segundo ponto atuando como dispositivo final (End Device), dispositivo físico da classe RFD (Reduced Function Device) de acordo com as normas do protocolo IEEE 802.15.4, com intuito de analisar o desempenho de alcançabilidade, a influência dos obstáculos e as

fontes de interferências em cada ambiente de ensaio, na comunicação entre os módulos de interconexões.

Inicialmente, executou-se testes de alcançabilidade em um ambiente de ensaio no espaço livre em um campo de futebol sem obstáculos, com visada direta. No segundo momento, executou-se em ambientes de ensaio com obstáculos entre os módulos de interconexões sem fio, como mostra a figura 2.

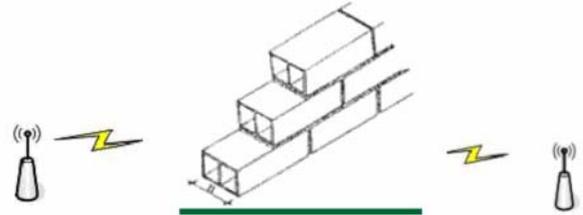


Figura 2- Ambiente de ensaio com obstáculos e fontes de interferências.

Utilizaram-se como barreiras as paredes maciças de tijolo com 30cm de espessura e divisórias de madeira com 3cm de espessura em salas fechadas; no terceiro ambiente de ensaio, os módulos de comunicação estavam entre uma fonte de interferência, expostos a um forte campo eletromagnético produzido por uma cabine primária de energia elétrica de 225kVA/60Hz; no quarto e ultimo ambiente, os módulos ZigBee foram expostos a uma área de cobertura de rádio WI-FI IEEE 802.11B, operando na mesma frequência de 2,4GHz., com uma antena de 8dBi e potência de saída de 100mW.

O projeto de hardware tem como objetivos reduzir o máximo possível do consumo de energia e flexibilizar ao máximo a arquitetura de forma a abranger um conjunto amplo de aplicações. O módulo de comunicação ZigBee implementado possui configuração básica, como mostra a figura 3.

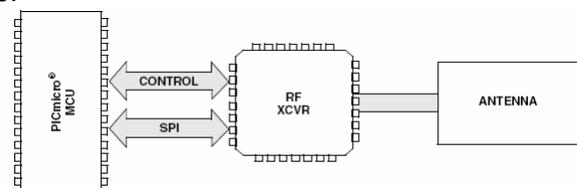


Figura 3- Comunicação do módulo ZigBee.

Cada módulo de desenvolvimento PICDEM – ZigBee Technology Demonstration Kit da Microchip é composto com os seguintes elementos (MICROCHIP, 2006):

Um microcontrolador da Microchip PIC18LF4620 com 64KB de memória flash, 8 bits para armazenar o software responsável pela gestão da pilha de protocolo ZigBee e pela aplicação do programa (firmware);

Alimentação de 9 a 3,3VDC regulador;

Um sensor de temperatura digital, 5 pinos (SOT -23A), comunicação SPI, precisão \pm °C resolução 0,0625°C, consumo: modo de leitura contínua = 250µA, modo de espera = 0,1µA;

Uma interface serial RS232 de baixo consumo que permite a comunicação com um computador;

Módulo RF da Microchip – PICDEMZ 2,4GHz RF Card com interface SPI, que utiliza o transceptor RF CC2420 compatível com o protocolo IEEE 802.15.4. As principais características do CC2420 são: potência normal programável na transmissão -24dBm a 0dBm, neste caso, foi implementado com a máxima potência de 0dBm, tecnologia 0.18µm CMOS, mínimo de sensibilidade aceitável na recepção = -94dBm, memória do buffer: consumo de corrente na transmissão 19.7mA e na recepção 17,4mA, consumo de tensão 2,1 a 3,6VDC. Como fator decisivo na escolha desse módulo de comunicação ZigBee da Microchip, foi uma boa relação custo-benefício.

A otimização e desenvolvimento de softwares da pilha de protocolo padrão, disponibilizada pela Microchip para comunicação e interconexão dos sensores com a rede de sensores sem fio, com base na tecnologia ZigBee IEEE 802.15.4, e também o desenvolvimento dos softwares básicos de aplicação dos microcontroladores (firmware) são implementados em linguagem de programação C.

