



Uwe Rojas Villanueva

Coexistência entre as Tecnologias de 3ª e 4ª Gerações.

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC – Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Gláucio Lima Siqueira

Rio de Janeiro
Abril de 2011



Uwe Rojas Villanueva

Coexistência entre as Tecnologias de 3ª e 4ª Gerações

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Gláucio Lima Siqueira
CETUC-PUC-Rio

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello
CETUC-PUC-Rio

Prof. Leni Joaquim de Matos
CETUC-PUC-Rio

Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza
INMETRO

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 8 de abril de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Uwe Rojas Villanueva

Graduou-se em Engenharia de Telecomunicações, na Universidad Nacional de Ingenieria - UNI/Peru, em 2008. Em 2009 ingressou no Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica – Mestrado na área de eletromagnetismo aplicado no Centro de Estudos em Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Ficha Catalográfica

Villanueva, Uwe Rojas

Coexistência entre as tecnologias 3^a e 4^a gerações / Uwe Rojas Villanueva ; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – 2011.

95 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Coexistência. 3. Interferência. 4. LTE (Long Term Evolution). I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Ao professor orientador, Dr. Gláucio Lima Siqueira, pelas sábias palavras de orientação durante todo o percurso da pesquisa e elaboração desta dissertação.

À PUC - Rio pela bolsa de isenção proporcionada e a CAPES pela bolsa de fomento fornecida

Resumo

Villanueva, Uwe Rojas; Siqueira, Gláucio Lima. **Coexistência entre as Tecnologias de 3ª e 4ª Gerações**. Rio de Janeiro, 2011. 95p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A chegada da tecnologia 4G acontece simultaneamente com a tecnologia que hoje temos (2G e 3G). Deste modo, uma pergunta natural é se elas vão conseguir coexistir ou se, no futuro, apresentarão problemas de coexistência. Para responder a estas perguntas, é preciso pesquisar para podermos prever se, de alguma maneira, há possibilidade de falhas no futuro. E é assim que poderíamos explicar interferência, que é um problema que sempre existe e que se opõe à boa qualidade de serviço. No Brasil, já se discute o uso da frequência de 2.5 GHz, para serviços de 4ª geração, por atender melhor as necessidades dos usuários. Isto que acontecerá também se, de alguma maneira, usarmos outras frequências como no caso de 900 MHz, que é considerada uma banda muito disputada na Europa. Existem operadoras que começaram a fazer testes com esta banda, e isso nos faz pensar que, de qualquer forma, teremos que conviver com a mesma banda em diferentes tecnologias. Assim, este trabalho apresenta um estudo de simulação de diversos casos de interferência e como cada um deles irá afetar o desempenho dos sistemas 4G coexistindo com sistemas mais antigos.

Palavras-chave

Coexistência; Interferência; LTE (*Long Term Evolution*).

Abstract

Villanueva, Uwe Rojas; Siqueira, Gláucio Lima (Advisor). **Coexistence between 3^a and 4^a Generation Technologies**. Rio de Janeiro, 2011. 95p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The arrival of 4G technology takes place simultaneously with the technology we have today (2G and 3G). Thus, a natural question is whether they will be able to coexist in the future or will present problems of coexistence. In order to answer these questions, it is necessary to search predicting if there is possibility of failure in the future. And that's how we explain interference, which is a problem that always exists and precludes good quality of service. In Brazil there is discussion about the use of 2.5 GHz frequency for 4G to better meet the users' needs. This will happen if in some way we use other frequencies as the case of 900 MHz band which is considered a hard fought in Europe. There are carriers that have begun to experiment with this band, and this makes us think that in any way we will live with different technologies in the same band. Thus, this work presents a simulation study of several cases of interference, in which each will affect the performance of 4G systems coexisting with older systems.

Keywords

Coexistence, Interference, LTE (Long Term Evolution).

