

DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR ULTRASSÔNICO DE CONSUMO DE ÁGUA USANDO O PADRÃO ZIGBEE PARA TRANSMISSÃO DOS DADOS DE CONSUMO

Lucas Ribeiro Barzotto (PIBIC/UEM), Sandro Rogério Lautenschlager (Orientador),
e-mail: srlager@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia, PR.

Engenharias: Engenharia Sanitária.

Palavras-chave: hidrômetro inteligente, sensor ultrassônico, comunicação ZigBee.

Resumo:

Hidrômetros mecânicos convencionais vêm se tornando obsoletos devido à sua constante perda de eficiência de medição e devido à dificuldade de realizar a leitura de seus dados. Visando solucionar estes problemas, hidrômetros compostos por sensores ultrassônicos e transmissão sem fio podem ser utilizados pois não possuem perda de eficiência de medição e possibilitam uma leitura dos dados de maneira mais simples e segura. Para a presente pesquisa, foi utilizada a placa TDC1000-TDC7200EVM, da Texas Instruments, que controla dois transdutores ultrassônicos e retorna um valor temporal relacionado ao fluxo volumétrico do sistema. Em ensaios, foi verificado que esta relação é proporcional e que a placa apresenta baixos erros de medição, porém, notou-se necessário verificar a influência das vibrações no encanamento, que podem proporcionar maiores erros de leitura. Em relação à comunicação sem fio, foi utilizado o protocolo ZigBee e, avaliando a qualidade da transmissão dos dados em uma residência, observou-se que interferências devido ao WiFi ou radiações emitidas por fornos de micro-ondas não resultam na perda de dados para certa distância, diferente do Bluetooth, que apresentou interferência na comunicação ZigBee. Para este último caso, observou-se também a ineficácia da atribuição de canais devido ao mecanismo *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) do protocolo Bluetooth.

Introdução

No Brasil a medição do consumo de água em residências é majoritariamente feita com hidrômetros mecânicos que possuem partes móveis (turbina) e, devido à estas partes móveis, estes hidrômetros podem sofrer desgastes pelo atrito e ter certa redução de eficiência de medição, sendo de aproximadamente 1% ao ano para hidrômetros classe B (Depexe e Gasparini, 2012). Além disso, a leitura dos dados do hidrômetro deve ser feita diretamente no equipamento, o que dificulta o acompanhamento do consumo. Diante disso, diferentes hidrômetros têm surgido no mercado de forma a solucionar os problemas citados. Um exemplo de hidrômetro sem partes móveis é o ultrassônico, que é composto por transdutores e uma placa eletrônica que os controla. Neste trabalho foi utilizada a placa TDC1000-

TDC7200EVM da Texas Instruments, que retorna um valor temporal (ΔTOF) relacionado ao fluxo volumétrico do sistema pela seguinte equação (Texas Instruments, 2015):

$$Q = 3551,662 \times K \times \Delta TOF \quad \text{Eq. 1}$$

Na qual já é considerada a velocidade do ultrassom na água para temperatura ambiente e as dimensões do tubo de 18 milímetros (modelo HS0014-000). Q refere-se ao fluxo volumétrico real do sistema em metros cúbicos por segundo e K à um fator de calibração que se deseja determinar. Em relação à transmissão sem fio dos dados obtidos pelo sensor, foi utilizado o protocolo ZigBee, que é um protocolo baseado no padrão IEEE 802.15.4, que possui um forte recurso de segurança e um baixo consumo de energia (Faludi, 2010). Porém, o ZigBee trabalha na faixa de frequência entre 2,4GHz e 2,4835GHz, que é a mesma faixa utilizada por tecnologias como WiFi e Bluetooth. Além disso, fornos de micro-ondas podem emitir radiações nesta mesma faixa de frequência, portanto, para avaliar a qualidade da comunicação ZigBee, este trabalho teve como objetivo a realização de experimentos em uma residência, analisando a interferência ocasionada por dispositivos WiFi, Bluetooth e micro-ondas sobre a transmissão dos dados do sensor ultrassônico, além da comparação das atribuições dinâmica e estática do canal de comunicação para estes casos.

Materiais e métodos

Sensor Ultrassônico

Os materiais utilizados neste experimento foram: Placa TDC1000-TDC7200EVM, Sensor HS0014-000 Audiowell, sistema hidráulico, balança, béquer e cronômetro. Para encontrar o Fator K da Equação 1 foram realizados dois experimentos no Laboratório de Hidráulica da UEM (Bloco 12), sendo que o primeiro experimento foi realizado utilizando a água proveniente de uma caixa-d'água e o segundo experimento foi realizado utilizando uma bomba hidráulica. Isso foi feito pois se sabe que os transdutores ultrassônicos estão suscetíveis à vibração do encanamento, logo, o Fator de Calibração e o erro de leitura para o segundo caso poderia ser diferente do primeiro. Para cada experimento foram encontrados seis pontos, ou seja, seis valores de Q e seis valores de ΔTOF para diferentes valores de fluxo.

