



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Allan Douglas Bento da Costa

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DA QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA EM
REDES IEEE 802.16:**

**MECANISMOS AVANÇADOS DE CONTROLE E DESCARTES DE PACOTES DE
STREAMING DE VÍDEO**

29 DE FEVEREIRO DE 2012

Allan Douglas Bento da Costa

AVALIAÇÃO OBJETIVA DA QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA EM REDES IEEE 802.16:

MECANISMOS AVANÇADOS DE CONTROLE E DESCARTES DE PACOTES DE STREAMING DE VÍDEO

Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação pelo programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Área de concentração: Redes de Computadores.

Aprovada em: __/__/2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
Universidade Federal do Pará - UFPA
Orientador

Prof. Dr. Antônio Jorge Gomes Abelém
Universidade Federal do Pará - UFPA
Coordenador GERCOM e PPGCC

Prof. Dr. Augusto José Venâncio Neto
Universidade Federal do Ceará - UFC

Belém - Pará
Mestrado em Ciência da Computação
2012

Este documento foi produzido em \LaTeX , utilizando-se fontes Bookman no texto e Avant Garde nos títulos. Os títulos dos capítulos utilizaram ainda fonte CBGreeK. As capitulares foram feitas utilizando o pacote Lettrine e a fonte Zap Chancery. Para referências, conforme normas da ABNT, foi utilizado o pacote ABNT \LaTeX .

Costa, Allan Douglas Bento da

Avaliação Objetiva da Qualidade de Experiência em Redes IEEE 802.16: Mecanismos Avançados de Controle e Descartes de Pacotes de Streaming de Vídeo / (Allan Douglas Bento da Costa); orientador, Eduardo Coelho Cerqueira. - 2012.

172 f. il. 28 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Belém, 2011.

1. Redes de Computadores. 2. Sistemas de comunicação sem fio – controle de qualidade. 3. Sistemas de comunicação em banda larga. 4. Sistemas multimídia. I. Cerqueira, Eduardo Coelho, orient. II. Título.

CDD-22. ed. 004.6

A auto-satisfação é inimiga do estudo. Se queremos realmente aprender alguma coisa, devemos começar por libertar-nos disso. Em relação a nós próprios, devemos ser "insaciáveis na aprendizagem" e, em relação aos outros, "insaciáveis no ensino".

(Mao Tse-Tung)

*A minha querida mãe, que cuidou de meu cérebro e coração,
e a minha amada esposa que cuida bem de ambos.*

Agradecimentos

Se cheguei até aqui, no final desta importante etapa da minha vida, é porque eu não estive sozinho no período em que realizei meu Mestrado. Neste espaço, quero agradecer a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Primeiramente a Deus, o Grande Maestro e Arquiteto do Universo, que me acompanha em todas as jornadas da minha vida, proporcionando-me saúde, sabedoria, oportunidades e até dificuldades, que me ajudaram a evoluir tanto aspecto pessoal e profissional como no acadêmico.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Cerqueira, pela inspiração, confiança, paciência, ajuda, compreensão, amizade, direcionamentos e por compartilhar seu vasto conhecimento e sua experiência como educador e pesquisador. Com certeza, esse foi um período de grande aprendizagem em minha vida e tive a sorte de aprender com um grande orientador.

À Universidade Federal do Estado do Pará (UFPA), ao Grupo de Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM) pela infraestrutura disponibilizada, aos discentes pelo conhecimento transmitido, em especial a Adalberto Melo pela ajuda nas simulações e à CAPES pelo apoio financeiro.

Aos nobres professores das disciplinas que cursei pelo apoio e inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram à execução e conclusão desta dissertação.

Agradeço aos diversos autores com os quais pude 'dialogar' direta ou indiretamente na produção deste trabalho.

Aos professores da banca por se dedicarem à leitura do mesmo.

Por fim, agradeço e peço humildes desculpas aos amigos e familiares que me tiveram ausente, parcial ou totalmente, em diversos momentos durante a realização deste mestrado.

Resumo

A Distribuição de conteúdos multimídia está em grande expansão nas redes de banda larga fixas, sem fio e móveis. Entretanto, os atuais mecanismos de controle de qualidade em redes banda larga não asseguram a qualidade dos vídeos a serem distribuídos para milhares de usuários. Este trabalho descreve um conjunto de mecanismos de otimização de QoE (Qualidade de Experiência) para redes IEEE 802.16/WiMAX, que otimizam a distribuição de vídeo através da implementação de algoritmos avançados de descarte seletivo de pacotes, levando em consideração a redundância temporal, espacial, complexidade, movimentação, variação de GOP (Grupo de Figuras), BitRate, largura de banda, bem como a experiência percebida pelo usuário final. O impacto dos algoritmos de QoE foram analisados através de simulação, onde métricas objetivas de QoE são usadas para avaliar o desempenho de tais mecanismos em redes WiMAX, de acordo com a percepção dos receptores, bem como para realçar os benefícios das soluções propostas comparadas com modelos tradicionais baseados em QoS (Qualidade de Serviços).

Palavras-Chave: IEEE 802.16/WiMAX, Qualidade de Serviços, Qualidade de Experiência, Mecanismos de Descarte Seletivo de Pacotes. Multimídia

Abstract

The traffic of multimedia content is increasing in fixed broadband networks, wireless and mobile. However, the current quality level control mechanisms implemented by broadband access networks are not enough to assure high quality video distribution for thousands of users. This work describes a set of QoE (Quality of Experience) algorithms for IEEE 802.16/WiMAX networks, where they optimize the distribution of video content by implementing advanced packet dropper mechanisms based on temporal and spatial redundancy, complexity and motion levels, GoP (Group of Pictures) size, bitrate, available bandwidth, as well as the user perception. The impact of the algorithms on QoE was carried out by using simulation experiments, where objective QoE metrics were used to evaluate the performance of these mechanisms in WiMAX networks according to the user experience, including a comparison with traditional schemes only based in QoS (Quality of Service).

Keywords: IEEE 802.16/WiMAX, Quality Service, Quality of Experience, Mechanisms of Selective Packet Discard. multimedia

Sumário

Capa	i
Sumário	xvi
Lista de Figuras	xix
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Acrônimos	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação	4
1.3 Justificativa	4
1.3.1 Objetivo Geral	5
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Organização e Estrutura do Texto	6
1.5 Publicações Realizadas pelo Autor	7
1.5.1 Capítulo de Livro	7
1.5.2 Artigos completos publicados em periódicos e congressos	7
1.6 Conclusão	8
2 Introdução à Tecnologia WiMAX	9
2.1 Histórico	9
2.2 IEEE 802.16 - Camadas MAC e Camada Física	13
2.2.1 IEEE 802.16 - Detalhamento das Camadas MAC	14
2.2.2 IEEE 802.16 - Detalhamento da Camadas PHY	16
2.3 Qualidade de Serviços - QoS	18
2.4 Visão Geral sobre QoS e QoE em redes WiMAX	21

2.5	Classes de QoS em Redes WiMAX.	23
2.5.1	Correlação entre QoS e QoE em Redes WiMAX	25
2.5.2	Abordagem sobre a Teoria do Tráfego Multimídia da Rede WiMAX	27
2.5.3	Tráfego de Entrada	28
2.6	Conclusão	29
3	Codificação de Vídeo em sistemas MPEG	31
3.1	Introdução	31
3.2	Codificação de Conteúdo Multimídia	32
3.3	Premissas sobre a Codificação de Vídeo	33
3.4	Aplicação dos Algoritmos no Sistema MPEG	35
3.4.1	Transformada Coseno Discreta	35
3.4.2	Quantização dos Coeficientes	37
3.4.3	A Codificação RLE, Codificação VLC e a Varredura ZIG-ZAP	38
3.4.4	Taxa de Transmissão Controlada pelo Canal	38
3.4.5	Predição Interframe: Redução da Redundância Temporal .	39
3.4.6	Compensação de Movimento: Predição Interframe	40
3.4.7	Modelos de Predição	42
3.4.8	Tipos de imagens	43
3.4.9	Imagem Intra (Tipo I)	44
3.4.10	Imagem Preditiva (Tipo P)	44
3.4.11	Imagem do bidirecionamento Preditiva (Tipo B)	44
3.4.12	Grupo de imagens (Group of Pictures – GOP)	45
3.5	Padrão MPEG e os Níveis de Perfis Operacionais	46
3.6	Conclusão	47
4	Trabalhos Relacionados	49
4.1	Enquadramento Teórico	49
4.2	Abordagem sobre as Redes WiMAX	50
4.3	Conteúdo Multimídia em Redes WiMAX	53
4.4	Propostas de soluções WiMAX com suporte a QoE	54
4.5	Conclusão	58
5	Métricas de Avaliação de Qualidade	59
5.1	Métricas de Avaliação	59
5.2	Métricas de Qualidade de Serviço - QoS	59
5.2.1	Perda (<i>Loss</i>)	60
5.2.2	Atraso (<i>Delay</i>)	60
5.2.3	Variação do atraso (<i>Jitter</i>)	61

5.3	Métricas de Qualidade de Experiência - QoE	62
5.3.1	MOS - Mean Opinion Score	63
5.3.2	PSNR - Peak Signal-to-Noise Ratio	63
5.3.3	SSIM - Structural SIMilarity Index	66
5.3.3.1	Componente SSIM	68
5.3.3.2	Métrica SSIM - Multi Escala	70
5.3.4	Spatio-Temporal video SSIM (stVSSIM)	72
5.3.5	Video Quality Metric - VQM	73
5.4	Conclusão	75
6	Mecanismos Propostos para Descarte Inteligente de Pacotes com Base em QoE em Redes WiMAX	77
6.1	Introdução	77
6.2	Mecanismo Avançado APD-FP	78
6.2.1	Algoritmo de descarte por prioridade HIPB (Menor tamanho de quadro e pacote)	78
6.3	Mecanismo Avançado APD-P	79
6.3.1	Algoritmo de descarte por prioridade HIPB (Menor tamanho de pacote)	79
6.4	Mecanismo Avançado ADP	80
6.4.1	Algoritmo de descarte por prioridade HIPB e ordem de chegada	80
6.5	Mecanismo Avançado ADDQ	81
6.5.1	Algoritmo de descarte por dependência quebrada (Quando fila estiver cheia)	81
6.6	Mecanismo Avançado ADDQI	83
6.6.1	Algoritmo de descarte por dependência quebrada independente do estado da fila	83
6.7	Mecanismo Avançado ACPQD	85
6.7.1	Algoritmo de controle de pacotes por quantidade de dependências	85
6.8	Mecanismo Avançado AMC-QoS	86
6.8.1	Algoritmo Mapeados para Classes de QoS	86
6.9	Conclusão	87
7	Análise Comparativa dos Mecanismos Propostos	89
7.1	Cenário de Simulação	90
7.2	Ferramentas de Simulação	91
7.3	Extração de Informação nas Simulações	91
7.4	Comparação entre os Mecanismos de Descarte de Pacotes	94

