

Análise do desempenho do protocolo LoRa para redes de sensores e atuadores sem fio de longo alcance

RESUMO

Patrik Bedin Schettert
patrik@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Pato Branco, Paraná,
Brasil

Gustavo Weber Denardin
gustavo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Pato Branco, Paraná,
Brasil

OBJETIVO: Esse projeto tem por objetivo investigar o desempenho da camada física e de enlace da tecnologia LoRa com aplicação em redes de sensores sem fio com roteamento em árvore ou malha. **MÉTODOS:** Em redes que utilizam roteamento em árvore ou malha é necessários a utilização de confirmação de recebimento e o acesso a potência do sinal para o devido funcionamento do protocolo de roteamento, que utiliza desses parâmetros na descoberta e escolha de vizinhos. Para implementar essas funcionalidades foram realizadas modificações no *driver* do rádio disponibilizado pela IBM, o LMIC, usado como base nesse projeto. Esse *driver* é baseado no protocolo LoRaWAN, que foi removido da implementação, permitindo o acesso direto ao rádio e a parâmetros referentes aos pacotes recebidos, como erro e potência do sinal. Por fim, de forma a auxiliar na sincronização de processos e complexidade do código, foi adicionado ao sistema o FreeRTOS. **RESULTADOS:** A partir da adaptação do *driver* do rádio os testes de campo demonstraram que mesmo em regiões metropolitanas, sujeitas a maiores interferências de sinal, os dispositivos conseguiram se comunicar a distâncias relativamente grandes comparadas a outras tecnologias de modulação de mesma finalidade. **CONCLUSÕES:** Os resultados parciais demonstraram que a tecnologia de modulação LoRa é bastante promissora, principalmente se consideradas aplicações de IoT, como redes de sensores, onde a característica de longo alcance permite a cobertura de regiões maiores e o baixo consumo de energia favorece a utilização de baterias, inerentes a esse tipo de dispositivo.

PALAVRAS-CHAVE: redes. sensores. LoRa.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o interesse do mercado em redes do tipo *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) tem aumentado, sob grande influência de conceitos como *Internet of Things* (IoT) e Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). As redes LPWAN tem sua principal aplicação em casos de baixa taxa transferência, longa distância e necessidade de baixo consumo de energia, visto que geralmente boa parte dos dispositivos desse tipo de rede são alimentados por bateria (PÉTRIK et al., 2016).

Tecnologias de camada física que atendam às necessidades das LPWANs e permitam comunicação a longa distância com eficiência energética tem sido amplamente pesquisadas e desenvolvidas por diferentes empresas (PETAJAJARVI, 2015).

Nesse projeto de pesquisa é investigado o desempenho da camada física e de enlace do LoRa, tecnologia de modulação proprietária da Semtech, a qual é baseada na modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Os rádios LoRa possuem 4 parâmetros de configuração que determinam o consumo de energia, o alcance da comunicação e a resistência do sinal ao ruído: *Carrier Frequency*(CF), *Bandwidth* (BW), *Spreading Factor*(SF) e *Coding Rate*(CR) (BOR; VIDLER; ROEDIG, 2016).

A camada física do LoRa pode ser utilizada com qualquer método de acesso ao meio, porém a Semtech atualmente propõe um protocolo padrão, denominado LoRaWAN, que funciona como uma rede de topologia estrela simples, onde os nós somente transmitem as informações para um *gateway*, não sendo permitida a comunicação ponto a ponto entre nós. Nessa topologia a comunicação é bastante assimétrica entre *uplink* e *downlink*, sendo o primeiro utilizado principalmente para envio dos dados mensurados e o último somente para confirmações de recebimento (ACK – do inglês *acknowledgment*) (PETÄJÄRVI et al., 2016).