Resultados

Os ensaios e testes foram realizados em diversos ambientes para verificar o desempenho, a performance em alcançabilidade e a influência dos obstáculos e fonte de fontes de interferências em uma comunicação de redes de sensores sem fio, utilizou-se o protocolo ZigBee aplicado no monitoramento e sensoriamento. Cada ensaio é composto de 20 requisições de leitura de temperatura monitorada remotamente através do acessório de comunicação hiper terminal de um laptop. Segue abaixo um exemplo de leitura obtido através do hiper terminal.

Testing TC77...

TC77 test successful...

Starting a new network...

Now operating in next channel...

^New network successfully started...

^A familiar node has just rejoined.

*Temperatura:22.43(FFD)Temperature:23.06C
(FTD)*

*Temperatura:22.81(FFD)Temperature: 21.68C
(FTD)*

Realizaram-se as transmissões entre os dois módulos configurados para atuar um como FFD e o outro RFD.

A tabela 1 a seguir, apresenta-se: na 1ª coluna, os ambientes do ensaio; na 2ª coluna, o alcance ou distância entre os módulos; na 3ª coluna, a classificação dos resultados obtidos nas transmissões, na 4ª e última coluna, relata a porcentagem de pacotes requisitados com sucesso durante o ensaio.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios realizados.

Tipo e qtde de obstáculos	Dis. Alc.	Trans.	Porc.
ambiente livre	80m	<i>normal</i>	100%
ambiente livre	90m	<i>anormal</i>	10%
ambiente livre	100m	<i>anormal</i>	0%
1 parede de tijolo c/ 30cm de espessura	10m	<i>normal</i>	100%
2 paredes de tijolo c/ 30cm de espessura	15m	<i>anormal</i>	10%
3 divisórias com 3cm de espessura	20m	<i>normal</i>	100%
4 divisórias com 3cm de espessura	30m	<i>normal</i>	90%
5 divisórias com 3cm de espessura	40m	<i>anormal</i>	10%
1 cabine de 225kVA funcio. c/ 30% capa.	1m	<i>normal</i>	100%
1 cabine de 225kVA funcio. c/ 50% capa.	1m	<i>normal</i>	100%
1 cabine de 225kVA funcio. c/ 90% capa.	1m	<i>normal</i>	100%
cober. WI-FI 2.4GHZ	1m	<i>interm.</i>	70%
cober. WI-FI 2.4GHZ	5m	<i>interm.</i>	90%
cober. WI-FI 2.4GHZ	10m	<i>normal</i>	100%

Normal: Módulos sincronizados, sensibilidade do sinal na recepção maior que -94dBm.

Anormal: Módulos com falhas de sincronismo, sensibilidade do sinal na recep. menor que -94dBm.

Interm.(intermitente): Sincronismo de 10% - 30% com falhas, perda de pacotes entre 10% - 30%.

Discussão

As redes de comunicação sem fio prometem transformar o nosso cotidiano e colocar muitos desafios na construção de sistemas em aplicações que dependem das condições do ambiente em regiões perigosas ou de difícil acesso, que dependem fundamentalmente de uma rede de sensores sem fio. Nesses ambientes a interferência causada por obstáculos está sempre presente, seja ela significativa ou aceitável no desempenho, na performance e na alcançabilidade dos rádios transceptores, principalmente nos grandes centros urbanos onde existem ambientes adversos.

No primeiro ambiente de ensaio, espaço livre em campo de futebol com visada direta, o

intuito foi verificar o alcance máximo medido (80m) utilizando os rádios transceptores ZigBee da Microchip. Os resultados em campo superaram as expectativas de acordo com o protocolo IEEE 802.15.4 (IEEE; PUGHE, 2003). No segundo ambiente, com obstáculos de paredes maciças de 30cm de tijolo e divisórias de 3cm, entre os módulos de interconexões, ofereceram vários graus de perda de sinal (atenuação), as paredes atenuaram-se de 4dB a 6dB e as divisórias de madeira de 2dB a 3dB, corroborando com os dados obtidos no acordo com estudo YOON (YOON et al., 2007), com rádios IEEE 802.11g de 2.4GHz em uma parede maciça de escritório com 15cm de espessura altera a propagação de um sinal RF a um nível de potência de 100miliwatts (a entrada) para 50miliwatts (a saída) representa 3 dB de atenuação.

