

SISTEMA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS USANDO O PADRÃO IEEE 802.15.4 DE REDES DE SENSORES SEM FIO

COSTA FILHO, Antonio Agripino da – antonio.costa@ee.ufcg.edu.br

NETO, J. M. R. de S. – jose.neto@ee.ufcg.edu.br

ROCHA NETO, J. S. – zesergio@dee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática,
Departamento de Engenharia Elétrica, Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
(UFCG-CEEI-DEE-LIEC)

Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó

58429-900 – Campina Grande – Paraíba

Resumo: Rede de sensores sem fio (RSSF) é uma tecnologia emergente para monitoramento, podendo-se incluir o controle. Tem baixo custo e baixo consumo de energia com aplicações em vasta área de ambientes. Dentre essas aplicações, o sistema de localização tem atraído interesse em pesquisas, já que algumas medições são inexpressivas sem a noção do ponto onde os dados foram coletados. Considerando esse cenário, no presente trabalho apresenta-se o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados, utilizando o padrão IEEE 802.15.4, como ferramenta de ensino em coleta e tratamento de dados.

Palavras-chave: IEEE 802.15.4, Rede de sensores sem fio, Sistema de localização, ZigBee.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços na eletrônica e nas comunicações sem fio ocorridos nos últimos tempos tem favorecido o desenvolvimento de dispositivos (nós) de baixo custo e baixo consumo de energia para uso em redes de sensores sem fio. As redes de sensores sem fio são a chave para recolher a informação necessária para ambientes inteligentes, seja em sistemas de automação de: edifícios, serviços de infraestrutura, industrial, doméstico, agricultura ou em outra parte. Tais redes de sensores são compostas de um grande número de nós sensores que podem ser empregados dentro ou próximo ao fenômeno o qual se deseja observar ou até mesmo controlar.

A localização é um importante aspecto no campo das redes de sensores sem fio, pois a capacidade da localização (estimação da localização) é essencial em algumas das aplicações em RSSF. Nas aplicações de monitoramento de ambiente, tais como monitoramento do hábitat do animal, inspeção de incêndio florestal, monitoramento da qualidade da água e agricultura de precisão, os dados medidos são inexpressivos sem um conhecimento preciso da localização de onde os dados foram obtidos. Além disso, a disponibilidade da informação da localização pode permitir um grande número de aplicações, tais como gerenciamento de estoque, detecção de invasão, monitoramento de tráfego rodoviário, monitoramento hospitalar, reconhecimento de território e vigilância.

Intensidade do sinal recebido, diferença no tempo de chegada do sinal transmitido ou ângulo de chegada do sinal são algumas técnicas de localização em RSSF que são usadas para estimar as localizações dos sensores com posições inicialmente desconhecidas usando o conhecimento das posições, a priori disponíveis, de alguns sensores específicos na rede. Os

sensores com a localização conhecida a priori são chamados de nós âncoras e suas localizações podem ser obtidas pelo uso de um GPS (*Global Positioning System*) ou pela instalação em pontos com coordenadas conhecidas. Já os sensores com a informação da localização desconhecida são chamados de nós rastreáveis (MAO & FINDAN, 2009).

O sistema desenvolvido e apresentado neste trabalho visa à aquisição de dados, utilizando o padrão IEEE 802.15.4, como ferramenta de ensino em coleta e tratamento de dados, com a possibilidade de controle de algum dispositivo anexado ao sistema, para qualquer aplicação que o aluno deseja desenvolver.

2 PADRÃO IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 define as características de construção da camada física (PHY – *Physical*) e da camada de acesso ao meio (MAC – *Media Access Control*) para redes sem fio com baixas taxas de transmissão, definidas como LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Networks*). É voltado, principalmente, para aplicações onde a baixa taxa de dados, o baixo custo e a longa vida da bateria (baixo consumo de energia) são os principais requerimentos (IEEE 802.15, 2010).