O desenvolvimento desse projeto tem por objetivo aproveitar os benefícios da camada física dessa tecnologia aplicando-a em um protocolo de rede de sensores diferente do padrão LoRaWAN. Inicialmente é realizado o porte do *driver* do rádio derivado da implementação LMiC (LoRaWAN in C) feita pela IBM, permitindo o acesso direto ao rádio e seus registradores. A seguir é adicionado ao projeto um sistema operacional de tempo real, o FreeRTOS, que traz vários benefícios em sistemas que se utilizam de protocolos de comunicação, principalmente na parte da complexidade e sincronização entre processos. Por último são realizados teste de campo de forma a avaliar o desempenho da tecnologia LoRa em regiões urbanas, especificamente na cidade de Pato Branco/PR.

METODOS

Para a realização desse projeto foram utilizados dois *tranceivers* LoRa, duas antenas, dois microcontroladores da ST Microelectronics™ e um display 16x2. Esses dispositivos podem ser visualizados na Figura 1.

Os *tranceivers* LoRa são encarregados de implementar a camada física da rede. O modelo utilizado é o SX1276 da Semtech, escolhido por permitir a

operação nas frequências de 868MHz e 915MHz. A potência máxima de transmissão desse módulo de rádio é de 14dbM.

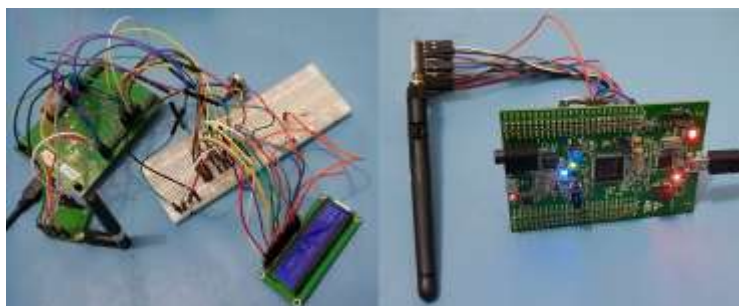


Figura 1 – Sistema de recepção (esquerda) e transmissão (direita) LoRa.

Fonte: Autoria Própria (2016).

A configuração de parâmetros de comunicação desse rádio é realizada por meio da leitura e/ou escrita de registradores específicos, acessados por meio de SPI.

A implementação LMIC da IBM permite somente comunicação na topologia estrela, onde os nós apenas trocam pacotes com um centralizador, o *gateway*. Como o dispositivo de *gateway* LoRa possui *hardware* específico e de alto custo é de interesse remover essa limitação, permitindo a comunicação ponto a ponto. Para isso, as camadas superiores do LMIC foram removidas, utilizando-se somente o *driver* do rádio.

Inicialmente foi realizado a adaptação do *driver* para o microcontrolador STM32F4-DISCOVERY, que compreendeu basicamente a implementação e configuração da SPI e de temporizadores (*timers*), portas e pinos de interrupções.

De forma a validar o funcionamento do *driver*, um dos microcontroladores foi configurado a enviar pacotes com dados crus, nesse caso números inteiros sequenciais, a cada 500 milissegundos. O segundo microcontrolador foi configurado para permanecer continuamente no estado de recepção e a cada pacote recebido uma interrupção é gerada, sendo o conteúdo do pacote, seu RSSI e SNR impressos em um *display* LCD 16x2 convencional. Dessa maneira, analisando no *display* os números sequenciais recebidos pelo segundo rádio é possível verificar a ocorrência de perda de pacotes. Além disso, os dados referentes a RSSI e SNR permitem avaliar a potência e qualidade do sinal de RF de cada pacote recebido, possibilitando avaliação do desempenho em diferentes lugares e distâncias entre os dispositivos.

Na validação do *driver* foram apenas criadas subfunções, uma para cada um dos rádios, responsáveis por efetuar a transmissão ou recepção de pacotes, sem nenhum tipo de sincronização, ou seja, o microcontrolador permanecia em estado de espera ocupada até que uma interrupção fosse detectada ou que o *timeout* estabelecido fosse alcançado, restaurando as configurações e reiniciando o processo. Para facilitar a implementação da sincronização nos testes foi adicionado ao projeto um sistema operacional de tempo real preemptivo, o FreeRTOS, que permite o uso de semáforos e mutexes.