7.5 Conclusão	102
8 Conclusões	103
8.1 Perspectivas de Trabalhos Futuros	104
Referências Bibliográficas	115
A Apendices	117
A.1 Codigos de Simulação no Network Simulation-2 [TCL]	117
A.2 Codigo para Reconstrução-Decodificação de Videos [bat]	129
A.3 Registros da Simulação	130
B Anexos	131
B.1 Publicações Realizado pela Autor	131
B.1.1 Capitulo de Livro	131
B.1.2 Anais publicados em conferência	155
B.1.3 Artigos Completos Publicados em Periódicos	164

Lista de Figuras

1.1	Evolução do número de usuários utilizando tráfego multimídia, incluindo a Internet móvel.	2
2.1	Evolução do Padrão IEEE 802.16	12
2.2	Âmbito da norma IEEE.80216: PLANO DE DADOS/CONTROLE	13
2.3	Pilhas de Protocolos	15
2.4	Classificação e mapeamento de CID (BS para SS)	16
2.5	Qualidade de Serviço (QoS) aplicado ao Padrão IEEE 802.16	20
2.6	Diagrama de Transição de Fluxo	21
2.7	Visão Geral da Arquitetura Fixa.	22
2.8	Diagrama da Camada MAC - 802.16 (Simplificada)	25
2.9	Ilustração de QoS e QoE na rede.	27
2.10	O modelo triângulo teletráfego aplicado a um BS e para todo o sistema	29
3.1	Elementos no processo de codificação de áudio e vídeo	32
3.2	Formato de Sub-Amostragem	34
3.3	Obtenção de um bloco de 8x8 pixels	36
3.4	Pares de Transformadas DCT 8x8 em frequência Direta e Inversas	36
3.5	Varredura de Blocos para Codificação RLE e VLC	38
3.6	Codificador por DCT	39
3.7	Codificador por DCT	40
3.8	Codificador por DCT com predição de interframe	41
3.9	Predição interframe com compensação de movimento.	42
3.10	Processo de busca block matching.	42
3.11	Predição bidirecional com compensação de movimento.	43
3.12	Codificador por DCT com predição interframe e compensação de movimento.	44

3.13	Decodificador de um macrobloco "B".	45
3.14	GOP em sistema de imagens MPEG.	45
3.15	Exemplo de GOP com N=9 e M=3	46
4.1	Aplicação Multimédia em redes WiMAX.	51
5.1	Ilustração de QoS e QoE na rede.	62
5.2	Resultado do processamento do vídeo enviado e recebido para a métrica PSNR	66
5.3	Sistema de Medição de Similaridade Estrutural	67
5.4	Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica SSIM	70
5.5	Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica MSSIM	72
5.6	Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica stVSSIM.	73
5.7	Resultado do processamento do Video enviado e recebido para a métrica VQM.	75
6.1	Prioridade de Descarte (Menor Tamanho	78
6.2	Prioridade de Descarte (Menor Informação	79
6.3	Estrutura MPEG	81
6.4	Fluxograma de Funcionamento do Algoritmo de Descarte por Prioridade	81
6.5	Estrutura MPEG por Descarte	83
6.6	Fluxograma do Mecanismo IV	83
6.7	Fluxograma do Mecanismo IV	84
6.8	Estrutura MPEG com quadro perdido	84
6.9	Fluxograma de Funcionamento do Algoritmo de Descarte por Dependência Quebrada	86
7.1	Típico cenário WiMAX	90
7.2	Redes WiMAX.	92
7.3	Diagrama Funcional do mp4aval	92
7.4	Gráfico PSNR (dB) do GOP 10.	94
7.5	Gráfico PSNR (dB) do GOP 15.	95
7.6	Gráfico PSNR (dB) do GOP 18.	96
7.7	Gráfico SSIM do GOP 10.	96
7.8	Gráfico SSIM do GOP 15.	97
7.9	Gráfico SSIM do GOP 18.	98
7.10	Gráfico VQM do GOP 10.	98

7.11 Gráfico VQM do GOP 15.	99
7.12 Gráfico VQM do GOP 18.	99
7.13 Gráfico stVSSIM do GOP 10.	100
7.14 Gráfico stVSSIM do GOP 15.	101
7.15 Gráfico stVSSIM do GOP 18.	101
A.1 Simulação no NS2 I	130
A.2 Simulação no NS2 II	130

Lista de Tabelas

2.1	Parâmetros ativos em redes WiMAX	10
2.2	Fatores que Influenciam a Alocação de Recursos	19
2.3	Serviços de escalonamento e regras de utilização.	23
2.4	Tipos de QoS utilizados pelo WiMAX e seus serviços.	24
3.1	Resolução Espacial da Imagem - Pixels/Linha x Linha	35
3.2	Resolução Espacial da Imagem - Pixels/Linha x Linha	35
5.1	Calculo do Jitter	61
5.2	Valores de Mean Opinion Score	63
5.3	Cálculo médio de PSNR entre “PSNR” e “PSNR (256)”	65
5.4	Mapeamento de PSNR para MOS	66
6.1	Algoritmo de Descarte por Prioridade	82
6.2	Algoritmo de Descarte por Quebra	85
6.3	Mapeamento de Fluxos de quadros para Classes de QoS	86
7.1	Parâmetros da Simulação	90
7.2	Vídeo Avaliado	91

Lista de Acrônimos

AC	Access Class
ASN	Access Service Network
BS	Base Station
CI	CRC Indicator
CoS	Classes of Services
CID	Connection Identifier
CODEC	Coder-Decoder
CoS	Classes of Services
CRC	Cyclic Redundancy Check
CPS	Common Part Sublayer
CS	Service-Specific Convergence Sublayer
CSN	Connectivity Service Network
DPI	Deep Packet Inspection
DSCP	Differentiated Services Code Point
EC	Encryption Control
EKS	Encryption Key Sequence
ertPS	extended real time Polling Service
ESF	Extended Subheader Field
FTP	File Transfer Protocol
HCF	Hybrid Coordination Function
HCS	Header Check Sequence
HT	Header Type
HVS	Human Visual System
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ISP	Internet service provider

ITS	Institute for Telecommunication Science
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
LEN	Length
MAC	Medium Access Control
MN	Mobile Node
MOS	Mean Opinion Score
MPEG	Moving Picture Experts Group
MSE	Mean Squared Error
NGN	Next Generation Networks
NS2	Network Simulator 2
nrtPS	non-real-time Polling Service
OFDM	Orthogonal-Frequency Division Multiplexing
PAD	Proportional Average Delay
PDU	Payload Data Unit
PMP	Point – to – Point
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comments
RTP	Real Time Protocol
rtPS	real-time Polling Service
RTSP	Real Time Streaming Protocol
SLA	Service Level Agreement
SS	Subscriber Station
SSIM	Structural Similarity Index
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
TEK	Traffic Encryption Key
UGS	Unsolicited Grant Service
VBR	Variable Bit Rate
VQM	Video Quality Metric
VoIP	Voice over IP
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network

Introdução

Penso que o sentido da vida é o conhecimento que, desse modo, é limitado pela amplitude da pergunta, e é, ao mesmo tempo, limitado e útil pelo alcance de nossa capacidade de resposta.

Carlos Vogt

1.1 Contextualização

ATUALMENTE, tem-se assistido a grandes avanços no uso de redes sem fio, juntamente com a demanda de aplicações multimídias (voz e vídeo) com elevadas taxas de transmissão em grandes distâncias e de forma ubíqua, tanto em redes de banda larga, fixas e móveis. Isso fomentou o surgimento e crescimento de pesquisas nas áreas de Computação Multimídia/Hipermídia e Qualidade de Experiência (QoE - Quality of Experience).

Os usuários da Internet não só esperam a disponibilidade de novos serviços e aplicações, mas também, que a qualidade do nível do serviço seja assegurada. Os dispositivos onde os dados são recebidos e visualizados influenciam significativamente no impacto dos conteúdos multimídias entregues pela rede, por exemplo, a qualidade e tamanho das telas define qual *codec*¹, formato e *Bit-Rate*² serão usados nos dispositivos que proporcionam a melhor

¹Programas que codificam e decodificam arquivos de mídia, favorecendo compactação para armazenagem e descompactação para visualização.

²bit rate representa a quantidade de informação ou detalhe que está guardada por unidade de tempo numa gravação digital (áudio ou vídeo)

experiência possível ao usuário.

O investimento das indústrias de tecnologia vem se superando a cada ano e as operadoras estão sendo obrigadas a fornecer serviços com elevada taxa de transmissão e qualidade para um número cada vez maior de usuários. Esse fator contribui para a necessidade de transferências mais eficazes de dados nas redes sem fio, em especial. Dentre as tecnologia sem fio, WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)/IEEE 802.16 se destaca como forma de prover conectividade e largura de banda para grandes números de usuários com longo alcance. Entretanto, novos estudos ainda precisam ser desenvolvidos para melhorar a distribuição de conteúdo multimídia em redes WiMAX.

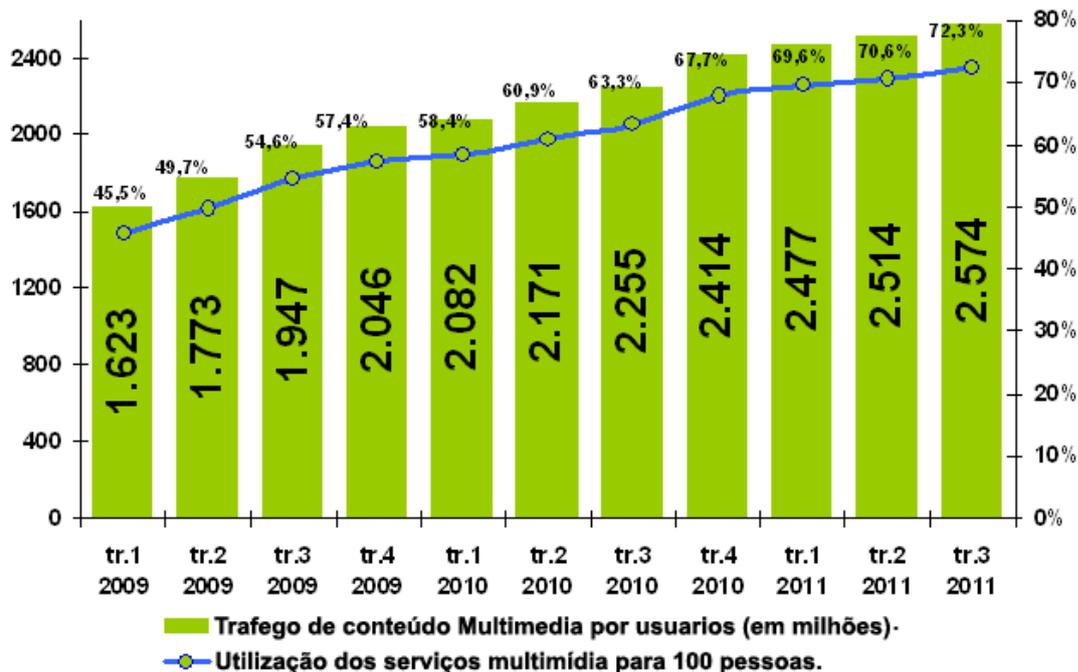


Figura 1.1: Evolução do número de usuários utilizando tráfego multimídia, incluindo a Internet móvel.

