|  |  |
| --- | --- |
| **Título do Projeto:** | Implementação de Transceptores Híbridos Cooperativos para Aplicações de *Smart Grid* e *Internet of Things* |
| **Orientador:** | Moisés Vidal Ribeiro |
| **Área de Concentração:** | Sistemas Eletrônicos |
| **Linha de Pesquisa:** | Processamento de Sinais e Telecomunicações |
| **Nome do Candidato:** | Vinícius Lagrota Rodrigues da Costa |
| **E-mail:** | vinicius.lagrota@engenharia.ufjf.br |
| **Telefone:** | (32) 98888-8705 |
| **Endereço:** | R. Santo Antônio, 1098/501 bloco 1 – Centro – Juiz de Fora – MG. |
| **Data:** | 17 / 12 / 2017 |

1. **Justificativa/Caracterização do Problema**

Nos dias atuais, devido ao interesse de tornar a rede de energia elétrica em uma rede inteligente (*smart grids –* SG) e devido à grande difusão do conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things –* IoT), pesquisas tem sido realizadas no sentido de investigar e melhorar sistemas de comunicação de dados via rede de energia elétrica (*power line communication –* PLC), que é uma das prováveis tecnologias de comunicação para atingir esse objetivo. Já por outro lado, a comunicação sem fio (*wireless communication*) também é uma forte candidata para ser uma infraestrutura para SG e IoT, tendo em vista que esta tecnologia já está bem estabelecida no mercado. É de comum acordo que aplicações SG e IoT serão suportadas por uma vasta gama de tecnologias de comunicação de dados, já que uma única solução não é capaz de suprir todos os cenários possíveis [1]. Ainda, com relação à custo e complexidade de instalação, a literatura técnica reconhece que tecnologias PLC e *wireless* parecem ser as melhores opções [2].

Com relação ao uso das redes de energia elétrica para o propósito de comunicação de dados, é bem conhecido que são meios hostis, já que foram especificados e desenvolvidos para maximizar a transmissão e entrega de energia em baixas frequências e não para transmissão de dados utilizando altas frequências. A presença de ruído impulsivo devido à dinâmica de cargas, o uso de cabos não-blindados que resultam em interferência eletromagnética, descasamento de impedância nos pontos de conexão [3], entre outros fatores, podem severamente degradar e corromper o sinal que carrega informação nesse meio. Com isso, foram estudados setups de medição e metodologias para estimação de canal e ruído PLC [4-5].

Por outro lado, o canal sem fio também apresenta problemas em seu meio. O sinal no meio sem fio sofre de três efeitos de propagação distintos: reflexão, dispersão e difração [6]. O primeiro acontece quando o sinal encontra um objeto muito grande em comparação com o seu comprimento de onda. Por outro lado, a dispersão ocorre quando o sinal encontra um objeto muito pequeno quando comparado ao seu comprimento de onda. Por fim, a difração ocorre quando o sinal encontra um objeto afiado e, consequentemente, permite a comunicação de dados sem visada direta (*non-line-of-sight – NLOS*). Além dos problemas supramencionados, o sinal sem fio ainda é afetado por interferência, o que é gerado primariamente por transmissões descoordenadas [7].

Recentemente, a exploração da existente diversidade entre os meios PLC e sem fio em conjunto com o uso de um protocolo cooperativo tem sido considerado no intuito de beneficiar aplicações SG e IoT [8]. Em relação a este tópico, [9-11] abordam um estudo sobre a comunicação cooperativa no campo da comunicação sem fio para alcançar diversidade e melhorar a confiabilidade. [12-16] apresentam estudos atuais nos quais a comunicação cooperativa é investigada para melhorar o desempenho do sistema PLC. Embora uma melhoria individual da confiabilidade em comunicações sem fio e PLC tenha sido obtida com o uso de protocolos cooperativos, a exploração da diversidade existente entre canais PLC e sem fio [2,7,17] pode beneficiar aplicações de SG.

