



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
TELECOMUNICAÇÕES

**Estudo e Implementação de Técnicas para Sincronismo em Sistemas de
Telecomunicações**

Gabriel Peixoto de Carvalho

BELÉM - PARÁ

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
TELECOMUNICAÇÕES

Gabriel Peixoto de Carvalho

**Estudo e Implementação de Técnicas para Sincronismo em Sistemas de
Telecomunicações**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção do grau de Engenheiro em Engenharia
da Computação, do Instituto de Tecnologia, da Fa-
culdade de Engenharia da Computação e Teleco-
municações.

BELEM - PARÁ

2016

Estudo e Implementação de Técnicas para Sincronismo em Sistemas de Telecomunicações

Este trabalho foi julgado adequado em __/__/____ para a obtenção do Grau de Engenheiro da Computação, aprovado em sua forma final pela banca examinadora que atribuiu o conceito _____.

Prof. Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Junior
ORIENTADOR

Prof. Wilson Pacheco Ferreira
COORIENTADOR

Prof. Francisco Carlos Bentes Frey Muller
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Eng. Igor Mesquita de Almeida
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. José Augusto de Lima Barreiros
DIRETOR DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão, os
quais desempenharam um papel inigualável em minha
educação.

Agradecimentos

Igor Antonio Auad Freire

*Viva como se você fosse morrer amanhã. Aprenda como se
você fosse viver para sempre.*

Mahatma Gandhi

Lista de Siglas

1. ADSL - *Linha de assinante digital assimétrica*

Lista de Símbolos

b	Taxa agregada de bits alcançável para o sistema
-----	---

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Sumário

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Sumário	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii
Referências Bibliográficas	1

Resumo

Abstract

Referências Bibliográficas

- [1] CENDRILLON, R.; GINIS, G.; DEN BOGAERT, E. V.; MOONEN, M. A near-optimal linear crosstalk precoder for downstream VDSL. *IEEE Transactions on Communications*, v. 55, p. 860–863, may 2007.
- [2] CAMPELLO, J. Optimal discrete bit loading for multicarrier modulation systems. *IEEE International Symposium on Information Theory*, p. 193, aug. 1998.
- [3] ALCATEL-LUCENT. G.fast: Comparison of linear and non-linear precoding. Contribution ITU-T 2013-01-Q4-046, Geneva, Switzerland, jan. 2013.
- [4] COSTELLO, D.; LIN, S.; RICHARDSON, T.; RYAN, W.; URBANKE, R.; WESEL, R. Capacity approaching codes. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 27, n. 6, p. 825–830, aug. 2009.
- [5] VAN DEN BRINK, R. F. Enabling 4G BB via the last copper drop of a hybrid FttH deployment. White paper on DSL, TNO, The Netherlands, apr. 2011.
- [6] GRAY, R. M. *Toeplitz and circulant matrices: A review*. Now Publishers Inc, 2006.
- [7] MALKIN, M.; HWANG, C.-S.; CIOFFI, J. M. Reducing insufficient-cyclic-prefix distortion using tone reservation. *IEEE Global Telecommunications Conference*, p. 2889–2893, nov. 2007.
- [8] HUANG, Y.-R.; FUNG, C. C.; WONG, K. T. Interference suppression for OFDM systems with insufficient guard interval using null subcarriers. *IEEE Signal Processing Letters*, v. 16, n. 11, p. 929–932, jul. 2009.
- [9] MAES, J.; GUENACH, M.; VANBLEU, K.; TIMMERS, M. Pushing the limits of copper: Paving the road to FTTH. *IEEE International Conference on Communications*, p. 3149 – 3153, jun. 2012.