As transmissões realizadas em um ambiente, no qual os módulos de interconexões entre a uma cabine primária de energia elétrica de 225kVA/60Hz, não sofreram influências, mesmo com alteração da capacidade de funcionamento com carga baixa (30%), média (50%) e alta (90%), devido a tecnologia ZigBee operar em uma faixa de frequência muito elevada (2.4GHz).

Já as transmissões expostas a uma área de cobertura de rádio WI-FI – IEEE 802.11B, operando na mesma frequência de 2.4GHz, o rádio com antena 8dBi, potência de saída de 100mW, observou-se perdas consideráveis de pacotes comprometendo a comunicação entre os módulos de acordo a proximidade menor 5m, devido aos fatores de similaridades dos algoritmos utilizados pelos protocolos IEEE 802.11B e IEEE 802.15.4 para evitar colisão de pacotes na transmissão (WOODINGS et al., 2007), e a proximidade da frequência central de operação em ambos os protocolos (GUMMADI et al.; YOON et al., 2007) onde a frequência central do WI-FI é 2.418GHz, no ZigBee é 2.416GHz.

Conclusão

Através dos estudos e ensaios realizados, ficou-se nítido a relevância de uma análise criteriosa na fase de planejamento do projeto, que deve levar em consideração o alcance, os obstáculos e fontes de interferências existentes em cada ambiente a ser implementado.

Pode-se constatar que os obstáculos de paredes maciças de tijolos, divisórias, de acordo com a espessura e densidade do material interferem significativamente no desempenho e na alcançabilidade na comunicação de uma rede sem fio de 2.4GHz. A tecnologia ZigBee operando na frequência 2.4GHz apresentou-se imune, quando exposta a forte campo eletromagnético, produzido por uma cabine primária de energia elétrica de 225kVA/60Hz. Já a proximidade entre

equipamentos ZigBee 2.4GHz IEEE 802.15.4 e o WI-FI IEEE 802.11B e o menor que 5m contribuíram-se para perdas consideráveis de pacotes.

Referências

- CHIN, F; ZHI W; KO Chi-Chung. System Performance of IEEE 802.15.4 Low Rate Wireless PAN using UWB as Alternate-PHY Layer. In: THE 14TH IEEE 2003 INTERNATIONAL ON PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATION PROCEEDINGS, 6th, National University of Singapore. **Anais: IEEE**, p.487- 491, 2003.

- EL-HOIYDI A; DECOTIGNIE J.D. WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for the Downlink of Infrastructure Wireless Sensor Networks. EUA, Nova York: **IEEE**, p.244-251, 2004.

- FERRO E; POTORTI F. Bluetooth and Wi-fi Wireless Protocols: A Survey And a Comparison. EUA, Nova York: **IEEE Wireless Communications**, p.12-26, 2005.

- GUMMADI, R; WETHERALL D; GREENSTEIN, B; SESHAN, S. Understanding and Minigating the Impact of RF Interfere on 802.11 Networks.

Disponível em:

http://www.intelresearch.net/Publications/Seattle/020520071626_397.pdf. Acesso em 20 jul. 2007.

- IEEE Standards 802.15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). EUA, Nova York: IEEE, 669f, 2003.

- MICROCHIP. PICDEM ZigBee Technology Demonstration Kit. Disponível em:

<http://www.microchip.com/zigbee>. Acesso em 10 jul. 2007.

- PUGHE, C.E. Communications: Is the ZigBee Wireless Standard, Promoted by an Alliance of 25 Firms, a Big Theat to Bluetooth. EUA, Nova York: **IEEE REVIEW**, p.28-31, em mar. 2003.

- WOODINGS, R.W; GERRIOR, M. Avoiding Interference in the 2.4GHz ISM band.

Disponível em:

http://www.eetasia.com/ARTICLES/2005APR/B/2005APR18_RFD_NETD_TA.pdf. Acesso em 20 jul. de 2007.

- YOON, D.G; SHIN, S.Y; Kwon W.H; PARK, H.S. Packet Error Rate Analysis of IEEE 802.11b under IEEE 802.15.4 Interference. EUA, Nova York: IEEE, 5f, em set. de 2006.