Há certa confusão ao se falar/pensar no padrão 802.15.4 relacionando-o diretamente à tecnologia *ZigBee*. A tecnologia *ZigBee* foi desenvolvida por uma associação formada por várias empresas (tais como *Motorola*, *Texas Instruments* e *Philips*, por exemplo) conhecida como *ZigBee Alliance*, que tem como objetivo desenvolver padrões e produtos sem fio de monitoramento e controle que sejam confiáveis, de baixo custo, baixo consumo e conectados em redes sem fio como um padrão global aberto. A tecnologia *ZigBee* define as camadas de rede (NWK – *Network*) e de aplicação (APL – *Application*), sendo implementadas sobre o padrão IEEE 802.15.4 (FARAHANI, 2008). O usuário ainda pode definir alguma aplicação no topo da pilha do protocolo. A organização das camadas pode ser vista na Figura 1.

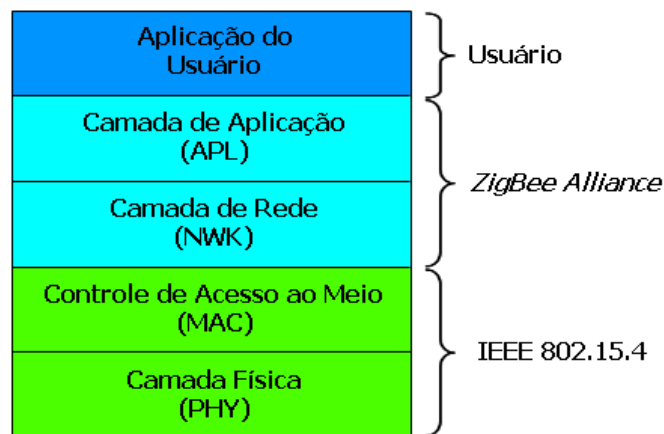


Figura 1 – Camadas da pilha de protocolo da tecnologia *ZigBee*.

2.1 Camada física (PHY)

É responsável pela comunicação propriamente dita entre os vários dispositivos contidos na rede. As seguintes tarefas são executadas nessa camada: Ativação/desativação do transceptor de rádio; Seleção da frequência de canal; Transmissão e recepção de dados; Detecção de energia (ED – *Energy Detection*) dentro do canal corrente; Indicador de qualidade do link (LQI – *Link Quality Indicator*) para pacotes recebidos; Avaliação de canal livre para CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance*).

Bandas de frequência de trabalho

A camada física do padrão IEEE 802.15.4 suporta três bandas de frequência: a banda de 868 MHz, que é usada na Europa; a banda de 915 MHz, que é usada principalmente na América do Norte; e a banda de 2,4 GHz, usada mundialmente. Essas duas últimas fazem parte das bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Uma sumarização das características dessas bandas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Sumário das bandas de frequência do padrão IEEE 802.15.4.

PHY (MHz)	Banda de frequência (MHz)	Canais	Modulação	Taxa de transmissão (kbps)
868	868–868,6	1	BPKS	20
915	902–928	10	BPKS	40
2450	2400–2483,5	16	O-QPSK	250

Indicador de qualidade de link

O LQI é uma indicação da qualidade do pacote de dados recebido pelo receptor. A intensidade do sinal recebido (RSS – *Received Signal Strength*) pode ser usada como uma medida da qualidade do sinal. A RSS é uma medida da energia total do sinal recebido.

2.2 Camada de acesso ao meio (MAC)

A camada MAC trata de todos os acessos ao canal físico e é responsável pelas seguintes tarefas: Geração de *beacons* de rede se o dispositivo é um coordenador PAN; Sincronização para *beacons* de rede (numa rede com *beacon*); Suportar associação/dissociação de PAN; Suportar proteção de dados na comunicação; Empregar o mecanismo CSMA-CA para acesso de canal; Tratar e manter o mecanismo de *slots* de tempo garantido (GTS – *Guaranteed Time Slots*); Fornecer um *link* confiável entre duas entidades pares de camada MAC.

Redes com/sem beacon

Quando no modo com *beacon*, o coordenado PAN envia periodicamente uma pacote especial conhecido como pacote *beacon*, que é usado para o controle de acesso ao canal e, por conseguinte, o envio de dados. Já no modo sem *beacon*, os nós usam do protocolo CSMA-CA para ter acesso ao canal e transmitir seus dados e, assim, qualquer nó pode se comunicar com outro independente do nó coordenador PAN.

2.3 Endereçamento

Cada dispositivo em uma rede necessita de um endereço único. O IEEE 802.15.4 usa dois métodos de endereçamento: endereçamento curto (16 *bits*) ou endereçamento estendido (64 *bits*).