As aplicações multimídias estão cada vez mais exigentes, fato esse que resulta em inúmeras aplicações em IPTV³, Games em tempo real, VoIP, Vídeos Conferência, Telemedicina e outros. Esse crescimento exponencial de tráfego multimídia⁴ [MEMSIC 2011] pode ser visto na Figura 1.1.

³O IPTV ou TVIP é um novo método de transmissão de sinais televisivos

⁴Extraído do National Regulatory Agency for Electronic Communications and Information Technology (ANRCETI), Evolução do mercado: transporte de dados e do setor de acesso à Internet

Visando resolver as limitações dos tradicionais mecanismos de controle de qualidade e desempenho de rede, referindo-se precisamente à percepção humana e aspectos subjetivos e objetivos relacionados a conteúdos multimídias, novas abordagens estão sendo pesquisadas sobre métricas de QoE (Qualidade de Experiência) que permitem indicar como o comportamento da rede (e conteúdos) influencia na percepção do usuário final.

Em uma visão mais restrita, a QoE está, portanto, ligada ao Sistema Visual Humano - (SVH), que transforma a visualização da luz (codifica) em um sinal (neuronal) dos nervos óticos, que transportam esse sinal, e do cérebro, que processa os sinais neuronais e extrai (decodifica) as informações necessárias processadas. Esses estudos são motivados pelos resultados das iniciativas em estudos em Redundância psicovisual: Essa forma de remoção de redundância resulta do princípio de funcionamento do olho e do cérebro humano através de subamostragem da crominância. Tanto os limites de definição fina de detalhes que o olho pode resolver (limites de resolução espacial), quanto os limites na habilidade de acompanhar imagens que se movem rapidamente (limites de resolução temporal) são utilizados como limiares para que seja descartado aquele subconjunto do fluxo de informações de vídeo que ultrapassa esses limites. Visto que o (SVH) não é capaz de perceber esse tipo de informação, não há razão para que ela seja transmitida, resultando, assim, em compressão.

Em uma visão mais ampla, QoE é o estudo da aplicação de modelos, inteligência artificial, algoritmos e técnicas computacionais e matemáticas para a geração, análise e gerenciamento de informações computacionais, usando, para isso, além da Computação, Matemática/Estatística e Ciência da Computação, conhecimentos em Técnicas de Compactação e Compressão, Imagem Estática, Áudio/Vídeo, Sistemas Multimídia e Hipermídia, Linguagens de autoria multimídia, Protocolos de Streaming, Aplicações Multimídia Distribuídas, Infraestrutura de Redes para Aplicações Multimídia Distribuídas e outros. Nesse sentido, mais que uma ciência interdisciplinar, a QoE é interdisciplinar, no sentido em que perpassa por várias áreas do conhecimento científico, indo muito além da mera aplicação de uma área em outra.

1.2 Motivação

A PROLIFERAÇÃO demasiada de banda larga sem fio, juntamente com a demanda por aplicações multimídia, está criando uma nova era digital com conteúdos multimídia nas redes sem fio. Neste cenário, o requisito fundamental é a entrega de conteúdo multimídia com Qualidade de Serviço (QoS) e QoE com suporte para milhares de usuários (e redes de acesso) em banda larga, nos sistemas sem fio da próxima geração.

Os mecanismos de controle de pacote associados às classes de serviço WiMAX são ineficientes para o tratamento de dados multimídia, pois operam sem levar em consideração o tipo de conteúdo que será tratado/descartado nas filas em períodos de congestionamento. O descarte aleatório, como é realizado por soluções somente baseadas em QoS, tende a diminuir a qualidade do vídeo recebido pelo usuário, pois pacotes mais importantes, do ponto de vista do receptor, podem ser eliminados, enquanto outros, menos prioritários, entregues ao destino final. Além disso, os recursos de rede são consumidos para a entrega de pacotes que serão descartados pelos usuários, pois chegaram com dependência quebrada ou fora de ordem.

A motivação deste trabalho é estudar e definir novos mecanismos para controle de pacotes de vídeo em redes WiMAX, para minimizar os problemas acima citados. Em períodos de congestionamento, mecanismos inteligentes de descarte de pacotes em redes serão acionados para descartar pacotes, de acordo com seu impacto sobre a percepção do usuário. Os resultados das simulações mostram que as soluções propostas reduzem o impacto do conteúdo multimídia sobre a experiência do usuário e otimizam os recursos de rede sem fio em períodos de congestionamento. Os benefícios dos mecanismos propostos foram simulados e avaliados em um ambiente WiMAX com suporte a QoS/QoE, usando métricas subjetivas para 10 tipos de vídeos, levando em consideração variação do GOP (10, 15 e 18), movimentação, complexidade e 59 métricas objetivas de QoE (MSU Tools).

1.3 Justificativa

NESTE trabalho são apresentados mecanismos inteligentes de descarte seletivo de pacote, no sentido de melhorar a QoE do utilizador final

numa transmissão multimídia, através de uma rede WiMAX. Os mecanismos apresentados assumem uma grande importância para empresas na área de telecomunicações, uma vez que têm como objetivo aumentar a satisfação dos clientes, otimizando a utilização de recursos da rede.

Esta investigação ainda possui destaque maior devido às melhorias que se propõe a fazer na qualidade do vídeo, considerando parâmetros de codificação de fluxos de vídeo, parâmetros de QoS e parâmetros de QoE.

O descarte de um pacote contendo um quadro específico tem influência direta na degradação da QoE do vídeo. Na codificação MPEG-4, os quadros são classificados em tipos *H*, *I*, *P* e *B*. Os quadros de tipo *B* e *P* são reconstruídos com base nos quadros de tipo *I* ou *H*. Se ocorre descarte em quadros do tipo *I* ou *H*, conseqüentemente, ocorrerá uma degradação nos quadros que dependem deles para serem reconstruídos. Portanto, não é interessante para a garantia da QoE que pacotes contendo quadros *I* ou *H* sejam descartados.

Existem mecanismos que consideram também o tamanho do pacote e o tamanho do quadro, além da importância dos tipos de quadro para eleger qual pacote será descartado. Tais mecanismos entendem que pacotes contendo quadros do mesmo tipo, com tamanho maior, têm mais informação e, se descartados, degradarão mais a QoE do vídeo.

Em fluxos de vídeo com maior movimentação, mecanismos de descarte de pacotes orientados à dependência têm um rendimento menor na garantia da QoE do vídeo. Portanto, mecanismos orientados ao contexto e auto ajustáveis, que considerem parâmetros de rede, de codificação do vídeo e de QoS/QoE, e possibilitem alterar o mecanismo de descarte de pacote com base na Ontologia QoE são necessários.

1.3.1 Objetivo Geral

O PRESENTE estudo teve como foco principal aplicar, avaliar e garantir o provisionamento da qualidade percebida por usuários de aplicações de vídeo, através de simulação e avaliações objetivas sobre o impacto de técnicas de descarte de pacotes em redes WiMAX/IEEE 802.16, adicionando à rede mecanismos sensíveis ao contexto e auto ajustáveis às características dos fluxos de vídeo.

1.3.2 Objetivos Específicos

PARA o objetivo principal desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Realizar um levantamento do estado da arte, aprofundar e sistematizar conhecimentos acerca de redes sem fio, mais precisamente em redes WiMAX. Após investigar o comportamento dos mecanismos de diferenciação de tráfego, classes de serviços de QoS e condicionadores de pacotes, são analisados algoritmos de descarte de pacotes, com diversas métricas de QoE, onde são levados em consideração características do vídeo com redundância temporal, espacial, complexidade, movimentação, variação de GOP, congestionamento e BitRate, buscando reconhecer os principais avanços e resultados da investigação. São identificadas temáticas e abordagens dominantes e emergentes, bem como lacunas e campos inexplorados abertos à pesquisa futura, atualizando as indicações do conjunto de estudos que compuseram um estado da arte em tais tecnologias.
2. Realizar um levantamento do estado da arte de QoS e QoE no contexto das redes WiMAX, acerca dos mecanismos de descarte de pacotes existentes e propor novos algoritmos;
3. Realizar um estudo sobre Codificação de Sinais, Codec e estrutura H.264/MPEG-4 contexto em redes WiMAX;
4. Desenvolver métodos e algoritmos de controle de pacotes, bem como implementar e aperfeiçoar módulos para descarte de pacotes a serem utilizados em avaliação de QoE em redes WiMAX;
5. Disponibilizar framework para se obter descarte seletivo de pacotes, usando classes de QoS e métricas de QoE em redes WiMAX;
6. Avaliar a contribuição da proposta em relação às outras encontradas na literatura.

1.4 Organização e Estrutura do Texto

ESTA dissertação está organizada como segue. No Capítulo 2, é apresentada uma visão geral sobre os principais padrões para redes sem fio metropolitanas, no padrão IEEE 802.16, comentando o uso para serviços que envolvem suas classes de serviços, comunicação de dados, voz e vídeo. No

Capítulo 3, é estudada a codificação de vídeo em sistemas MPEG na padronização e sincronização digital de sinais de áudio e vídeo. No Capítulo 4, é abordado o enquadramento teórico e o estado da arte sobre os trabalhos relacionados em redes IEEE 802.16 e sua transmissão de conteúdo multimídia, assim como as métricas de avaliação de QoE e as avaliações objetivas e subjetivas. O Capítulo 5 aborda as métricas de avaliação da qualidade, destacando as métricas mais relevantes de QoE e QoS citados na literatura, apontando alguns trabalhos relacionados, de forma a comparar o desempenho através de simulações. No Capítulo 6 são explicados todos os mecanismos inteligentes de QoE para Redes WiMAX. O Capítulo 7 explora toda a parte da simulação, validação, avaliação e os resultados da proposta são detalhados, assim como os cenários pesquisados, as métricas usadas para a avaliação das técnicas e algoritmos através do uso do software NS-2, as simulações realizadas e os resultados obtidos. Por fim, a conclusão onde foram focadas as principais contribuições da dissertação e os trabalhos futuros.