Sumário

1. Introdução	16
1.1. Os sistemas de 4 ^a geração	16
1.1.1. Multimídia na LTE (<i>Long Term Evolution</i>):	17
1.1.2. Características Técnicas LTE:	17
1.1.3. Comparativo LTE e WiMAX (<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>):	18
1.2. Problema de Interferência	20
1.2.1 Interferência de radiofrequência	20
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo Geral	21
1.3.2. Objetivos Específicos	21
1.4. Organização da Dissertação	22
2. Tecnologia LTE (<i>Long Term Evolution</i>)	23
2.1. Evolução das Redes Celulares	24
2.2. Arquitetura da rede LTE	25
2.2.1. Estações Base Melhorada (<i>Enhanced Base Stations</i>)	26
2.2.2. Núcleo da Rede e Gateway (<i>Core Network e Gateway</i>)	27
2.3. Faixas de Frequências	31
2.4. Tecnologias de Acesso	32
2.4.1. Tecnologia OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>)	32
2.4.2. Tecnologia OFDMA (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access</i>)	34
2.4.2.1. Blocos de Recurso (<i>Resource Blocks</i>)	37
2.4.3. SC-FDMA (<i>Single Carrier-Frequency Division Multiplex Access</i>)	37
2.5. LTE Avançado (<i>LTE Advanced</i>)	39
3. Coexistência entre Tecnologias	41
3.1. Fontes de Interferência	41
3.1.1. Interferências co-canal	41

3.1.2. Interferência inter-canal	42
3.2. Análise de Sinais de Interferência	43
3.2.1. Mecanismos de Interferência	43
3.2.1.1. Cálculo de Emissão Indesejada	44
3.3. Análise de Interferência em OFDMA	49
3.3.1. Cálculo de C/I (<i>Carrier/Interference</i>) em <i>downlink</i>	49
3.3.2. Cálculo de C/I (<i>Carrier/Interference</i>) em <i>uplink</i>	51
3.3.3. Potência de Controle UL (<i>Uplink</i>)	53
3.4. Análise de Coexistência entre as tecnologias (3 ^a Geração e 4 ^a Geração)	53
3.4.1. Estudo de cenários de interferência	54
3.4.1.1. Cenário Simulado	54
3.4.1.2. Cenário geral de uma interferência	54
3.4.2. Forma de análise de Interferência	55
3.4.2.1. Caso1: Configuração de cenário: CDMA ou OFDMA <i>downlink</i> é vitima	56
3.4.2.2. Caso 2: Configuração de cenário: CDMA ou OFDMA <i>uplink</i> é vitima	56
3.4.2.3. Caso3: Configuração de cenário: CDMA ou OFDMA <i>downlink</i> é interferente	57
3.4.2.4. Caso 4: Configuração de cenário: CDMA ou OFDMA <i>uplink</i> é interferente	57
4. Técnica de Monte Carlo	58
4.1. Como funciona o método de Monte Carlo	58
4.2. Gerador de números aleatórios	59
4.3. Modelo de amostragem	59
4.4. As etapas do processo de simulação	60
4.4.1. Construção do modelo de simulação:	60
4.4.2. Verificação e validação do modelo:	60
4.4.3. Desenho de experimentos com a utilização do modelo:	61
4.4.4. Realização dos experimentos e análise dos resultados	61
4.5. SEAMCAT (<i>Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool</i>)	61