3 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O sistema de aquisição é constituído os nós que formam a rede. São compostos por um módulo XBee-Pro e um microcontrolador ADuC842 (Figura 2). O sistema possui entradas e saídas digitais/análogicas, aos quais podem ser ligados dispositivos sensores ou atuadores, para objetivos da aplicação que o aluno queira desenvolver. A alimentação do sistema é feita

com uma fonte de 5 V, podendo-se usar também baterias de 9 ou 12 V, já que um regulador de tensão é usado no circuito para a obtenção dos 5 V usual.



Figura 2 – Nó formado pelo ADuC e o XBee-Pro

3.1 Transceiver XBee/XBee-Pro

Os módulos RF (rádio frequência) XBee/XBee-Pro, Figura 3, fabricados pela *Digi International*, foram projetados para satisfazer os padrões IEEE 802.15.4 e *ZigBee*, formando uma rede do tipo sem *beacon*, além de dá suporte a necessidade de obter uma RSSF de baixo custo e baixo consumo de energia. Os módulos operam dentro da faixa de frequência de 2,4 GHz e são compatíveis pino a pino com cada outro módulo (DIGI, 2010).



Figura 3 – Módulos RF XBee/XBee-Pro com diferentes tipos de antenas

A versão XBee possui máxima potência de transmissão de 0 dBm; consumo de transmissão de 45 mA; consumo de recepção de 50 mA; consumo no modo *sleep* menor de 10 μ A; alcance do sinal de até 30 m para ambientes internos e de até 100 m para ambientes externos com linha de visão.

Já a versão XBee-Pro possui máxima potência de transmissão de 20 dBm; consumo de transmissão de 215 mA; consumo de recepção de 55 mA; consumo no modo *sleep* menor de 10 μ A; alcance do sinal de até 100 m para ambientes internos e de até 1500 m para ambientes externos com linha de visão. A interface entre os módulos XBee/XBee-Pro e um microcontrolador (μ C) é implementada por meio da comunicação serial assíncrona (UART) – Figura 4.

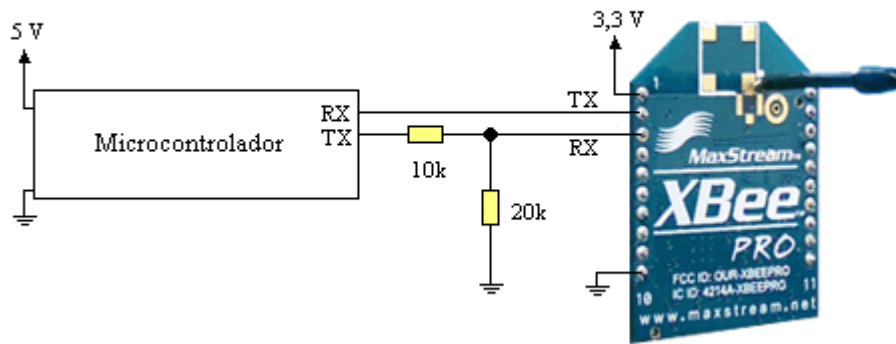


Figura 4 – Interface entre um microcontrolador e o módulo XBee/XBee-Pro

Para atualização/configuração do *firmware* dos módulos XBee/XBee-Pro, utiliza-se o programa X-CTU, que é fornecido gratuitamente pela própria fabricante dos módulos RF.

Há dois modos de operação dos módulos: a operação transparente e a operação API (*Application Programming Interface*). Os módulos XBee e XBee-Pro trabalham, por *default*, no modo de operação transparente. Nesse modo, os módulos agem como um substituto da linha serial, ou seja, todos os dados recebidos através do pino de entrada são enfileirados até a transmissão RF. Quando dados são recebidos por RF, os dados são enviados ao pino de saída.

Já o modo de operação API é uma alternativa ao modo transparente. Os pacotes API estendem o nível ao qual o microcontrolador, ou até mesmo um computador, pode interagir com os recursos de rede do módulo. Quando no modo API, todos os dados que entram ou deixam o módulo estão contidos em pacotes que definem operações ou eventos dentro do módulo. Enfim, o modo API facilita várias operações tais como: transmitir dados para vários destinos sem entrar no modo de comando, identificar o endereço fonte de cada pacote recebido, saber o valor do RSS do sinal recebido, etc.