1.5 Publicações Realizadas pelo Autor

1.5.1 Capítulo de Livro

1. Recent Advances and Challenges in Wireless QoE-aware Multimedia Streaming Systems.
OLIVEIRA, R. S. ; Allan Douglas Costa; Eduardo Cerqueira ; ABELÉM, A. J. G ; AGUIAR, E. S. ; BEZERRA, P. H. G. ; FRANCÊS, C. R. L. ; COSTA. J. C. W. A ; Santana. Á. L. In: Multimedia Services and Streaming for Mobile Devices: Challenges and Innovations. Croácia: INTECH, 2011, v. , p. 1-26.

1.5.2 Artigos completos publicados em periódicos e congressos

1. QoE-based Packet Dropper Controllers for Multimedia Streaming in WiMAX Networks.
Allan Douglas Costa ; Eduardo Cerqueira ; QUADROS, C. J. Adalberto Melo LANC2011, 6th IFIP/ACM - Latin America Networking Conference, 2011.
2. Control of QoE based on Algorithms for the Disposal of Packets concerned with Streaming Video in Wireless Networks. Allan Douglas Costa ; Eduardo Cerqueira ; QUADROS, C. J. ; MELO, A. ; BEZERRA, P. H. G. ;

ABELÉM, A. J. G . International journal of computer science and network security, v. Vol.12, p. 58-65, 2012.

3. Adaptive Call Admission Control in Long Term Evolution System Based on Fuzzy Logic. Allan Douglas Costa ; Ananias Pereira Neto ; ABELÉM, A. J. G ; Augusto Neto ; Eduardo Cerqueira Workshop on Broadband Access Networks, v. 12, p. 50-64, 2012.

1.6 Conclusão

ESTE capítulo apresentou uma breve abordagem acerca da proposta em questão, onde buscou tratar de forma objetiva a investigação das tecnologias envolvidas no experimento, assim como as técnicas e algoritmos propostos e avaliados, juntamente com as métricas de QoS e as avaliações objetivas. Assim, este capítulo ficou organizado da seguinte forma: A Contextualização buscou intercalar a proposta em forma de uma visão contemporânea, seguidamente, foi abordada a Motivação que impulsionou a investigação de todo o trabalho, posteriormente, a Justificativa da mesma. Os Objetivos Gerais e Específicos foram apresentados. Finalmente, foram expostas a Organização e Estrutura do Texto dos capítulos seguintes e as Publicações realizadas no âmbito deste trabalho.

Introdução à Tecnologia WiMAX

Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto.

Albert Einstein

APÓS anos de discussões, o consórcio Fórum WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) começou a certificar produtos de banda larga sem fio, em conformidade (interoperabilidade) com normas definidas pela academia e indústria. O sistema WiMAX baseia-se em redes em área metropolitana sem fio (WMAN) com tecnologia sem fio IEEE 802.16, adotada pelo IEEE e grupo ETSI HIPERMAN¹.

2.1 Histórico

OGRUPO IEEE 802.16 formou-se em 1993 para desenvolver um padrão de interface aérea para banda larga sem fio. O foco inicial do grupo foi o desenvolvimento de funcionalidades que permitissem suporte à operação sem linha de visada (NLOS - *Non-Line Of Sight*)² operando em um sistema sem fio em operação na banda de onda de 10GHz–66GHz. O padrão resultante 802.16 original foi concluído em dezembro de 2001 e baseou-se na

¹www.etsi.org

²O termo NLOS representa uma transmissão cujo caminho entre Tx e Rx não está em visada. Isto significa que há objetos obstruindo a comunicação.

camada física (PHY) da portadora, com um tempo de rajada por divisão multiplexado da camada de acesso ao meio MAC (*TDM - Time Division Multiplexed*)³.

Muitos dos conceitos relacionados à camada MAC foram adaptados para as redes sem fio do padrão popular de cabo modem DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*)⁴.

O grupo IEEE 802.16, posteriormente, produziu o padrão IEEE 802.16a, uma alteração à norma, para incluir aplicativos *NLOS* na banda 2GHz–11GHz, usando a divisão de frequência ortogonal de multiplexação OFDM - (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), com base em camada física. Adições à camada MAC, tais como suporte OFDMA - (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), também foram incluídas. Novas revisões resultaram, no ano de 2004, em um novo padrão, chamado IEEE 802.16-2004, que substituiu todas as versões anteriores e serviu de base para a primeira solução de WiMAX.

Tabela 2.1: Parâmetros ativos em redes WiMAX

Faixas de Frequência	2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz
Mútiplos Acessos	TDMA / OFDMA
Duplex	TDD
Escalonável	SIM
Largura de Banda	5, 7, 8.75, 10 MHz
FFT (Fast Fourier Transform)	Tamanho - 512, 1024
Bit Rate Máximo	75 Mbps sobre 10 MHz - 2x2 MIMO
Aplicação	Acesso Fixo e Nômade
Modulação Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM
Modulação Uplink	QPSK, 16QAM
Codificação de Canal Downlink	Convolutacional + Reed-Solomon
Codificação de Canal Uplink	Convolutacional
Retransmissão	Opcionais: ARQ, Híbrido ARQ
Espaçamento da subportadora	10.94 kHz
Tempo do Símbolo	102.9 μ S - (91.4 μ S + 11.5 μ S)
Tempo de Guarda do Overhead	12.5 %
Tempo do Quadro (Frame)	5 mS
Bit Rate TDD 1:1-2x2 MIMO	32 Mbps (dwnlnk) e 4 Mbps (uplnk)
Modo Switching	IP/Comutação de Pacotes (Fim-a-Fim)
Modo Uplink	OFDM/OFDMA

³O TDM é uma técnica para transmissão de várias mensagens por um único meio, e consiste na divisão do tempo em canais apropriados.

⁴DOCSI) é um padrão utilizado em telecomunicações por cabo, especialmente para prover acesso à internet.

Em dezembro de 2005, o grupo do IEEE concluiu e aprovou o IEEE 802.16e-2005, uma alteração para o padrão IEEE 802.16-2004, que adicionou suporte à mobilidade. O IEEE 802.16e-2005 constitui a base da solução de WiMAX para aplicações móveis e nômades e é, muitas vezes referido como WiMAX móvel [Porter et al. 2007].

Observe que esses padrões oferecem uma variedade de opções de projeto fundamentalmente diferente. Por exemplo, existem várias opções de camada física: uma base transportadora única, a camada física chamada Wireless-MAN-SCa; uma camada física baseada em OFDM chamada WirelessMAN-OFDM; e uma camada física baseada em OFDMA denominada Wireless-OFDMA. Da mesma forma, existem várias opções para a arquitetura do MAC, duplex, banda de frequência de operação, etc. Essas normas foram desenvolvidas para atender uma variedade de aplicações e cenários de implantação e, portanto, oferecer uma infinidade de opções de *design* para desenvolvedores de sistema. Na verdade, pode-se dizer que o IEEE 802.16 é um conjunto de normas, não um único padrão interoperável.

O Fórum do WiMAX faz isso definindo um número limitado de perfis do sistema e perfis de certificação. Um perfil de sistema define o subconjunto dos recursos obrigatório e opcional à camada MAC e a camada física, selecionado pelo Fórum WiMAX do padrão IEEE 802.16-2004 ou IEEE 802.16 e-2005. Note-se que a condição obrigatório e opcional de um recurso, específico dentro de um perfil do sistema WiMAX, pode ser diferente do que é o padrão original do IEEE. Atualmente, o Fórum WiMAX tem dois perfis de sistema diferentes: baseado no IEEE 802.16-2004, *PHY OFDM*, chamado o perfil de sistema fixo e um outro baseado no IEEE 802.16e-2005 escalável, o *OFDMA PHY*, chamado o perfil do sistema de mobilidade. Um perfil de certificação é definido como uma instanciação específica de um perfil de sistema onde a frequência de operação, largura de banda do canal e modo duplex também são especificados. Os parâmetros de WiMAX são certificados por meio de interoperabilidade contra um perfil de certificação particular.

O Fórum WiMAX definiu até cinco perfis de certificação fixa e catorze perfis de certificação de mobilidade. Até a atualidade, existem dois perfis de WiMAX fixos contra os parâmetros que foram certificados. Estes são sistemas de 3,5 GHz que operam através de um canal de 3,5 MHz, usando o perfil do sistema fixo baseado na Camada Física do IEEE 802.16-2004, OFDM com a Camada

MAC de ponto-a-multiponto. Um dos perfis usa FDD ⁵ (*Frequency Division Duplexing*), e o outro usa duplexação de divisão de tempo (*TDD- Time Division Duplexing*)⁶.

Padrão	Emenda/Release	Ano	FUNCIONALIDADES
IEEE 802.16	Release	2001	WMAN para oferecer BWA a usuários fixos (alternativa ao ADSL) Serviço do tipo PMP Serviço MAC orientado a conexão com QoS Operação LOS na faixa 10 a 66 GHz e Single Carrier (SC)
IEEE 802.16a	Emenda	2003	Suporte a NLOS Frequências de 2 a 11 GHz
IEEE 802.16	Release	2004	Nível físico com OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplex) Nível físico com OFDMA (OFD Multiple Access)
IEEE 802.16e	Release	2005	Operação fixa e móvel em bandas licenciadas Handover melhorado Economia de bateria em modo idle Engloba as características anteriores e adiciona suporte à mobilidade
IEEE 802.16f	Emenda	dez/05	Management Information Base (MIB)
IEEE 802.16g	Amend.	dez/07	Definição do plano de gerenciamento e controle
IEEE 802.16m	Sistema Novo	Início 2007	Atender os requisitos exigentes do IMT-Advanced (ITU-R) Atende ambientes como Indoor Microcelular, Urban e High Speed Engloba o Amendment 802.16j (relaying) Trabalha 3 Docum.: SRD (syst requ), SDD (syst descr) e EMD (eval metod)
IEEE 802.16m	Release	Início 2007	Atender os requisitos exigentes do IMT-Advanced (ITU-R) Atende ambientes como Indoor Microcelular, Urban e High Speed Engloba o Amendment 802.16j (relaying) Trabalha 3 Docum.: SRD (syst requ), SDD (syst descr) e EMD (eval metod)
IEEE 802.16hj	Release	2009	Refinamento dos procedimentos MAC PHY para melhoria de mobilidade Operação semiduplex terminal móvel em OFDMA em FDD Balanceamento de carga e compressão robusta de cabeçalho (ROHC) Mecanismos melhorados de alocação de recursos Limpeza de alguns itens não usados dos amendments anteriores. Ex.: Mesh Engloba o IEEE 802.16e, adiciona questões de gerenciamento (IEEE 802.16f - MIB, IEEE 802.16g - procedimentos e IEEE 802.16i - gerência de mobilidade) Emenda que adiciona funcionalidades de multihop relay (Mesh) Melhorias no mecanismo de coexistência entre redes que operam em frequências não licenciadas.
IEEE 802.16m	Release	2010	Aumento nas taxas de transmissão teóricas: 100 Mbit/s para estações móveis 1 Gbit/s para estações fixas/nomádicas