Semáforos de recepção e transmissão foram criados com o objetivo de sincronizar as tarefas de transmissão e recepção, isto é, enquanto uma tarefa espera o término de uma operação do rádio, como receber um novo pacote, outras tarefas continuam a ser executadas. Já os mutexes foram utilizados para

garantir acesso exclusivo ao rádio, não permitindo que mais de uma tarefa obtenha esse acesso ao mesmo tempo, evitando assim a corrupção de dados. Além disso, o uso do RTOS traz outros benefícios como melhor gerenciamento de recursos, diminuição da complexidade dos códigos e pseudo paralelismo.

Com a adição do RTOS foi habilitada uma tarefa em cada microcontrolador. No dispositivo transmissor a tarefa é encarregada de realizar a transmissão de dados em um intervalo determinado. No dispositivo receptor a tarefa é responsável por permanecer em estado contínuo de recepção de pacotes. Cada pacote de dados segue uma estrutura definida, possuindo *payload* e *header*, sendo esse último composto de endereço de origem, destino e tipo de pacote.

Para adicionar a funcionalidade de confirmação de recebimento (ACK) foi criado um pacote específico que basicamente consiste em um pacote de dados sem o campo de *payload*. Em sequência foi adicionada a funcionalidade de envio e recebimento de ACK no *driver* do rádio, implicando que a cada pacote recebido, um pacote de ACK é transmitido ao remetente.

Realizadas essas modificações, o próximo passo será adicionar um protocolo de RSSF com roteamento em malha ou árvore, que se utilize do *driver* do rádio já implementado e do RTOS, possibilitando a avaliação do desempenho da tecnologia LoRa em redes que suportem esses tipos de roteamento.

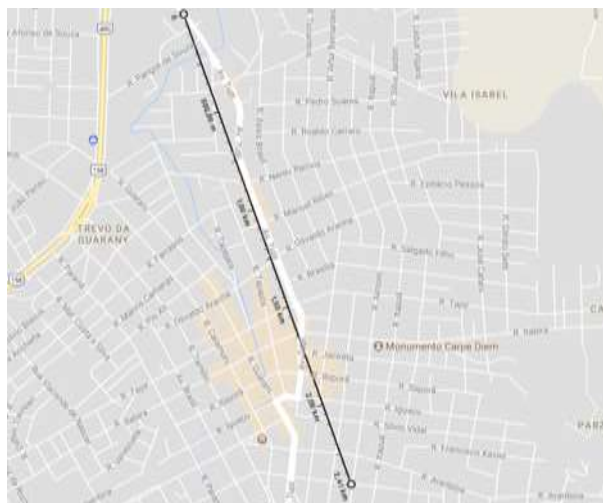
DISCUSSÃO E RESULTADOS

De maneira a testar os benefícios da camada física do LoRa, mais especificamente a abrangência de cobertura do transmissor, foram realizados testes preliminares utilizando a primeira implementação do *driver* do rádio, ainda sem RTOS.

O rádio foi configurado para frequência de 868MHz, SF 7, BW 125KHz, CR 4/5, potência de saída máxima de 14dBm e *payload* de 1byte.

Os testes foram realizados no centro da cidade de Pato Branco, com o rádio responsável pela transmissão se mantendo fixo em um ponto alto da cidade, e o rádio receptor sendo movimentado de maneira a aumentar a distância entre ambos. Na figura 2 é possível visualizar a máxima distância alcançada (2,41km) em que a perda de pacotes foi menor que 10%.

Figura 2 – Mapa da cidade de Pato Branco com distância máxima de comunicação.



Fonte: Autoria Própria (2016).