3.2 ADuC842

O ADuC, desenvolvido pela *Analog Devices*, é uma série de microcontroladores destinados a sistemas de instrumentação e aquisição de dados. Seu núcleo é baseado na arquitetura do 8052, sendo que mais recentemente a *Analog Devices* tem desenvolvido seus microcontroladores ADuC com um núcleo ARM7 para atingir taxas maiores de MIPS (Milhões de Instruções Por Segundo) e, conseqüentemente, aumentar o desempenho.

A programação é feita em linguagem C utilizando-se o compilador *KEIL*, que é compatível e dispõe de recursos para programação, depuração e simulação não só para a família ADuC, mas para vários outros microcontroladores.

O microcontrolador utilizado foi o ADuC842. Esse microcontrolador possui um núcleo otimizado do 8052 de até 20 MHz, único ciclo e 8 *bits*, oferecendo um desempenho máximo de 20 MIPS. Três tipos de memórias internas são disponíveis: memória de programa não volátil, que oferece até 62 kB; memória de dados não volátil, que oferece até 4 kB; e, uma memória RAM de 256 *bytes*. Integra um conversor analógico-digital (CAD) multicanal, autocalibrado e de alto desempenho, dois conversores digital-analógico, duas saídas PWM de 16 *bits*, um *watchdog timer*, três temporizadores/contadores e três portas seriais (SPI, I²C e UART) (ANALOG DEVICES, 2010).

4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Uma aplicação que vem crescendo na área de RSSF é a localização de um nó, seja em ambientes externos (campo, por exemplo) ou internos (escritório, por exemplo). O sistema desenvolvido foi utilizado para coleta de dados e verificação do posicionamento de nós usando a técnica de trilateração por meio da intensidade do sinal recebido, obtido com o valor de RSS contido no pacote API. O terreno onde foi testado o sistema foi em um campo de futebol, de 90 x 56 m², localizado no complexo poliesportivo da UFCG – Campus Campina Grande (Figura 5) (NETO, 2010).

Um conjunto de medição foi realizado para seis diferentes pontos no campo a terem suas posições estimadas, representados na Figura 5 pelos círculos em amarelo, onde o nó a ser localizado (nó rastreável) emite um pacote *broadcast*. Esse conjunto compreende medições do nível de intensidade do sinal (RSS) associada ao pacote *broadcast* recebido em três pontos fixos (nós âncoras) no perímetro da área de medição, representados na Figura 5 pelos triângulos em vermelho. As posições cartesianas do nó rastreável para cada ponto, com a referência no canto inferior esquerdo do campo (Nó 1), podem ser observadas na Tabela 2. A partir da media de um conjunto de 500 amostras para cada ponto, verificou-se o desempenho do algoritmo de estimação de localização.

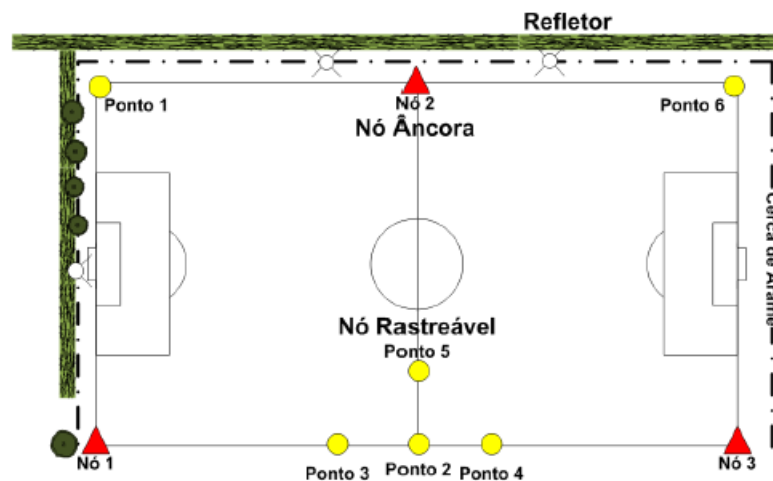


Figura 5 – Diagrama da área de medição

Tabela 2 – Posicionamento do nó rastreável a ser localizado.