Figura 2.1: Evolução do Padrão IEEE 802.16

Pela que se propõe o presente capítulo, vamos concentrar exclusivamente em WiMAX e, portanto, discutir apenas aspectos da família do padrão IEEE 802.16, que podem ser relevantes para certificação de WiMAX atual e futura. Note-se que as especificações de normas do padrão IEEE 802.16e-2004 e IEEE 802.16-2005 limitam-se a aspectos de plano de controle e dados da

⁵O padrão FDD utiliza duas bandas separadas de frequência, permitindo ao terminal móvel transmitir em uma frequência e receber em outra. A frequência na qual a estação-base transmite é chamada de link direto (downlink). Já a utilizada pelo terminal móvel é conhecida por link reverso (uplink). Os pares costumam ser iguais em tamanho, ou seja, normalmente há simetria.

⁶No TDD, utiliza-se a mesma faixa de frequência para transmissão e recepção. Porém, como o próprio nome diz, em tempos distintos. A grande vantagem desse padrão é a possibilidade de alocar dinamicamente largura de banda entre o link reverso e o link direto. Isto implica na possibilidade de links de dados assimétricos. O Bluetooth é um exemplo de tecnologia que utiliza o TDD.

interface sem fio. Alguns aspectos do gerenciamento de rede são definidos no IEEE 802.16g. Para um sistema completo de ponta a ponta, particularmente no contexto da mobilidade, vários aspectos de gerenciamento de serviço de ponta a ponta adicional precisam ser especificados. Essa tarefa está sendo executada pelo Fórum WiMAX NWG (*Network Working Group*)⁷. O WiMAX NWG está empenhado em desenvolver uma arquitetura de rede de ponto-a-ponto e o preenchimento de algumas das lacunas que o padrão atual não contempla.

2.2 IEEE 802.16 - Camadas MAC e Camada Física

O IEEE 802.16 especifica o plano de dados e controle das camadas MAC e Camada Física, conforme ilustrado na Figura 2.2. Mais especificamente, a camada MAC consiste em três subcamadas: a SSCS (*Service-Specific Convergence Sublayer*), a subcamada de parte comum do MAC (*MAC CPS-Common Part Sublayer*) e a subcamada de segurança (*Security Sublayer*).

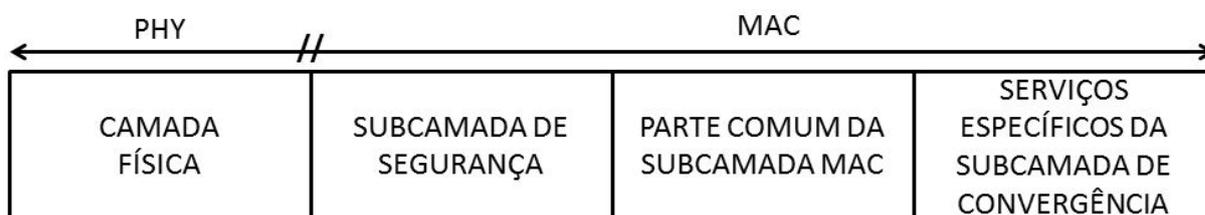


Figura 2.2: Âmbito da norma IEEE.80216: PLANO DE DADOS/CONTROLE

O SSCS recebe dados de entidades de camada superior que se encontram no topo da camada MAC, por exemplo: *hosts*, roteadores e *bridges*. Um SSCS diferente é especificado para cada tipo de entidade, incluindo suporte para o modo de transferência assíncrona (*ATM - Asynchronous Transfer Mode* ⁸), IEEE 802.3 e um serviço de Protocolo de Internet versão 4, serviços (*IPv4*). O *CPS MAC* é o módulo de lógica de núcleo da arquitetura do MAC e é responsável pelo gerenciamento de largura de banda e aplicação de *QoS*. Finalmente, a subcamada de segurança fornece *SSs* com privacidade através da rede sem fio, criptografando os dados entre o *BS* e *SSs*.

⁷Passou a ser responsável pelas especificações técnicas de como a rede iria funcionar, a começar pelo protocolo de controle de rede (textit Network Control Protocol (NCP), o protocolo de comunicações da ARPANET.

⁸O ATM é uma tecnologia de comunicação de dados de alta velocidade usada para interligar redes locais, metropolitanas e de longa distância para aplicações de dados, voz, áudio, e vídeo.

2.2.1 IEEE 802.16 - Detalhamento das Camadas MAC

A CAMADA MAC (Médium Access Control - Controle de Acesso ao Meio) [Barbeau et al. 2009] destina-se à comunicação sem fio ponto-a-multiponto com a capacidade para oferecer suporte a protocolos de camada superior, incluindo ATM, IP e outros protocolos futuros. Uma das considerações de *design* da camada MAC é acomodar as taxas de bits elevadas da banda larga com a camada PHY, oferecendo um ATM compatível com QoS ao mesmo tempo. Uma arquitetura de conexão MAC orientada em WiMAX fornece uma plataforma para controle de QoS forte. A camada MAC usa um algoritmo de programação que permite que a estação de assinante (*Subscribe Station* - SS) possa competir apenas uma vez para a primeira entrada na rede e, quando a entrada é bem sucedida, o SS é alocado em um intervalo de tempo por BS. O intervalo de tempo pode aumentar ou diminuir de acordo com as necessidades e continua a ser atribuído para o SS no período de toda a comunicação. O intervalo de tempo atribuído a um SS não pode ser usado por outros assinantes, o que torna o MAC de WiMAX cada vez mais estável em sobrecarga e sobre subscrições. Ele também funciona como uma ferramenta fundamental do BS para controle de QoS, ajustando as atribuições do *slot* de tempo de acordo com a necessidade das aplicações do SSs.

A camada MAC encontra-se dividida em três subcamadas: A Sub-camada de Convergência Específica (CS - *Service-Specific Convergence Sublayer*), a Sub-camada de Convergência Comum (CPS - *Common Part Sublayer*) e a Sub-camada de Segurança (*Security Sublayer*). Abaixo da camada MAC, existe a Camada Física (PHY (*Physical Layer*)). Na Figura 2.3, ilustra-se o modelo de referência de IEEE 802.16, aplicável, quer para a estação de base quer para a estação de assinante. A camada MAC compreende três sub-camadas: 1- CS - *Convergence Sublayer*, CPS - *Common Part Sublayer* e PS - *Privacy Sublayer*.

As principais funções da Camada de Controle de Acesso ao Meio são: Suporte à qualidade de serviço; Adaptação do tráfego de outras tecnologias para a rede WiMAX; Suporte ao ajuste adaptativo das técnicas de transmissão digital em função do meio de transmissão; Multiplexação de fluxos de tráfego em conexões; Escalonamento e alocação dinâmica de recursos de transmissão; Suporte à segurança da comunicação; Controle de acesso na transmissão de informações e Suporte à topologia da rede.

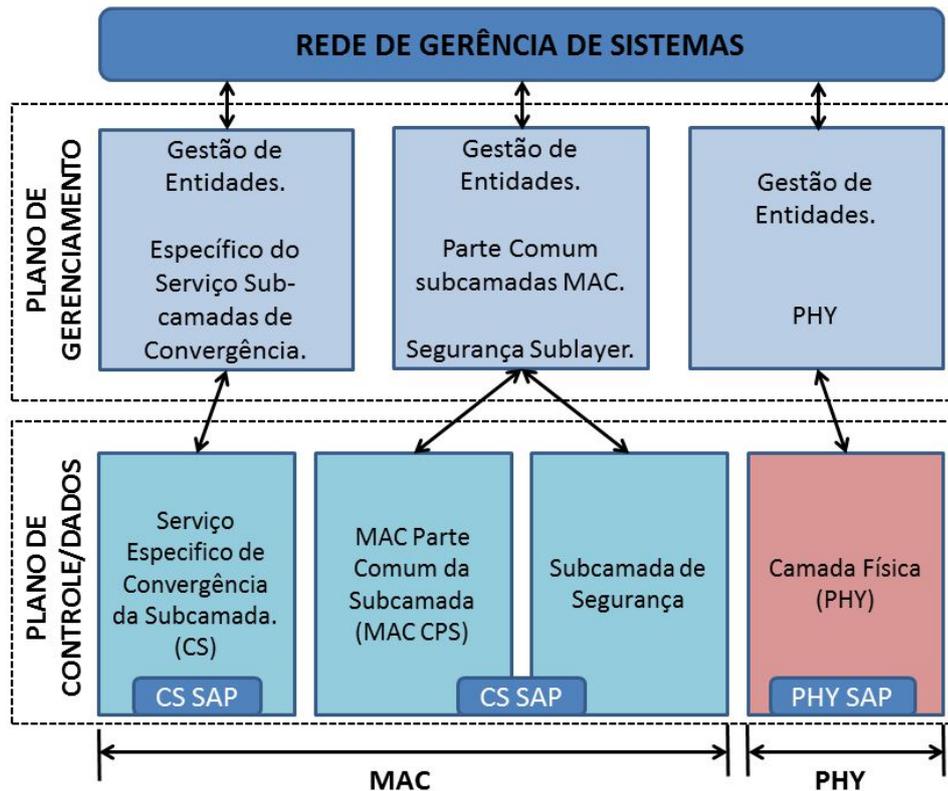


Figura 2.3: Pilhas de Protocolos

A comunicação estabelecida, tanto no sentido da Estação Base (BS) para estação do usuário, ou cliente (SS), é controlada pela estação BS. Assim, antes que uma transmissão aconteça entre a BS e a SS, estabelece-se uma comunicação lógica, denominada de conexão, entre as respectivas camadas MAC. Dessa forma, acontece a identificação da mesma, por meio de um identificador de conexão (Connection Identifier – CID). A partir daí cria-se um fluxo de serviço (Service flow identifier – SFID), unidirecional, de quadros que trazem consigo um conjunto de parâmetros de qualidade específico e uma identificação particular referente ao fluxo de serviço.