5. Resultados	62
5.1. Análise da relação SINR (<i>Sinal to Interference plus Noise Ratio</i>) para usuários coexistindo em sistemas (LTE - LTE)	63
5.1.1. Para um ambiente urbano	63
5.1.2. Para um ambiente suburbano	65
5.1.3. Para um ambiente rural	66
5.1.4. A probabilidade cumulativa CDF (<i>Cumulative Density Function</i>) em função da relação SINR em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 e 2500 coexistindo em sistemas LTE-LTE	68
5.2. Análise de interferências para coexistência (LTE - LTE)	69
5.2.1. Para ambiente urbano	69
5.2.2. Para ambiente suburbano	71
5.2.3. Para ambiente rural	72
5.2.4. A probabilidade cumulativa CDF (<i>Cumulative Density Function</i>) em função da interferência em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 e 2500 coexistindo em sistemas LTE-LTE	74
5.3. Análise da relação SINR (<i>Sinal to Interference plus Noise Ratio</i>) para usuários coexistindo em sistemas (UMTS - LTE)	75
5.3.1. Para ambientes urbanos	75
5.3.2. Para ambientes suburbanos	77
5.3.3. Para ambientes rurais	77
5.3.4. A probabilidade cumulativa CDF (<i>Cumulative Density Function</i>) em função da relação em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 e 2500 coexistindo em sistemas UMTS-LTE	78
5.4. Análise de interferências para coexistência (UMTS - LTE)	80
5.4.1. Para ambientes urbanos	80
5.4.2. Para ambientes suburbanos	81
5.4.3. A probabilidade cumulativa CDF (<i>Cumulative Density Function</i>) em função da interferência em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 e 2500 coexistindo em sistemas UMTS-LTE	82
5.5. Comparação dos valores médios em todos os ambientes nas bandas de 900 e 1900 para CDMA (interferente)-LTE (vitima)	83
5.6. Perda de throughput (<i>throughput loss</i>) em função ACIR (<i>Adjacent Channel</i>	

<i>Interference Ratio)</i>	84
----------------------------	----

6. Conclusões	88
6.1. Estatística do sinal	88
6.2. Função de distribuição cumulativa	89
6.3. ACIR (<i>Adjacent Channel Interference Ratio</i>)	90
6.4. Trabalhos futuros	91

Lista de figuras

Figura 1.1 - Tecnologias evoluindo para LTE em todas as bandas	22
Figura 2.1 - Arquitetura LTE	27
Figura 2.2 - Arquitetura de Core da Rede (<i>Core Network</i> LTE)	28
Figura 2.3 - <i>Handover</i> entre LTE e UMTS	29
Figura 2.4 - Integração de Redes GSM, UMTS e LTE	30
Figura 2.5 - Possibilidades de configuração de largura de banda	32
Figura 2.6 - Disposição das portadoras na modulação FDM e OFDM	32
Figura 2.7 - Configuração de acesso no OFDM	33
Figura 2.8 - Transmissão OFDMA	34
Figura 2.9 - Tecnologia OFDMA	35
Figura 2.10 - Acesso no LTE	36
Figura 2.11 - Transmissão SC-FDMA	38
Figura 2.12 - Transmissão utilizando OFDMA x SC-FDMA	39
Figura 3.1 - Caminhos de Interferência Co-canal	42
Figura 3.2 - Os níveis de sinal utilizado para determinar se existe interferência	43
Figura 3.3 - Interferência devido a emissões indesejadas	44
Figura 3.4 - Integração das emissões indesejadas na banda de recepção da vítima	46
Figura 3.5 - Mecanismo de interferência em modulo OFDMA onde existe interferência interna (<i>Iinter</i>) e interferência externa (<i>Iext</i>)	49
Figura 3.6 - Um cenário típico para uma vítima e um interferente para uma simulação de um ensaio Monte Carlo	54
Figura 3.7 - Cenário Esquematizado	55
Figura 3.8 - Cenário Geral de uma interferência	55
Figura 3.9 - BS (Estação Base): Transmissor Desejado UE (Equipamento do Usuário): Receptor Vítima	56
Figura 3.10 - BS (Estação Base): Receptor Vítima UE (Equipamento do Usuário): Transmissor Desejado	56
Figura 3.11 - BS (Estação Base): Transmissor Interferente	