Nó	Eixo X (m)	Eixo Y (m)
Nó âncora 1	0	0
Nó âncora 2	45	56
Nó âncora 3	90	0
Ponto 1	0	56
Ponto 2	45	0
Ponto 3	33	0
Ponto 4	57	0
Ponto 5	45	12
Ponto 6	90	56

5 ALGORITMO DE ESTIMAÇÃO

O algoritmo de estimação da localização do ponto onde se encontra o nó rastreável, baseia-se no modelo de propagação do sinal de dois raios e utiliza dos valores RSS que cada nó âncora coleta, sendo necessário o valor dos três nós âncoras, já que a técnica de trilateração está sendo utilizada. Além do mais, o algoritmo foi melhorado de modo que o erro do valor retornado da estimação de localização do ponto fosse o menor possível para cada posição real assumida.

Tendo em vista que o nível de potência de transmissão do módulo influencia no alcance do sinal emitido pelo mesmo e, conseqüentemente, no nível de intensidade desse sinal recebido no nó âncora, o nó rastreável foi configurado para a máxima potência de transmissão (18 dBm). Os resultados das estimações das posições cartesianas do nó rastreável são observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Posicionamento estimado usando a máxima potência de transmissão.

Nó	X estimado (m)	Y estimado(m)	Erro (m)
Posição 1	41,0420	39,0455	44,4061
Posição 2	40,3695	6,5239	8,0002
Posição 3	44,8025	2,8726	12,1471
Posição 4	42,3347	19,0308	24,0258
Posição 5	45,0794	9,4881	2,5131
Posição 6	91,0527	48,7325	7,5050

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema de aquisição e tratamento de dados possibilita um primeiro contato com um padrão que está sendo muito usado para redes de sensores sem fio – o IEEE 802.15.4. Tem-se a possibilidade de trabalhar com um microcontrolador e sua programação. Esse conjunto, que forma o sistema de aquisição e tratamento de dados, permite implementar uma gama de aplicações que só depende da criatividade.

Pode-se concluir que um sistema de localização baseado em redes de sensores sem fio é uma alternativa prática de baixo custo se comparado aos atuais sistemas baseados em GPS. Com relação aos erros apresentados, deve-se observar que o sistema ainda é bastante suscetível às condições do ambiente no qual será implementado, devido às influências na propagação do sinal. Esses erros podem ser minimizados com modificações na estrutura da rede de sensores, o que aumenta a gama de possibilidades de estudos.

Agradecimentos

A CAPES pelo financiamento do mestrado e a todos os colegas do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Analog Devices. **MicroConverter 12-Bit ADCs and DACs with Embedded High Speed 62-kB Flash MCU ADuC841/ADuC842/ADuC843**. Disponível em <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUC841_842_843.pdf> Acesso em: 01 de Fevereiro de 2010.

Digi. **XBee/XBee-PRO RF Modules**. Disponível em:

<http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_B.pdf> Acesso em: 01 de Fevereiro de 2010.

Farahani, Shahin. **ZigBee Wireless Networks And Transceivers**. Newnes, 2008. ISBN 978-0-7506-8393-7.

IEEE 802.15 WPAN Low Rate Alternative PHY Task Group 4a (TG4a). **Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)**. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4a.html>> Acesso em: 01 de Fevereiro de 2010.

MAO, G.; FIDAN, B. **Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Network**. 1. ed. [S.l.]: Information Science Reference, 2009. (Premier Reference Sources, v. 1). ISBN 978-1-60566-396-8, 978-1-60566-397-5.

Neto, José Maurício Ramos de Souza. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Centro de Engenharia Elétrica e Informática. **Sistema de Localização Baseado em Redes de Sensores se Fio**, 2010. 75p, Dissertação (Mestrado).

DATA ACQUISITION AND TREATMENT SYSTEM USING IEEE 802.15.4 STANDARD FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

Abstract: *Wireless sensor network (WSN) is an emerging technology for monitoring, which may include the control. It has low cost and low power consumption with applications in wide environments. Among these applications, the location system has attracted interest in research, since some measurements are meaningless without the notion of where the data were collected. Given this scenario, in this paper presents the development of a data acquisition system, using the IEEE 802.15.4, as a teaching tool in collecting and processing data.*

Key-words: *IEEE 802.15.4, Wireless sensor network, Location system, ZigBee.*