Comunicação ZigBee

Os materiais utilizados neste experimento foram: Dois módulos XBee S2C, Analisador de Espectro R&S FSH8, Antena R&S HE400LP, celular e caixa de som com Bluetooth, Roteador TL-WA901ND e forno de micro-ondas. A seguinte metodologia foi utilizada: verificação do espectro de frequência utilizando o analisador para determinar o melhor e o pior canal de comunicação (canal com menor interferência e maior interferência, respectivamente) e realização do *Range Test* utilizando os seguintes canais: melhor canal, pior canal e canal encontrado automaticamente por atribuição dinâmica. Esta metodologia foi realizada para os quatro seguintes casos: apenas o WiFi ligado, apenas o Bluetooth ligado, apenas o forno de micro-ondas ligado e todos os três dispositivos ligados simultaneamente.

Desta forma, foi possível visualizar a interferência ocorrida devido à cada dispositivo, e o impacto da atribuição de canais para cada caso. Os dispositivos foram dispostos de acordo com a Figura 1 em uma residência, simulando um ambiente real.



Figura 1 – Posicionamento de cada dispositivo na residência

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 os resultados de K para cada experimento são apresentados.

Tabela 1 – Valores de K encontrados para cada valor de fluxo volumétrico

Vazão Placa (m ³ /s)	Vazão real média - Caixa d'água (m ³ /s)	K - Caixa d'água	Vazão real média - Bomba Hidráulica (m ³ /s)	K - Bomba Hidráulica
0	0	X	0	X
4,26199E-05	3,02316E-05	0,709330265	3,35299E-05	0,786718929
8,52399E-05	5,97084E-05	0,700474813	5,93408E-05	0,696162196
0,00012786	8,73093E-05	0,682851619	8,78863E-05	0,687364272
0,00017048	0,000117301	0,688061287	0,000118562	0,695458453
0,0002131	0,000152191	0,714175509	0,000150704	0,707199737

Nota-se que K é aproximadamente constante para esta faixa de valores, logo, o fluxo volumétrico real do sistema é proporcional ao Δ TOF medido pela placa. Aproximando os valores à uma reta, por regressão linear, obteve-se $y_1 = 0,703736551x_1 + 0,000000526$ para o experimento 1 (caixa-d'água) e $y_2 = 0,695288269x_2 + 0,000000921$ para o experimento 2 (bomba hidráulica).

Utilizando $K = 0,7$ para ambos os casos, o maior erro experimental obtido para o experimento 1 foi de 2,511%, e para o experimento 2 foi de 5,427%. Porém, na hora de realizar a leitura, observou-se certa variação no Δ TOF de até 0,5ns para o experimento 1, que resulta em uma variação de 0,0000012431 metros cúbicos por segundo, e de até 3ns para o experimento 2, que resulta em uma variação de 0,0000074586 metros cúbicos por segundo (utilizando $K = 0,7$), o que pode gerar um erro experimental ainda maior.

Os resultados da Tabela 2 foram obtidos para o experimento de interferência. Os valores desta tabela representam a porcentagem de pacotes recebidos pelo coordenador, que haviam sido enviados pelo roteador ZigBee.

Tabela 2 – Resultados obtidos para cada caso do experimento de interferência

	Canal automático	Melhor canal	Pior canal
Sem interferência	100% (Canal 24)	X	X
Com WiFi	100% (Canal 24)	100% (Canal 13)	100% (Canal 15)
Com Bluetooth	20% (Canal 24)	3,33% (Canal 24)	0% (Canal 20)
Com micro-ondas	100% (Canal 24)	100% (Canal 11)	100% (Canal 21)
Com todos	6,67% (Canal 24)	13,33% (Canal 26)	23,33% (Canal 22)

Note que houve perda de dados da rede ZigBee apenas nos casos em que o Bluetooth estava presente, porém, o Bluetooth era o dispositivo que estava mais próximo do coordenador. Note também que os resultados de atribuição de canais não foram como esperados. Isso certamente ocorreu devido ao mecanismo *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS), que consiste em um salto constante de canais realizados 1600 vezes por segundo de maneira randômica, o que dificulta que a atribuição estática de canais realizada pelos módulos ZigBee seja efetiva.

Conclusões

O sensor ultrassônico utilizado como hidrômetro apresentou boa precisão e robustez já que não possui partes móveis e, conseqüentemente, não possui perda de eficiência de medição. Foi encontrado que o Fator de Calibração para este sensor é $K = 0,7$ e gera um baixo erro de medição, porém, vibrações no encanamento devido às bombas hidráulicas podem ocasionar erros de leitura relativamente altos. A comunicação ZigBee não apresentou perda de dados quando as fontes interferentes eram o WiFi ou o forno de micro-ondas, porém, apresentou grande perda quando a fonte interferente era o Bluetooth, podendo chegar a uma perda total dos dados transmitidos. Vale lembrar que neste experimento os dispositivos Bluetooth estavam mais próximos do coordenador ZigBee, o que foi determinante para o resultado. Por fim, notou-se que a atribuição de canais da rede ZigBee é ineficaz em locais que possuem interferência de Bluetooth devido ao seu mecanismo de FHSS, que resulta na utilização de toda a faixa de frequência.

Agradecimentos

FINEP, CNPq, CAPES, FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA e UEM.

Referências

DEPEXE, M., GASPARINI, R.R. Determinação das taxas anuais de redução da eficiência de medição de hidrômetros. **Revista Saneas**, São Paulo, v. 45, n. XII, 2012.

FALUDI, R. **Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing**. 1. ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2010.

TEXAS INSTRUMENTS. **Ultrasonic Sensing Basics for Liquid Level Sensing, Flow Sensing and Fluid Identification Applications**. Dallas, 2015.