

## 5 Conclusões e Sugestões

### 5.1 Estimação de canal PLC

*Power Line Communications* (PLC) é a tecnologia na qual a rede de distribuição de energia elétrica, principalmente a de baixa tensão, é utilizada como meio físico para transporte de sinais de telecomunicações.

Surge mais uma opção de conectividade em banda larga, além dos sistemas wireless, de satélite e cabos coaxiais das operadoras de TV por assinatura. Assim, a utilização das redes de distribuição de energia elétrica são uma alternativa para o fornecimento de diversos serviços de telecomunicações, notadamente voz e dados com alta velocidade na chamada “última milha” (*last mile*),

Porém, a rede de energia elétrica difere consideravelmente em topologia, estrutura e propriedades físicas se comparada a outros meios convencionais de comunicação, tais como o par trançado, o cabo coaxial ou a fibra óptica. Além disso, tais redes não foram originalmente concebidas, a priori, com a finalidade de fornecer serviços de comunicação, sendo projetadas exclusivamente para o fornecimento de energia elétrica. Uma vez que sua aplicação em telecomunicações passou a ser considerada, a obtenção de modelos eficientes para a caracterização do meio de transmissão PLC é de maior interesse.

O modelo paramétrico para o canal PLC bastante utilizado na literatura é o modelo proposto por Zimmermann e Dostert. Esse modelo leva em conta duas características predominantes: o efeito multipercurso e as perdas nos condutores.

Nesse modelo percebe-se a existência de dois grupos de parâmetros:

- O primeiro consiste de parâmetros globais que afetam toda a rede elétrica. No contexto desta tese, assumiu-se que estes parâmetros são conhecidos ou podem ser estimados por outros meios na medida em que eles estão relacionados com as características físicas e elétricas da rede. Esta quando foi construída, estabeleceram-se os valores de tais parâmetros.
- O segundo grupo consiste nos parâmetros individualizados para cada multipercurso, são eles, a saber: a distância e o módulo e fase do coeficiente de acoplamento.

Uma das dificuldades de se estimar os parâmetros desse modelo é que para cada multipercurso têm-se três parâmetros para serem estimados.

Um dos objetivos da tese foi estimar esse grupo de parâmetros individualizados.

A tese apresentou um método de estimação paramétrico associado a esse modelo de canal PLC, utilizando-se o algoritmo EM. No caso do modelo de canal escolhido e do emprego do algoritmo EM para a sua estimação paramétrica, algumas simplificações foram feitas, tornando o problema mais simples de ser resolvido. Cada subproblema de otimização envolvendo três parâmetros pode ser transformado em um problema de otimização unidimensional.

As funções de transferência para canais PLC foram geradas a partir do circuito elétrico simétrico, no qual o número de ramos da rede foi variado.

Para uma rede contendo 3 ramos, embora o ajuste não tenha ocorrido de forma satisfatória em toda a faixa de frequência estudada (300kHz a 30 MHz), percebe-se que existem regiões, onde o ajuste pode ser considerado adequado. Porém quando se utilizou uma rede PLC contendo 5 ramos, o resultado não foi de forma nenhuma satisfatório.

Uma possível explicação para o baixo desempenho do algoritmo proposto diz respeito à escolha dos valores e quantidades dos parâmetros  $\{d_k\}$ . Estes parâmetros são definidos no início do algoritmo e permanecem inalterados ao longo de todo o processo iterativo de convergência nos outros parâmetros.

Para mitigar esse efeito foi proposto um procedimento de natureza “gulosa” (do inglês, greedy) que progressivamente tenta ajustar um novo termo na expressão da função de transferência do canal. De forma simples, calcula-se o termo que melhor se ajuste a função de transferência original. Subtrai-se este termo da função de transferência original e ajusta-se um novo termo a este resíduo. Continua-se sucessivamente neste processo até que o resíduo tenha energia desprezível. A estimativa da função de transferência será a soma de todos estes termos produzidos ao longo desta seqüência.

Essa nova abordagem foi avaliada para uma rede PLC contendo 3, 5, 7 e 11 ramos. Em todos os casos os resultados foram bons.

Também foram geradas funções de transferência a partir do modelo de Zimmermann e Dostert para verificar a eficácia do método alternativo proposto.

O resultado apresentado é bastante satisfatório, indicando que o algoritmo alternativo proposto funciona bem quando o modelo utilizado é o modelo de Zimmermann. Cobrindo vales profundos que os outros casos apresentados não permitiram.

O algoritmo de estimação de canais proposto nesta tese foi também testado para canais não PLC.

As funções de transferência foram geradas a partir de canais tipicamente HF (*High frequency*). Nesse caso também o algoritmo proposto funcionou adequadamente para canais não PLC.

O desempenho do algoritmo proposto também foi testado quando o conhecimento da função de transferência é incompleto. Assim, o algoritmo proposto permite a estimação da função de transferência mesmo que a ele seja fornecido um subconjunto dos pontos conhecidos.

Observa-se que o erro médio quadrático é praticamente estável quando a razão de pontos utilizados é superior a 30%.

## 5.2 Avaliação de Desempenho

Na tese foi também investigada a aplicação da técnica OFDM para a avaliação de desempenho com conhecimento total ou parcial do canal PLC.

Foi utilizado o método paramétrico de estimação do canal PLC baseado no algoritmo EM que não necessariamente requer o conhecimento do canal em todas as frequências OFDM. Assim esse estimador foi usado para “completar” a resposta do canal e assim aumentar a vazão da transmissão de dados sem que haja impacto exagerado no desempenho do sistema. Não sendo necessário a transmissão de um símbolo OFDM completo para prover a estimação do canal.

Como referência foram utilizados os equalizadores ZF (*Zero-Forcing*) e MMSE (*Minimum Mean Square Error*).

Foram empregadas três tipos de modulação, a saber: BPSK, QPSK e 16-PSK e o desempenho se mostrou bastante satisfatório para os três casos com a utilização de 100%, 80% e 60% dos canais como piloto.

## 5.3 Propostas de trabalhos futuros

- Refazer as estimações para casos de funções de transferências obtidas por simulações de redes elétricas com circuitos assimétricos;
- Estudar caso onde o ruído é de natureza mais complexa, ou seja, para ruídos que não sejam do tipo AWGN;

- Comparar a técnica de estimação proposta com outras técnicas utilizadas em sistemas OFDM;
- Testar a técnica de estimação para o caso de canais variantes;