Todavia, a Qualidade de Serviço (QoS) é uma parte fundamental no projeto desta camada, que, além disso, deve também:

1. -Providenciar a adaptação de tráfego de outras tecnologias;
2. -Efetuar a multiplexação de fluxos de tráfego;
3. -Prover o escalonamento e alocação dinâmica de recursos de transmissão;
4. -Implementar suporte à segurança;
5. -Exercer o controle de acesso e envio das informações;

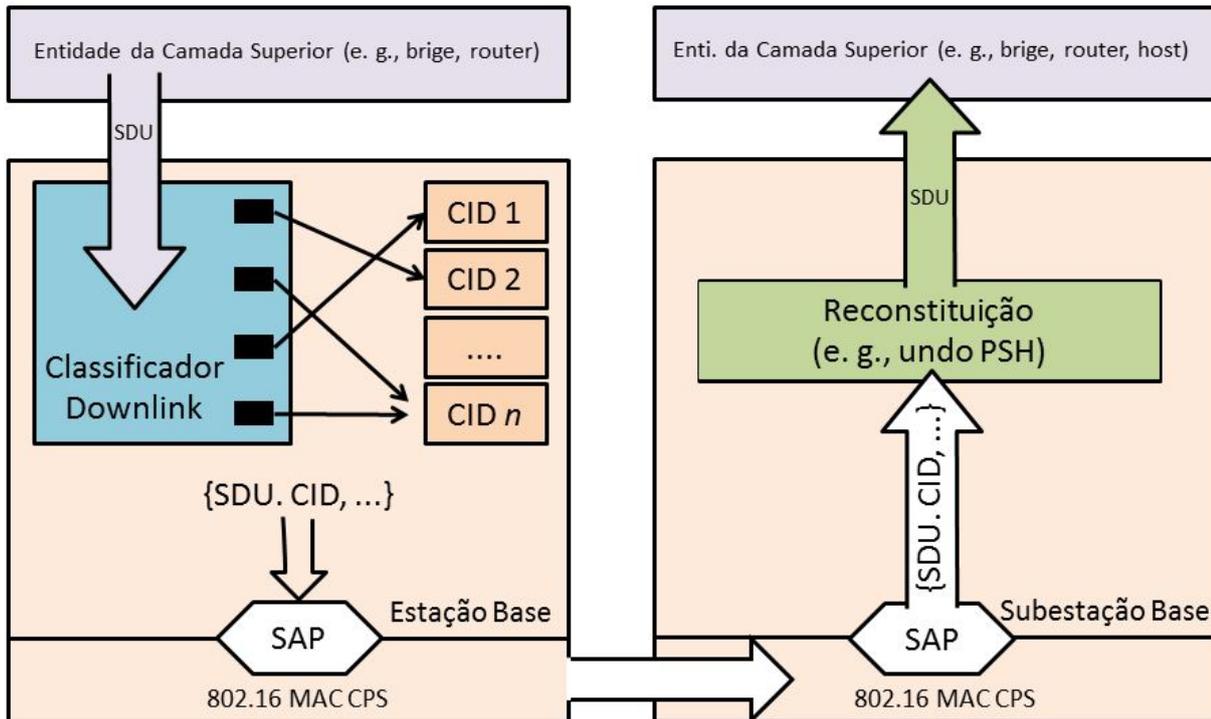


Figura 2.4: Classificação e mapeamento de CID (BS para SS)

6. -Assegurar topologias de rede, tanto ponto-multiponto (PMP) como em malha (Mesh).

Um dos pontos importantes, dentro das funções da camada MAC, é a questão do escalonamento. Essa função é utilizada para definir a prioridade de transmissão através das conexões existentes. Cada conexão (definida pelo CID) se encaixa em uma classe pré-definida de escalonamento. Cada classe possui um conjunto de parâmetros que quantifica os seus pré-requisitos de QoS. Esses parâmetros são gerenciados através das mensagens de gerência do tipo DAS (*Dynamic Service Addition*) e DSC (*Dynamic Service Change*). Assim, os serviços de escalonamento são projetados para melhorar a eficiência do processo de concessão de privilégios. Especificando um serviço de escalonamento e seus parâmetros de QoS associados, a BS pode antecipar o rendimento e a latência do tráfego ascendente em instantes apropriados.

2.2.2 IEEE 802.16 - Detalhamento da Camadas PHY

No WiMAX, a camada PHY consiste na TDMA (*Time Division Multiple Access*) e DAMA (*Demand Assigned Multiple Access*) [Thomas et al. 2011]. Para TDMA, o canal de comunicação montante é dividido em vários espaços de tempo e o acesso das faixas horárias para diversos clientes rege-se pela

camada MAC, no final do receptor. Os espaços de tempo alocados para diversos clientes podem ser variados em função de exigências. O tráfego de *downstream* pode ser multiplexação de TDM (*Time Division Multiplexing*) ou transferência de modo intermitente. No TDM, seus dados para diversos clientes são multiplexados até o mesmo fluxo e são recebidos por todos os clientes no mesmo setor de cobertura. Para dados intermitentes, rajadas são enviadas para o receptor em um processo semelhante a estouro de *upstream* em TDMA. Com comunicação baseada em *slots* de tempo, gastos gerais devidos a disputas e conflitos podem ser significativamente reduzidos, o que pode melhorar o QoS.

No WiMAX, o OFDM apresenta diversas subportadoras variando de um mínimo de 256 até 2048, para cada modulação adaptativa, que são BPSK, QPSK, 16-QAM ou 64-QAM [Uppal et al. 2011]. A vantagem de ortogonalidade é que ele minimiza a própria interferência das principais fontes de erro nos sinais recebidos em comunicações sem fio. O WiMAX suporta larguras de banda de diferentes sinais variando entre 1,25 para 20 MHz, para facilitar a transmissão ao longo de intervalos mais longos em diferentes ambientes de vários caminhos. Sinais refletidos têm fator limitante para maior taxa de transferência sustentada em comunicações sem fio, especialmente quando os nós terminais têm mobilidade, são causados por reflexões entre um transmissor e receptor através dos quais as reflexões chegaram ao destinatário em momentos diferentes. Interferência causada por vários caminhos tende a ser muito problemática quando o atraso de propagação, o intervalo de tempo separando a reflexão é da ordem de tempo do símbolo transmitido. Para WiMAX, devido à sua OFDMA, tempos de símbolo tendem a ser da ordem de 100 μ s, o que torna vários caminhos (multipath) um problema. Além disso, no WiMAX, uma reserva de banda de 10 μ s possui uma reserva chamada de prefixo cíclico e essa reserva é inserida após cada símbolo, para atenuar o efeito de vários caminhos.

Outra característica da Camada Física do WiMAX é o uso do sinal multiantena com técnicas avançadas, principalmente, sob a forma de processamento MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) e processamento da formação de feixe [Kadir and Ismail 2009]. Para MIMO, o sinal recebido de uma antena de transmissão pode ser bem diferente para o sinal recebido de uma segunda antena, um cenário comum em áreas metropolitanas interiores, ou as densas, onde há muitas reflexões e multi caminhos entre o transmissor e o receptor. Em tais casos, um sinal diferente pode ser transmitido de cada antena com

a mesma frequência e, ainda, cobrar no destinatário pelo processamento de sinais. Por outro lado, a formação de feixe tenta formar uma construção coerente dos vários transmissores no destinatário que pode oferecer uma SNR (*Signal-to-Noise Ratio*)⁹ superior no destinatário, resultando em maior largura de banda ou comunicação de alcance mais longo.

Todas essas características na camada física do WiMAX contribuem para maior produtividade e estabilidade no final do receptor, que faz uma excelente plataforma para proporcionar um nível pré-definido de QoS em redes WiMAX. Com maior taxa de transferência e estabilidade, a gestão de QoS, é consideravelmente, mais fácil no WiMAX em comparação com outros padrões sem fio semelhantes. Aumentar a produção, no entanto, não garante a QoS desejada, e gestão de largura de banda é outra peça fundamental que desempenha um grande papel para a manutenção do QoS. É onde a camada MAC das redes WiMAX entra em ação.

2.3 Qualidade de Serviços - QoS

EM geral, o processo de solicitação e concessão de QoS em uma rede pode ser logicamente dividido em duas camadas separadas: Camadas de APLICAÇÃO e REDE.

1. - A Camada de APLICAÇÃO fornece ao usuário final uma visão simplificada e padronizada para o nível de qualidade que será concedida para um determinado serviço. Essa camada não está ciente das questões de ordem técnica dos requisitos de serviço (como largura de banda, atraso ou variação) e tal camada independe de tecnologia de acesso ou questões relacionadas com as redes reais que vão ser atravessadas (tais como uma XDSL, Fibra Ótica ou Wireless).
2. - A Camada de REDE lida com um conjunto de parâmetros técnicos de QoS, que ele mapeia em requisitos de rede específicos, que devem ser satisfeitos, para fornecer ao usuário final com o nível de qualidade por negociação. Normalmente, em redes IP com fio, o mapeamento é executado na camada de rede. No entanto, essa abordagem é dificilmente adequada para redes sem fio [Pitic et al. 2010], onde há um número de

⁹SNR: É um conceito de telecomunicações, também usado em diversos outros campos que envolvem medidas de um sinal em meio ruidoso, definido como a razão da potência de um sinal e a potência do ruído sobreposto ao sinal.

fatores que influenciam a alocação de recursos, como descrito na Tabela 2.2:

Tabela 2.2: Fatores que Influenciam a Alocação de Recursos

#	DESCRIÇÃO
I	A DISPONIBILIDADE DE LARGURA DE BANDA É MUITO MAIS LIMITADA EM REDES COM FIO;
II	HÁ ALTA VARIABILIDADE DA CAPACIDADE DE REDE DEVIDO, POR EXEMPLO, ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS;
III	A QUALIDADE DO LINK EXPERIMENTADO POR DIFERENTES TERMINAIS É DEPENDENTE DA LOCALIZAÇÃO.

Portanto, muitas vezes, é necessário implementar o provisionamento de QoS na camada MAC, no sentido de se obter uma melhor visão da situação da rede dependente da tecnologia atual e para reagir rapidamente às alterações que podem afetar negativamente o QoS.