UE (Equipamento do Usuário): Receptor Desejado	57
Figura 3.12 - BS (Estação Base): Receptor Desejado	
UE (Equipamento do Usuário): Transmissor interferente	57
Figura 5.1 - Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente urbano (LTE - LTE)	63
Figura 5.2 - Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente urbano (LTE - LTE)	64
Figura 5.3 - Relação SINR para usuários na banda de 2500 MHz em ambiente urbano (LTE - LTE)	64
Figura 5.4 - Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente suburbano (LTE - LTE)	65
Figura 5.5 - Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente suburbano (LTE - LTE)	66
Figura 5.6 - Relação SINR para usuários na banda de 2500 MHz em ambiente suburbano (LTE - LTE)	66
Figura 5.7 - Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente rural (LTE - LTE)	67
Figura 5.8 - Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente rural (LTE - LTE)	67
Figura 5.9 - Relação SINR para usuários na banda de 2500 MHz em ambiente rural (LTE - LTE)	68
Figura 5.10 - CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes urbanos	68
Figura 5.11 - CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes suburbanos	69
Figura 5.12 - CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes rurais	69
Figura 5.13 - Análises de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 900 MHz	70
Figura 5.14 - Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 1900 MHz	70
Figura 5.15 - Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 2500 MHz	71

Figura 5.16 - Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 900 MHz	71
Figura 5.17 - Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 1900 MHz	72
Figura 5.18 - Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 2500 MHz	72
Figura 5.19 - Análise de interferência para usuários em ambiente rural na banda de 900 MHz	73
Figura 5.20 - Análise de interferência para usuários em ambiente rural na banda de 1900 MHz	73
Figura 5.21 - Análise de interferência para usuários em ambiente rural na banda de 2500 MHz	74
Figura 5.22 - CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes urbanos	74
Figura 5.23 - CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes suburbanos	75
Figura 5.24 - CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes rurais	75
Figura 5.25 - Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente urbano (LTE(interferente) – GSM (vitima))	76
Figura 5.26 - Relação SINR para usuários na banda 1900 MHz em ambiente urbano (LTE(interferente) - UMTS(vitima))	76
Figura 5.27 - Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente suburbano (LTE(interferente) – GSM (vitima))	77
Figura 5.28 - Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente suburbano (LTE(interferente) - UMTS(vitima))	77
Figura 5.29 - Relação SINR para usuários na banda 900 MHz em ambiente rural (LTE(interferente) - GSM(vitima))	78
Figura 5.30 - Relação SINR para usuários na banda 1900 MHz em ambiente rural (LTE(interferente) – UMTS(vitima))	78
Figura 5.31 - CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 em ambientes Urbanos	79
Figura 5.32 - CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 em ambientes	

Suburbanos	79
Figura 5.33 - CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 em ambientes Rurais	80
Figura 5.34 - Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 900 MHz	80
Figura 5.35 - Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 1900 MHz	81
Figura 5.36 - Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 900 MHz	81
Figura 5.37 - Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 1900 MHz	82
Figura 5.38 - CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 em ambientes urbanos	82
Figura 5.39 - CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 em ambientes suburbanos	83
Figura 5.40 - CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 em ambientes urbanos	83
Figura 5.41 - Perda de <i>throughput</i> em função do ACIR para LTE- UMTS	85
Figura 5.42 - Perda de <i>throughput</i> em função do ACIR para LTE - LTE	85
Figura 5.43 - <i>Throughput</i> bps/Hz em função SINR para <i>downlink</i>	86
Figura 5.44 - <i>Throughput</i> bps/Hz em função SINR para <i>uplink</i>	86
Figura 5.45 - <i>Throughput</i> Kbps por 375 KHz em função da relação SINR para <i>Downlink</i>	87
Figura 5.46 - <i>Throughput</i> Kbps por 375 KHz em função da relação SINR para <i>Uplink</i>	87

Lista de tabelas

Tabela 1.1 - Comparação entre LTE e WiMAX	19
Tabela 2.1 - Frequências definidas pelo 3GPP para o LTE	31
Tabela 2.2 - Blocos de recurso e subportadoras	35
Tabela 2.3 - Parâmetros físicos dos blocos de recursos	37
Tabela 5.1 - Valores médios para SINR e σ_{\max} para UMTS (interferente) - LTE (vítima)	84