Foram também realizados testes com rádios CC1310-Sub-GHz da Texas InstrumentsTM, que utilizam a tecnologia de modulação GFSK concorrente ao LoRa, de forma a comparar o desempenho entre as duas tecnologias. No mesmo local de teste os rádios CC1310 obtiveram alcance de pouco mais de 600 metros, distância praticamente 4 vezes menor que a obtida pelos rádios LoRa. Esse resultado é bastante satisfatório e demonstra a superioridade do LoRa se tratando em área de abrangência.

Os próximos testes serão realizados com a adição do protocolo de rede de sensores, que permite a realização de saltos entre os nós, o que aumentará de forma considerável o alcance da rede.

CONCLUSÃO

Os resultados parciais demonstraram que a tecnologia de modulação LoRa é bastante promissora já que, mesmo em ambientes urbanos sujeitos a grande interferência e sem visada direta, foi possível atingir coberturas relativamente grandes se comparadas a tecnologias concorrentes no mercado com o mesmo fim. Levando em consideração aplicações de IoT, como redes de sensores, essa característica é uma grande vantagem já que o longo alcance permite a cobertura de regiões maiores, diminuindo a necessidade de realizar saltos. Essa vantagem se torna ainda mais evidente se considerarmos, por exemplo, aplicações como monitoramento de florestas ou propriedades rurais, onde é necessário cobrir áreas bastante extensas, e um maior alcance pode significar a necessidade de menos dispositivos e consequentemente menor custo.

Performance analysis of LoRa protocol for long range wireless sensor networks and actuators

ABSTRACT

OBJECTIVE: The objective of this project is to investigate the performance of the link and physical layer of LoRa technology, with application in wireless sensor networks that uses tree or mesh routing. **METHODS:** In networks that use tree or mesh routing it is necessary to have acknowledgment packets and access to signal power for the proper work of the routing protocol, which uses these parameters in the discovery and selection of neighbors. In order to implement these functionalities, modifications were made to the radio driver provided by IBM, the LMiC, used as the basis driver for this project. This driver is based on the LoRaWAN protocol, which has been removed from the implementation, allowing direct access to the radio and parameters related to received packets, as signal errors and power. Finally, FreeRTOS was added to the system in order to assist in process synchronization and reduce code complexity. **RESULTS:** From the adaptation of the radio driver the field tests demonstrated that even in metropolitan regions, subject to greater signal interference, the devices were able to communicate at relatively large distances compared to other modulation technologies of the same purpose. **CONCLUSIONS:** The partial results showed that LoRa modulation technology is quite promising, especially if we consider IoT applications, like sensor networks, where the long range characteristic allows the coverage of larger regions and the low energy consumption favors the use of batteries, inherent to this type of device.

KEYWORDS: networks. sensors. LoRa.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Gustavo W. D. que sempre se mostrou disposto a compartilhar seu conhecimento; A Fundação Araucária pela concessão da bolsa e o incentivo a pesquisa; A UTFPR-Campus Pato Branco por oferecer a infraestrutura e suporte necessário para o desenvolvimento desse projeto.

REFERÊNCIAS

BOR, Martin; VIDLER, John Edward; ROEDIG, Utz. **LoRa for the Internet of Things**. 2016.

PETÄJÄJÄRVI, Juha et al. **Evaluation of LoRa LPWAN technology for remote health and wellbeing monitoring**. In: Medical Information and Communication Technology (ISMICT), 2016 10th International Symposium on. IEEE, 2016. p. 1-5.

PETAJAJARVI, Juha et al. **On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology**. In: ITS Telecommunications (ITST), 2015 14th International Conference

PETRIĆ, Tara et al. **Measurements, Performance and Analysis of LoRa FABIAN, a real-world implementation of LPWAN**. In: Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2016 IEEE 27th Annual International Symposium on. IEEE, 2016. p. 1-7.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

SCHETTERT, P. B. et al. Análise do desempenho do protocolo LoRa para redes de sensores e atuadores sem fio de longo alcance. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Patrik Bedin Schetttert

Via do Conhecimento, Km 1, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