No padrão IEEE 802.16, o QoS possui funções proeminentes de controle de provisionamento e admissão da rede, logicamente localizada no plano de gestão. Como já dito, este último está fora do escopo do IEEE 802.16, que apenas abrange o plano de dados/controlado, conforme ilustrado na Figura 2.5. O provisionamento de rede refere-se ao processo de aprovação de um determinado tipo de serviço, por meio de seu conjunto de camada de rede de parâmetros de QoS que pode ser ativado mais tarde. O provisionamento de rede pode ser estático ou dinâmico. Especificamente, ele é dito ser estático, se o conjunto completo de serviços que ofereça suporte a BS é decidido a priori. Esse modelo destina-se a um provedor de serviços para especificar o conjunto completo de serviços que seus assinantes podem solicitar, por meio de uma configuração manual ou semiautomática (MIB - *Management Information Base*) da BS.

Por outro lado, com o provisionamento de rede dinâmica, cada solicitação para estabelecer um novo serviço é encaminhada para um servidor de política externa, que decide se aprova ou não. Esse modelo permite um maior grau de flexibilidade, em termos, sobre os tipos de serviço que o provedor é capaz de oferecer aos seus assinantes, mas exige um protocolo de sinalização entre o BS e o servidor de políticas. Assim, pode ocorrer uma sobrecarga adicional

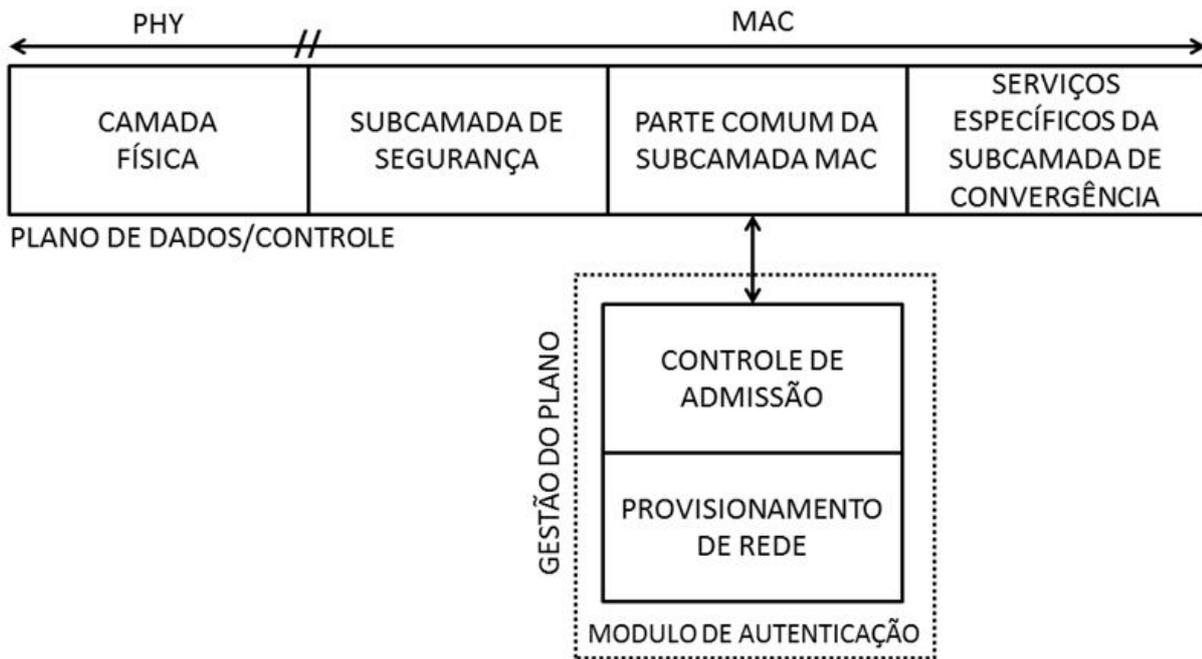


Figura 2.5: Qualidade de Serviço (QoS) aplicado ao Padrão IEEE 802.16

de comunicação e uma maior complexidade.

No IEEE 802.16, o conjunto de parâmetros de camada de rede que define inteiramente a QoS de um fluxo unidirecional de pacotes reside em uma especificação SF (*Service Flow*), caso a SF esteja em um dos três seguintes estados: ativo, provisionado e admitido.

Fluxos de Serviços provisionados não estão ligados a qualquer conexão específica, porque eles só podem ser projetados para servir como uma indicação de quais tipos de serviço estão disponíveis na BS. Então, quando um aplicativo sobre o usuário final começa, o estado de SF provisionado irá tornar-se admitido assim para reservar recursos que serão, em breve necessários para atender aos requisitos do aplicativo. Quando o estado de SF torna-se admitido, ele também receberá um identificador de conexão (CID) que será usado para classificar os SDUs entre aqueles que pertencem a diferentes SFs. No entanto, nessa fase, os recursos ainda não são completamente ativados; por exemplo, se a conexão não for concedida ainda pela largura de banda. Esta última etapa é executada durante a ativação do SF, que acontece pouco antes do aplicativo SDUs começar a fluir através da rede.

Assim, um modelo de duas fases é empregado onde os recursos são reservados antes que o aplicativo seja iniciado. Esse é o modelo empregado em aplicativos de telefonia tradicional. A qualquer momento, é possível “colocar

em espera” a aplicação ao mover de volta o estado do SF de ativo admitido, quando o aplicativo para o SF é definido como provisionado ou suprimido. Em qualquer caso, o mapeamento para outro fluxo de serviço é identificado pelo (SFID) e o CID é perdido. O CID pode ser retribuído para outros fins. O diagrama de transição de SF é ilustrado na Figura 2.6.

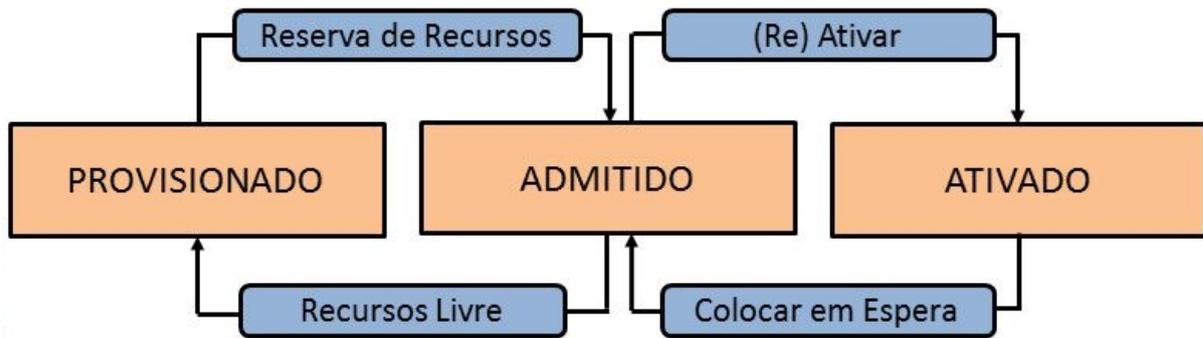


Figura 2.6: Diagrama de Transição de Fluxo

2.4 Visão Geral sobre QoS e QoE em redes WiMAX

WiMAX é projetado como uma alternativa para redes de banda larga de acesso sem fio, DSL e a cabo. É uma maneira de conectar os nós de uma MAN (*Metropolitan Area Network*), ou rede de área metropolitana sem fio, que pode ser definida como um sistema de comunicação digital, também conhecido como IEEE 802.16.

Dessa forma o padrão 802.16 oferece a possibilidade de utilizações elevadas de recursos de rádio e com suporte a QoS, e a QoS é definida como a capacidade da rede em fornecer um serviço em um nível de serviço garantido [Moh et al. 2010] e foi sem dúvida uma das características mais atraentes do WiMAX. A tecnologia WiMAX, ao utilizar o QoS dentro de uma estação base (BS), fornece uma conexão orientada a camada MAC de forma ágil, e esse mecanismo tem sido alvo de pesquisas populares. Embora seja importante para garantir a QoS adequada, uma questão ainda mais vital é a forma como o usuário final percebe e experimenta os serviços. Isso tem sido frequentemente referido como a QoE [Riker et al. 2011] e [Pitic et al. 2010] e, embora seja uma medida subjetiva, irá, no final, determinar como o usuário está satisfeito sobre os serviços da rede ofertados.

Além disso, a expansão de uma rede WiMAX introduz novos desafios para fornecer QoS necessária. Como o usuário não é necessariamente estático ou nômade, mas é provável que seja móvel, este designa a habilidade de um usuário de uma rede para obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica onde está registrado, ou seja, obter conectividade através de uma outra rede onde é visitante. A rede que está sendo visitada pode ou não pertencer à mesma operadora, dessa forma, toda a rede, enquanto se envolve em uma sessão, resulta em *handovers* (HOS) entre BSS. Por exemplo: é uma experiência muito frustrante para um usuário ser desconectado de uma conexão em pleno curso, devido à insuficiência de recursos em um BS alvo. Por outro lado, células sobrepostas introduzem novas possibilidades para melhorar a qualidade de serviço em forma de balanceamento de carga entre os BSS. Questão, portanto, em uma rede WiMAX fixa ou móvel, com suporte e acesso a QoS e QoE, também tornar-se em nível de sistema, um ponto de vista que não tem, até agora, tanta atenção.

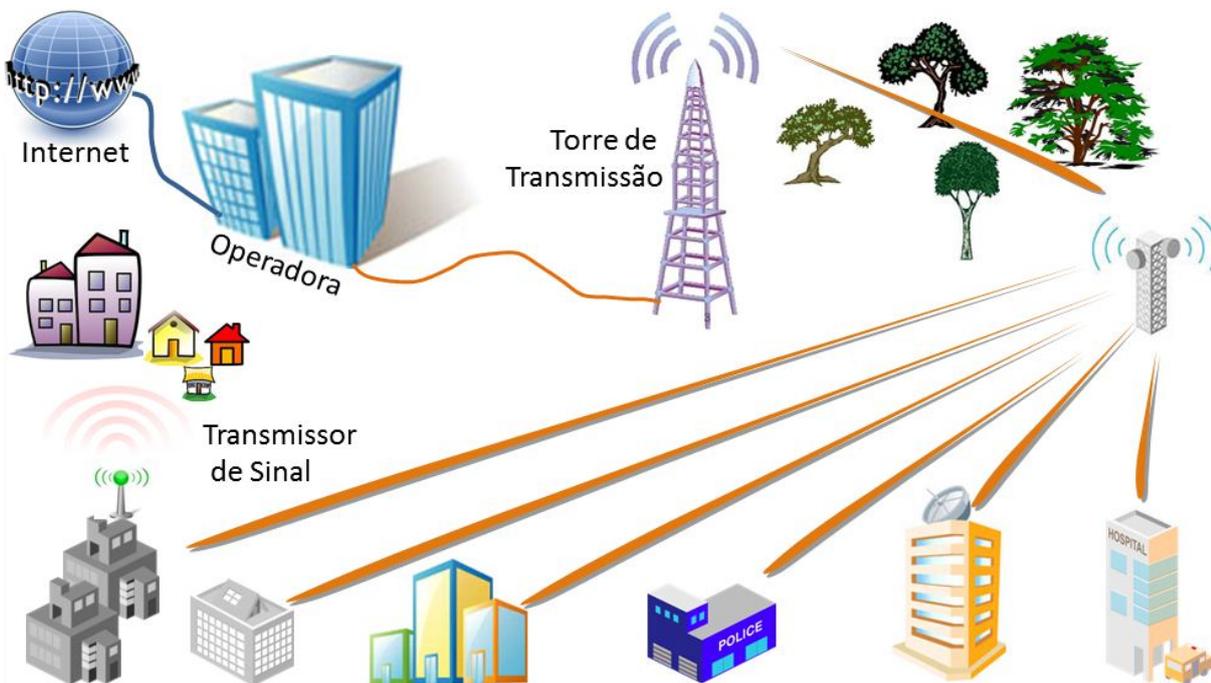


Figura 2.7: Visão Geral da Arquitetura Fixa.

