

Integração de Medidores de Energia Elétrica Residenciais a uma estrutura de *Smart Grid* usando Redes de Sensores Sem Fio

Stéphanie A. Braga, João Paulo C. M. Oliveira, Paulo R. de Araújo, Rogers G. F. Teixeira, Vagner H. de Souza

Resumo— Este artigo apresenta um modelo de integração de medidores de energia elétrica residenciais a uma estrutura de *Smart Grid* utilizando RSSF. O modelo foi validado por um protótipo implementado e testado em ambiente controlado. A RSSF, implementada com base no padrão de comunicação IEEE 802.15.4, possui nós sensores com kits da plataforma ARM Cortex M4 da *Texas Instruments*, e nó *Sink* com, também, uma plataforma ARM, um *Raspberry Pi*.

Palavras-Chave— *Smart Meter*, *Smart Grid*, Rede de Sensores sem fio.

Abstract— In this paper, we present an integration model of residential electrical meters into the structure of smart grid using WSN. The model was validated by a prototype implemented and tested in a controlled environment. The WSN, developed based on standard IEEE 802.15.4 communication, contains sensor nodes with an ARM Cortex M4 platform-based kits, from *Texas Instruments*, and Sink nodes with, also, a ARM-based platform, *Raspberry Pi*.

Keywords— *Smart Meter*, *Smart Grid*, Wireless Sensors Network.

I. INTRODUÇÃO

As *Smart Grids* são um desafio da engenharia moderna para o aprimoramento dos sistemas elétricos. O objetivo é utilizar novas tecnologias de controle e comunicação para economizar energia, reduzir custos e atender metas ambientais e de eficiência energética. Este desafio exige esforços em desenvolvimento de tecnologias e políticas de regulação, pois essas redes diferem-se das atuais redes de energia elétrica, já que interconectam os seus componentes de forma bidirecional para garantir algumas características: operação em tempo real, redução/gerenciamento de carga, armazenamento e geração de energia distribuída, entre outras. Em *Smart Grid*, há uma área que relaciona uma infraestrutura para medição de consumo de energia em uma rede de distribuição, chamada AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) [1].

Os *Smart Meters* têm um papel importante na AMI: eles podem medir o consumo de energia com mais detalhes do que medidores convencionais, comunicar as informações coletadas às partes autorizadas e facilitar o monitoramento e controle da rede [2].

O cenário mundial para a implantação dos *Smart Meters* na Europa e no resto do mundo é caracterizada, de alguma

forma, como heterogênea. Na Itália, por exemplo, a instalação dos mesmos iniciou-se em 2003 e tornou-se obrigatório em 2006 [3]. Já nos países em desenvolvimento, os medidores convencionais ainda são utilizados, mas os *smart meters* estão sendo introduzidos devido a fácil operação, monitoramento, detecção de perdas não-técnicas e outras vantagens [1].

As concessionárias de energia elétrica em todo o mundo perdem cerca de 20 bilhões de dólares por ano por causa de perdas não-técnicas. Além disso, as perdas provenientes de irregularidades de faturamento forçam as empresas de energia a implementarem um sistema de medição transparente. No entanto, a implantação de um sistema de medição inteligente envolve grandes orçamentos, o que se torna um empecilho em países em desenvolvimento. Nesse caso, *smart meters* com requisitos mínimos podem ser implementados a fim de diminuir os problemas que essas empresas enfrentam [1].

Partindo desse contexto, é proposto um modelo para implementação de um protótipo de baixo custo para adaptação de um medidor de energia convencional ao conceito de um *Smart Meter* utilizando RSSF (Rede de Sensores sem Fio). O modelo permitiu a implementação de um protótipo real com os resultados sendo apresentados nas próximas seções.

II. MODELO PROPOSTO

Na Figura 1, o modelo do módulo conversor proposto é apresentado. O módulo, que representa o nó sensor da RSSF, está conectado a um medidor convencional. É constituído por um kit processador/microcontrolador, onde o *firmware* realiza a de aquisição de dados e demais funcionalidades, e um transceptor de RF para a comunicação dos dados na RSSF.

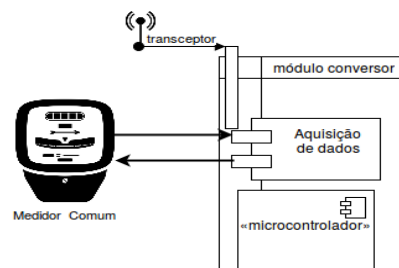


Fig. 1. Módulo Conversor

III. DESENVOLVIMENTO

O medidor utilizado para implementação do modelo foi o CRONOS 7023 fabricado pela *Eletra Energy solutions*. É um

Stéphanie A. Braga, João Paulo C. M. Oliveira, Paulo R. de Araújo, Rogers G. F. Teixeira, Vagner H. de Souza. Departamento de Telemática, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, E-mails: stephanie.braga@lit.ifce.edu.br, paolo@lit.ifce.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq (180884/2015-8).

medidor eletrônico de energia ativa e reativa. Implementa as normas: IEC 62052-11; IEC 62053-21; ABNT NBR 14519; ABNT NBR 14520 e possui as interfaces de comunicação RS232 e RS485 - Protocolo ABNT [4], interfaces essas que são requisito mínimo para que outro medidor seja utilizado no módulo proposto.

A plataforma de hardware constitui-se de uma placa EK-TM4C123GXL da *Texas Instruments*. É uma plataforma de baixo custo, que utiliza um microcontrolador ARM Cortex-M4F [5]. Na Figura 2, o *firmware* do módulo conversor com seus principais métodos são apresentados.