Baseado na discussão anterior, fica claro que o conceito de hibridismo em sistema de comunicação de dados é recente e, consequentemente, investigações com relação às camadas física e de enlace para maximizar a exploração da diversidade entre o meio PLC e sem fio são temas de pesquisa muito atraentes para criar uma nova geração de técnicas de comunicação de dados para auxiliar implantações maciças em SG e IoT. Outra investigação muito interessante é prototipar um banco de provas que seja capaz de demonstrar as vantagens e desvantagens que as tecnologias híbridas de comunicação de dados podem oferecer para melhorar a cobertura, confiabilidade e taxa de dados das atuais infraestruturas de telecomunicações, bem como a limitação de hardware para atingir esse objetivo. A demonstração de tecnologia de comunicação de dados híbrida baseadas em um protótipo têm o potencial de trazer mais atenção a este assunto, revelando questões importantes que devem ser cuidadosamente abordadas para introduzir essas tecnologias no mercado.

Nesse contexto, na minha dissertação de mestrado, desenvolvi um protótipo de um transceptor híbrido PLC/Wireless banda estreita. Para implementar o transceptor, previamente quatro diferentes possíveis abordagens foram apresentadas:

1. a utilização de um padrão PLC para canais PLC e um padrão *wireless* para canal *wireless*;
2. a utilização de um padrão híbrido, tanto em canais PLC quanto em canais *wireless;*
3. a utilização de um padrão *wireless*, tanto em canais PLC quanto em canais *wireless;*
4. e a utilização de um padrão PLC, tanto em canais PLC quanto em canais *wireless.*

A última abordagem se mostrou mais interessante no momento e a proposta do transceptor baseado nessa escolha foi desenvolvida. Posteriormente, o transceptor foi implementado em um dispositivo FPGA, no qual análises de desempenho e de uso de recurso de *hardware* foram apresentadas.

1. **Objetivos**

A presente proposta de projeto de pesquisa tem os seguintes objetivos:

*i*) Analisar as outras possíveis abordagens que não foram contempladas no meu mestrado e verificar se possíveis ganhos podem ser obtidos, focando principalmente em soluções presentes no mercado;

*ii*) Desenvolver um outro protótipo utilizando uma das outras abordagens e comparar com o protótipo já construído, verificando a confiabilidade, taxa de dados e uso de recursos de *hardware* de cada um;

*iii*) Otimizar o protótipo implementado, buscando reduzir custos e buscando uma forma de combinar os canais de forma mais eficaz;

*iv*) Analisar a possibilidade de implementação do transceptor em dispositivos no qual o desenvolvimento é mais rápido, por exemplo, utilizando microcontroladores ou DSPs;

*v*) Estudo de outros front-ends que possam oferecer um melhor desempenho ao sistema.

1. **Metodologia e Estratégias de Ação**

Primeiramente será conduzido uma revisão da literatura sobre sistemas cooperativos utilizando os canais PLC e sem fio, focando principalmente no que é utilizado no mercado hoje em dia e quais front-ends possuem melhor desempenho. Em seguida, com base no estudo realizado previamente, será proposto um transceptor híbrido, no qual busca aprimorar o transceptor desenvolvido na minha dissertação de mestrado, buscando formas mais eficazes de realizar a combinação entre os canais. A seguir, a implementação deste transceptor será realizada, buscando aprimorar pontos como uso de recurso de *hardware* e desempenho. Posteriormente, será analisado a melhor proposta cooperativa presente no mercado e a mesma será implementada. Por fim, os protótipos apresentados serão testados em campo e comparados, verificando a utilização de recurso de *hardware* e a taxa de dados alcançada por cada um.