- [10] CHEONG, K.-W.; CIOFFI, J. M. Precoder for DMT with insufficient cyclic prefix. *IEEE International Conference on Communications*, v. 1, p. 339–343, jun. 1998.
- [11] TRAUTMANN, S.; FLIEGE, N. Perfect equalization for DMT systems without guard interval. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 20, n. 5, p. 987–996, aug. 2002.
- [12] LINDQVIST, F.; FERTNER, A. Frequency domain echo canceller for DMT-based systems. *IEEE Signal Processing Letters*, v. 18, n. 12, p. 713–716, oct. 2011.
- [13] ARSLAN, G.; EVANS, B. L.; KIAEI, S. Equalization for discrete multitone transceivers to maximize bit rate. *IEEE Transactions on Signal Processing*, v. 49, n. 12, p. 3123–3135, aug. 2001.
- [14] TKACENKO, A.; VAIDYANATHAN, P. P. A low-complexity eigenfilter design method for channel shortening equalizers for DMT systems. *IEEE Transactions on Communications*, v. 51, n. 7, p. 1069–1072, jul. 2003.
- [15] KIM, D.; STÜBER, G. L. Residual isi cancellation for OFDM with applications to HDTV broadcasting. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 16, n. 8, p. 1590–1599, oct. 1998.
- [16] CENDRILLON, R.; GINIS, G.; DEN BOGAERT, E. V.; MOONEN, M. A near-optimal linear crosstalk precoder for downstream VDSL. *IEEE Transactions on Communications*, v. 55, n. 5, p. 860–863, may 2007.
- [17] MALKIN, M.; HWANG, C.-S.; CIOFFI, J. M. Transmitter precoding for insufficient-cyclic-prefix distortion in multicarrier systems. *IEEE Vehicular Technology Conference.*, p. 1142–1146, may 2008.
- [18] PARK, C.-J.; IM, G.-H. Efficient DMT/OFDM transmission with insufficient cyclic prefix. *IEEE Communications Letters*, v. 8, n. 9, p. 576–578, sept. 2004.
- [19] MALKIN, M. H. *Optimized transmitter-based signal processing for multicarrier systems*. jun. 2009. Tese (Doutorado) - Stanford University, Stanford, USA, jun. 2009.
- [20] OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W.; BUCK, J. R. *Discrete-time signal processing*. 2nd. ed. Prentice Hall, 1998.

- [21] JACOBSEN, K. S. *Fundamentals of DSL technology*. Auerbach Publications, 2006. Cap. 7.
- [22] HENKEL, W.; TAUBÖCK, G.; ÖDLING, P.; BÖRJESSON, P. O.; PETERSSON, N.; JOHANSSON, A. The cyclic prefix of OFDM/DMT - an analysis. *IEEE International Zurich Seminar on Broadband Communications Access - Transmission - Networking*, feb. 2002.
- [23] SHANNON, C. E. Two-way communication channels. *Proc. Fourth Berkeley Symposium on Probability and Statistics*, v. 1, p. 611–644, jun./jul. 1960.
- [24] CIOFFI, J. Lecture notes for advanced digital communication. Spring Quarter 2007-2008.
- [25] JONSSON, R. H. *Fundamentals of DSL technology*. Auerbach Publications, 2006. Cap. 11.
- [26] CIOFFI, J. Lecture notes for digital communication: Signal processing. Winter Quarter 2007-2008.
- [27] INGLE, V. K.; PROAKIS, J. G. *Digital signal processing using matlab*. 3rd. ed. Cengage Learning, 2011.
- [28] CENDRILLON, R. *Multi-user signal and spectra co-ordination for digital subscriber lines*. dec. 2004. Tese (Doutorado) - Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, Belgium, dec. 2004.
- [29] SHANNON, C. E. Mathematical theory of communications. *Bell Syst. Tech. J.*, v. 27, p. 379–423, jul. 1948.
- [30] CAMPELLO, J. Practical bit loading for dmt. *IEEE International conference on Communications*, v. 2, p. 801–805, jun. 1999.
- [31] STARR, T.; CIOFFI, J. M.; SILVERMAN, P. J. *Understanding digital subscriber line technology*. Prentice Hall, 1999.
- [32] STARR, T.; SORBARA, M.; CIOFFI, J. M.; SILVERMAN, P. J. *DSL advances*. 1st. ed. Prentice Hall, 2003.

- [33] CHO, Y. S.; KIM, J.; YANG, W. Y.; KANG, C. G. *MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB®*. 1st. ed. Wiley-IEEE Press, 2010. Cap. 1.
- [34] LATHI, B. P.; DING, Z. *Modern digital and analog communication systems*. 4th. ed. Oxford University Press, 2009.
- [35] PROAKIS, J. G.; SALEHI, M. *Digital communications*. 5th. ed. McGraw-Hill Higher Education, 2008.
- [36] SCHMIDL, T.; COX, D. Robust frequency and timing synchronization for OFDM. *IEEE Transactions on Communications*, v. 45, n. 12, p. 1613 –1621, dec. 1997.
- [37] AMBARDAR, A. *Digital signal processing: A modern introduction*. 1st. ed. Thomson, 2007. p. 374.