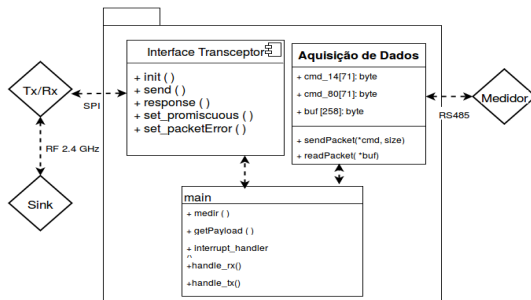


Fig. 2. Firmware do módulo Conversor

Para a aquisição de dados do medidor foi usada a interface RS485, com protocolo de comunicação baseado na ABNT 14522. O principal comando era o *cmd-14* que realiza a leitura das grandezas elétricas da rede.

Na Figura 2, algumas entidades da estrutura da RSSF são apresentadas: nó *sink*, transceptor, medidor e módulo conversor (nó sensor). O módulo transceptor utilizado foi o MRF24J40MC, da *Microchip*. Esse módulo tem comunicação RF baseada no padrão IEEE 802.15.4, e opera na frequência de 2.4 GHz [6]. A comunicação com o microcontrolador é baseada na interface SPI (*Serial Peripheral Interface*).

O nó *Sink* da RSSF está representado por uma plataforma Raspberry Pi, com um serviço POSIX desenvolvido no python 2.7, e que utiliza conceitos de programação em tempo real. Consiste de um núcleo com várias *threads* em que, paralelamente, os dados são lidos do módulo de aquisição através da serial, validados, enviados a um pool MODBUS, onde ficam disponíveis para leitura via software SCADA. Esses dados também ficam armazenados em uma base NoSQL baseada em chave-valor de desenvolvimento próprio, onde estas informações ficam disponíveis no formato XML através de um micro web-service, também instanciado pelo núcleo.

Foram projetados e fabricados dois *shields*, um para o nó sensor e outro para o *Sink*. A Figura 3 mostra o hardware do sistema. Foi usado o padrão *Ethernet* para enviar as informações à concessionária, mas poderiam ser outras tecnologias, como *Wifi*.

IV. RESULTADOS

O protótipo foi testado utilizando-se três nós sensores, todos enviando informações para o nó *Sink*. Na Tabela I estão contidos os tempos de resposta (milissegundos) do medidor Cronos, desde o envio do pacote de comando até o recebimento do

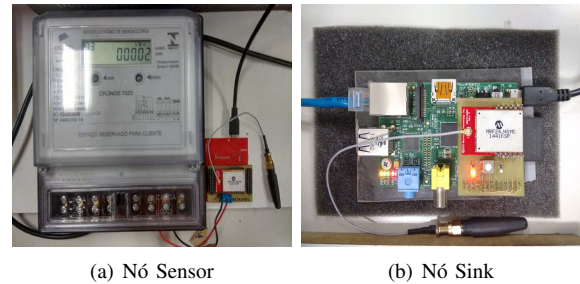


Fig. 3. Hardware do sistema

pacote de resposta; do recebimento do ACK enviado pelo nó sensor quando o *Sink* faz uma requisição e, por último, o tempo de envio das informações requisitadas (256 bytes).

TABELA I
TEMPOS DE RESPOSTA

	Tempo (ms)
Cronos	1073,95
ACK	4,130
Resposta	73,982

Em relação à potência do sinal recebido, a performance da rede foi medida utilizando-se o valor de RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), fornecido pelo transceptor. O valor vai de 0 a 255 e foi medido a várias distâncias. Em distâncias menores que 30 metros o valor de RSSI era máximo (255). A distância máxima em que se obteve um RSSI superior a 150 foi de 80 metros, sem linha de visada.

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O protótipo desenvolvido baseado no modelo proposto se mostrou eficiente, e a rede apresentou características importantes, tais como: estabilidade, correteude, escalabilidade e bom tempo de reposta, além de ser de baixo custo relativo. Mas o modelo está evoluindo e melhorias serão implementadas, como uma camada de segurança com autenticação e criptografia, de forma a tornar a rede usável em qualquer ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, processo 180884/2015-8. Ao Laboratório de Inovação Tecnológica (LIT).

REFERÊNCIAS

- [1] G. Kalogridis, C. Efthymiou, S. Z. Denic, T. A. Lewis e R. Cepeda. *Privacy for Smart Meters: Towards Undetectable Appliance Load Signatures*. IEEE Conference, 2010.
- [2] S. S. S. R. Depuru, L. Wang e V. Devabhaktuni. *Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011.
- [3] A. Dedé, D. D. Giustina, S.Rinaldi, P. Ferrari, A. Flammini e A. Vezzoli. *Smart Meters as Part of a Sensor Network for Monitoring the Low Voltage Grid*. IEEE Instrumentation and Measurement, 2015.
- [4] Eletra Energy solutions. Catálogo Cronos 7023, <http://www.eletraenergy.com/sites/default/files/pdf/7023.pdf>.
- [5] Texas Instruments. ARM® Cortex®-M4F Based MCU TM4C123G LaunchPad™ Evaluation Kit, <http://www.ti.com/tool/ek-tm4c123gx1>.
- [6] Microchip®. MRF24J40MC Data Sheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/75002A.pdf> - 2011.
- [7] IEEE Std 802.15.4™, <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html> - 2003.