As várias fases do projeto são descritas abaixo:

*ETAPA 1: Estudo sobre sistemas cooperativos utilizando os canais PLC e sem fio.*

*ETAPA 2: Migração do protótipo construído no mestrado para soluções de baixo custo, como DSPs.*

*ETAPA 3: Estudo e implementação de técnicas de combinações mais eficazes.*

*ETAPA 4: Implementação de uma proposta bem aceita no mercado nos dias atuais, adaptando para que os canais sejam cooperativos, caso a proposta não preveja isso.*

*ETAPA 5: Testes, comparações e coleta de dados de todas as versões dos transceptores propostos.*

*ETAPA 6: Redação da tese.*

1. **Resultados e os impactos esperados**

Os seguintes resultados são esperados com o projeto:

*i*) Desenvolvimento de possíveis soluções para aplicações IoT e SGs que ainda não foram consideradas pelo mercado atual;

*ii*) Relatórios sobre todos os protótipos implementados, destacando as vantagens e desvantagens de cada um;

*iii*) Expressar as vantagens de cada abordagem estudada e implementada (referente à escolha dos padrões para cada canal);

*iv*) Destacar a melhor forma de realizar uma combinação entre os canais;

*v*) Publicação de artigos em periódicos internacionais e congressos.

1. **Cronograma**

O cronograma de execução do presente projeto de P&D compreende 48 meses. Este cronograma é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Cronograma de execução do projeto

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Etapas** | **Semestre** | | | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
| ETAPA 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ETAPA 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ETAPA 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ETAPA 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ETAPA 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ETAPA 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. **Referências Bibliográficas**

[1] S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang, “For the grid and through the grid: the role of power line communications in the smart grid,” Proc. IEEE, vol. 99, no. 6, pp. 998–1027, Jun. 2011.

[2] M. Sayed and N. Al-Dhahir, “Narrowband-PLC/wireless diversity for smart grid communications,” in Proc. IEEE Global Commun. Conf., Dec. 2014, pp. 2966–2971.

[3] M. Nassar et al., “Local utility power line communications in the 3-500 khz band: channel impairments, noise, and standards,” IEEE Signal Process. Mag., vol. 29, no. 5, pp. 116–127, Sep. 2012.

[4] G. R. Colen et al., “Measurement setup for characterizing low-voltage and outdoor electric distribution grids for PLC systems,” in Proc. PES Conf. Innov. Smart Grid Technol. Latin Amer., Apr. 2013, pp. 1–5.

[5] T. R. Oliveira et al., “A methodology for estimating frequency responses of electric power grids,” J. Control Autom. Elec. Syst., vol. 25, no. 6, pp. 720–731, Dec. 2014.

[6] S. Güzelgöz, “Characterizing wireless and powerline communication channels with applications to smart grid networks,” Ph.D. dissertation, University of South Florida, Apr. 2011.

[7] M. Sayed, G. Sebaali, E. B. L., and N. Al-Dhahir, “Eﬃcient diversity technique for hybrid narrowband-powerline/wireless smart grid communications,” in Proc. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun., Nov. 2015, pp. 1–6.

[8] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, “Cooperative communication in wireless networks,” IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 10, pp. 74–80, Oct. 2004.

[9] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, “Cooperative diversity in wireless networks: eﬃcient protocols and outage behavior,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062–3080, Dec. 2004.

[10] P. Herhold, E. Zimmermann, and G. Fettweis, “On the performance of cooperative amplify-and-forward relay networks,” in Proc. Int. ITG Conf. Source and Channel Coding, Jan. 2004, pp. 451–458.

[11] G. Farhadi and N. C. Beaulieu, “Ergodic capacity analysis of wireless relaying systems in rayleigh fading,” in Proc. IEEE Int. Conf. Commun., May 2008, pp. 3730–3735.

[12] M. S. P. Facina, H. A. Latchman, H. V. Poor, and M. V. Ribeiro, “Cooperative in-home power line communication: analyses based on a measurement campaign,” IEEE Trans. Commun., vol. 64, no. 2, pp. 778–789, Feb. 2016.

[13] S. D’Alessandro and A. M. Tonello, “On rate improvements and power saving with opportunistic relaying in home power line networks,” EURASIP J. Adv. Signal Process., vol. 2012, no. 1, pp. 1–17, Sep. 2012.

