



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
PPGEE – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Fernando Villamarim de Souza

**IDENTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DE
CROSSTALK
NAS REDES DE ACESSO VDSL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rose Mary de Souza Batalha

Belo Horizonte
14 de Julho de 2004

Resumo

Neste trabalho estuda-se a identificação dos fenômenos de *crosstalk* e a mitigação dos seus efeitos adversos no ambiente de aplicação onde os modems VDSL-Very-High-Speed Digital Subscriber Line devem operar para a formação de um sistema de acesso de faixa-larga sobre a rede telefônica existente. *Crosstalk* é um fenômeno eletromagnético bidirecional indesejável, causador de interferências mútuas, que ocorre em cabos telefônicos ou cabos de redes de computadores densamente empacotados, causado por acoplamentos de origem capacitiva e indutiva.

Os sistemas VDSL são inicialmente apresentados e a importância da tecnologia no contexto das modernas redes de acesso de faixa-larga é destacada. Os problemas inerentes das linhas telefônicas convencionais usadas no transporte de dados com alta velocidade são apresentados e discutidos. A linha telefônica é estudada como meio físico de transmissão para VDSL usando-se o modelo matricial de parâmetros A, B, C e D para redes de duas e três portas. As curvas de função de transferência, impedância e resposta ao impulso das linhas na faixa de frequências usadas por VDSL são simuladas e analisadas. Os resultados são usados no cálculo de capacidade de canal.

Em seguida, os fenômenos de *crosstalk* e suas correspondentes funções de acoplamento nas frequências de operação de VDSL são apresentados e conceituados. Mostra-se então que *crosstalk* é o mais importante fenômeno eletromagnético atuante como limitador de capacidade nos canais com múltipla entrada e múltipla saída, representados por cabos telefônicos multipares. A capacidade dos modems VDSL operando em ambientes de aplicação dominado por *crosstalk* é modelada, sendo geradas curvas de máxima capacidade de canal levando-se em conta características específicas de transmissão.

Finalmente, são apresentados e discutidos alguns métodos importantes que podem ser usados para mitigação de *crosstalk* visando atingir, com confiabilidade, a capacidade de canal especificada para VDSL na constituição de redes de acesso de faixa-larga visando o provimento de vídeo. A mitigação de *crosstalk* é abordada como uma das etapas mais importantes da engenharia de redes para que a tecnologia VDSL possa ser disponibilizada com sucesso. Destaca-se, neste sentido, a discussão sobre as topologias e arquiteturas da rede externa, assim como a adoção de gerenciamento espectral dinâmico, como formas modernas de mitigação do *crosstalk*. Como resultado, um conjunto de ações para mitigação do *crosstalk* é proposto na dissertação.

Os resultados revelam que o uso de modems VDSL nas redes telefônicas pode ser vantajoso no provimento de serviços multimídia de faixa-larga, respeitando-se algumas condições de aplicação. Taxas de transmissão de dados multimegabit podem ser obtidas e sustentadas se os fenômenos de *crosstalk* forem devidamente identificados e mitigados.

Abstract

This work concerns with the identification and mitigation of crosstalk and its effects in the application environment encountered by VDSL - Very-High-Speed Digital Subscriber Line modems deployed over standard telephone lines as part of a multimegabit, broadband final access network. Crosstalk is an undesirable bi-directional electromagnetic phenomenon that causes interference between signals circulating on densely packed telephone and computer cables caused by mutual capacitive and inductive couplings.

Initially, an introduction to the VDSL technology and its applications in the context of modern broadband access is presented. The inherent limitations of standard telephone lines used as high-speed data channels are presented and discussed using the ABCD network model. The issue of telephone line modeling is studied under a VDSL perspective. Line transfer function, impedance and impulse response plots are generated and analyzed. The results are used to compute channel capacity.

Secondly, a comprehensive description of the channel *crosstalk* characteristics that can influence the performance of VDSL modems is presented. It is shown that crosstalk represents the most detrimental electromagnetic phenomenon acting to limit channel capacity of the multiple inputs, multiple outputs channels represented by telephone lines. The capacity of VDSL modems operating over standard telephone lines in a crosstalk-dominated environment is studied and simulated. Plots of the channel transfer function, line impedance and impulse response at VDSL frequencies are generated and discussed.

Finally, some important methods of *crosstalk* mitigation are presented that should allow VDSL channels to reliably achieve its intended data rate in setting-up broadband channels capable do deliver video signals. Crosstalk mitigation is studied as one of the most important engineering works aimed to the deployment of VDSL as a mass access technology. An introductory discussion about modern dynamic spectral management of VDSL-based access networks is presented for comparison with more conventional static management solutions for *crosstalk* mitigation. A set of actions for crosstalk mitigation is proposed.

The results show that the use of VDSL modems over standard twisted pair telephone lines can be an efficient and cost-effective solution in providing broadband final access to end users of telecommunications networks. High data rates can be reliably sustained provided that loops can be made sufficiently short and crosstalk is properly identified and mitigated.