[14] J. Valencia, T. R. Oliveira, and M. V. Ribeiro, “Cooperative power line communication: analysis of brazilian in-home channels,” in Proc. IEEE Int. Symp. Power Line Commun. Appl., Mar. 2014, pp. 301–305.

[15] A. Dubey and R. K. Mallik, “PLC system performance with AF relaying,” IEEE Trans. Commun., vol. 63, no. 6, pp. 2337–2345, Jun. 2015.

[16] R. M. Oliveira, M. S. P. Facina, M. V. Ribeiro, and A. B. Vieira, “Performance evaluation of in-home broadband PLC systems using a cooperative MAC protocol,” Comput. Netw., vol. 95, pp. 62–76, Dec. 2015.

[17] G. Sebaali and B. L. Evans, “Design tradeoﬀs in joint powerline and wireless transmission for smart grid communications,” in Proc. IEEE Int. Symp. on Power Line Commun. Appl., Mar. 2015, pp. 83–88.

1. **Publicações no Mestrado**

A lista de artigos de revista escritos durante o período de mestrado é dada a seguir:

• **DA COSTA, VINÍCIUS LAGROTA R.**; SCHETTINO, HUGO VIVEIROS; CAMPONOGARA, ÂNDREI; DE CAMPOS, FABRÍCIO P.V.; RIBEIRO, MOISÉS VIDAL. "Digital Filters for clustered-OFDM-based PLC systems: Design and implementation". Digital Signal Processing, v. 70, p. 166-177, 2017.

• COSTA, LUIS GUILHERME DA SILVA; DE QUEIROZ, ANTÔNIO CARLOS MOREIR O; ADEBISI, BAMIDELE; **DA COSTA, VINICIUS LAGROTA RODRIGUES**; RIBEIRO, MOISÉS VIDAL. "Coupling for Power Line Communications: A Survey". Journal of Communication and Information Systems (JCIS), v. 32, p. 8-22, 2017.

• **DA COSTA, VINÍCIUS LAGROTA R.**; FERNANDES, VICTOR; RIBEIRO, MOISÉS VIDAL, "A Prototype of a Narrowband Hybrid PLC/Wireless Transeiver, "IEEE Internet of Things, 2017, em processo de revisão.

• COSTA, LUIS GUILHERME DA SILVA; COLEN, GUILHERME R., QUEIROZ, ANTÔNIO CARLOS MOREIRÃO DE; **DA COSTA, VINÍCIUS LAGROTA R.**; VÍTOR, ULYSSES R. C.; RIBEIRO, MOISÉS VIDAL. "Acess Impedance in Brazilian In-Home Broadband and Low-voltage Electric Power Grids: Measurement, Charaterization and Modeling," Journal of Communication and Information Systems (JCIS), Electric Power Systems Research, 2017, em processo de revisão. (Este artigo está no JCIS????)

A lista de artigos de conferência escritos durante o período de mestrado é dada a seguir:

• **COSTA, V. L. R.**; MIRANDA, C. R.; SOUZA, S. A.; MARTINS, C. H. N.; CAMPOS, F. P. V.; OLIVEIRA, T. R.; RIBEIRO, M. V. "Front-End Analógico para Power Line Communication na faixa entre 1.7 e 50 MHz". In: XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2015, Juiz de Fora. SBrT, 2015.

• COSTA, L. G. S.; PICORONE, A. A. M.; **COSTA, V. L. R.**; RIBEIRO, M. V. "Projeto e Caraterização de Acopladores para Power Line Communication". In: XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2015, Juiz de Fora. SBrT, 2015.

• COSTA, L. G. S.; PICORONE, A. A. M.; QUEIROZ, A. C. M.; **COSTA, V. L. R.**; RIBEIRO, M. V. "Caracterização da Impedância de Acesso à Rede de Energia Elétrica Residencial para Uso em Sistemas Power Line Communications". In: XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2015, Juiz de Fora. SBrT, 2015.