Por outro lado, a arquitetura fixa se volta para atender a acessos em redes metropolitanas, alcançando áreas onde o atendimento pelas redes por cabo não o fazem, ou seja, quando o ambiente ou a distância não é favorável a uma rede cabeada. De uma forma geral, um provedor de Internet estabelece uma comunicação com o seu usuário final, instalando neste uma antena receptora, e, no caso dessa tecnologia, não é obrigatório que exista uma condição NLOS

entre as duas antenas, a instalada no provedor BS e no usuário SS . O modelo de referência de protocolos da norma IEEE 802.16 possui três planos: Plano do Usuário, Plano de Controle e Plano de Gerência.

2.5 Classes de QoS em Redes WiMAX.

As classes de serviços são configuradas para um tipo específico de fluxo de dados. Na Tabela 2.3, listam-se os parâmetros de QoS associados a cada classe de serviço de escalonamento ascendente.

Tabela 2.3: Serviços de escalonamento e regras de utilização.

TIPO	PEDIDOS	BANDA	ESPECIFICAÇÃO
UGS	Sem Permissão	Sem Permissão	É usada para solicitar uma pesquisa por difusão ponto a ponto para as necessidades de largura de banda de conexão não UGS.
rtPS	Permitido	Permitido para GPSS	Agendamento só permite a pesquisa de difusão ponto a ponto.
nrtPS	Permitido	Permitido para GPSS	Agendamento pode restringir um fluxo serviço de sondagem de difusão através da política de transmissão/requisição; caso contrário, todas as formas de pesquisa são permitidas.
BE	Permitido	Permitido para GPSS	Todas as formas de sondagem são permitidas.

Os quatro tipos de classes de serviços de escalonamento ascendente são:

1. **Unsolicited data grants (UGS):** UGS é projetado para suportar o fluxo de serviço em tempo real, que gera quadros de dados de tamanho fixo em uma base periódica, tais como voz sobre o tráfego IP. O serviço oferece subvenções de tamanho fixo de dados não solicitados (oportunidades de transmissão) em uma base periódica. Isso elimina a sobrecarga e a latência de exigir a SS para enviar pedidos de transmissão. No acesso baseado em UGS, a contenção não é permitida;
2. **Real-time polling service (rtPS):** rtPS é projetado para suportar o fluxo de serviço em tempo real, que gera quadros de dados de tamanho variável

em uma base periódica, como o vídeo MPEG. O serviço oferece oportunidades *unicast* de pedido, que satisfaçam as necessidades do fluxo de tempo real e permitam que as SSs especifiquem o tamanho dos blocos desejados. O SS está proibido de utilizar todos os pedidos de contenção ou sobreposta (carona);

3. **Nonreal-time polling service (nrtPS)**: nrtPS é projetado para suportar os fluxos de tempo de serviços não real, que requerem dados subsídios de tamanho variável em uma base regular, como o FTP - (*File Transfer Protocol*). O serviço oferece oportunidades *unicast* de pedido (polls) em uma base periódica, porém usa mais intervalos espaçados que rtPS. Isso garante que o fluxo receba pedido de oportunidades de conexão, mesmo durante o congestionamento da rede. Além disso, o SS permite a contenção de oportunidades de carona em pedidos de conexão.

4. **Best effort (BE)**: Essa classe de serviço é para tráfego de melhor esforço, onde não existe garantia de QoS, tal como HTTP. As aplicações recebem banda disponível após a alocação dos três fluxos anteriores. Vale ressaltar que o serviço BE suporta tráfego de melhor esforço sem quaisquer garantias de QoS. A SS pode utilizar tanto slots *unicast* quanto slots de contenção para requisitar largura de banda.

Tabela 2.4: Tipos de QoS utilizados pelo WiMAX e seus serviços.

Categoria de QoS	Aplicação	Especificação
UGS	VoIP	- Taxa máxima mantida - Tolerância máxima à latência - Tolerância a jitter
rtPS	Áudio ou vídeo via streaming	- Taxa máxima de reserva - Taxa máxima mantida - Tolerância máxima à latência - Tolerância a jitter - Prioridade de tráfego
ertPS	VoIP com supressão de silêncio	- Taxa mínima de reserva - Taxa máxima mantida - Tolerância máxima à latência - Tolerância a jitter - Prioridade de tráfego
nrtPS	Protocolo de transferência de arquivo (FTP)	- Prioridade de tráfego - Taxa máxima mantida - Taxa mínima de reserva

Observando essas classes, a questão de concessão de bandas para transmissão no enlace de subida (uplink), SS para BS, é feita pela BS, contudo, a requisição de banda é a maneira como a SS indica, para uma BS, que ela precisa de alocação de largura de banda. A BS também pode escolher a largura de banda no enlace de subida e, nessas classes, tanto a requisição

por carona quanto por disputa são permitidas.

Um outro ponto essencial nas funções da camada MAC corresponde ao mecanismo de escalonamento, visto que este decide qual o próximo quadro que será servido na fila de espera. Antes disso, ele é responsável por distribuir a largura de banda da ligação pelos diferentes fluxos.

De forma simplificada, pode-se visualizar a operação da camada MAC do IEEE 802.16 no diagrama mostrado na Figura 2.8.

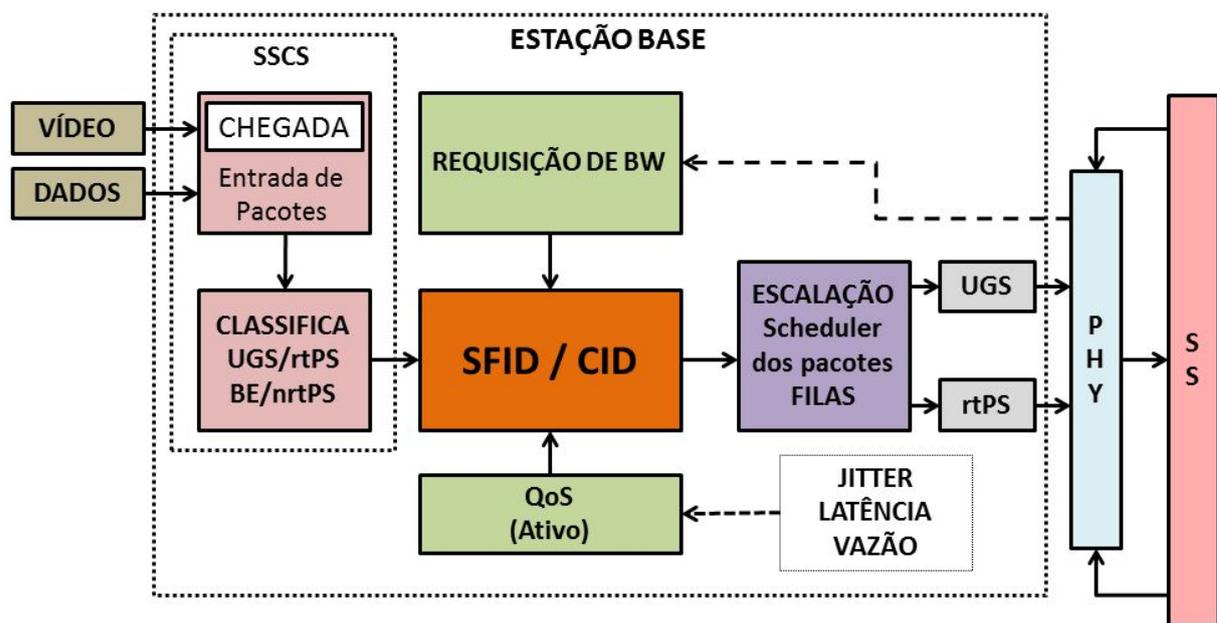


Figura 2.8: Diagrama da Camada MAC - 802.16 (Simplificada)

2.5.1 Correlação entre QoS e QoE em Redes WiMAX

O PADRÃO 802.16 define os parâmetros de QoS tais como MSTR (*Maximum Sustained Traffic Rate*), MRTR (*Minimum Reserved Traffic Rate*), ML (*Maximum Latency*) e TP (*Traffic Priority*), que contêm informações básicas sobre as necessidades de QoS de um fluxo de serviço particular. Com base nesses parâmetros, o Agendador MAC oferece cinco serviços de agendamento diferente conforme discutido anteriormente, e agora detalhado com mais ênfase aos serviços investigados: o UGS *Unsolicited Grant Service*, principalmente dirigido a VoIP, que proporciona uma taxa de bits constante, e prolongado; o ertPS *Real-Time Polling Service* que adiciona VAD (*Voice Activity Detection*) como apoio a UGS; o rtPS *Real-Time Polling Service* destinado para transmissão de vídeo e áudio com um MRTR e garantia do ML; o nrtPS *Non-Real-Time Polling Service* que fornece uma MRTR sem demora específica para TCP para aplicações críticas que exigem uma taxa de dados mínima

e, por fim o BE *Best Effort* que é um serviço de agendamento que não dá garantias a todos os níveis de serviço.

Há também outras formas de definição de QoS. Por exemplo, o padrão E.800 da UIT-T (ITU-T, 1994) define três indicadores:

1. - **Acessibilidade**: A capacidade de um usuário para obter um serviço;
2. - **Retenção**: A capacidade de manter o serviço de curso;
3. - **Integridade**: Nível de prestação de serviços sem perturbações, uma vez que o serviço foi obtido.

Um exemplo de **Acessibilidade** é com relação aos fluxos (chamadas) de probabilidade de bloqueio, que representam a porcentagem de chamadas que têm de ser bloqueadas para evitar mais congestionamento. Devem ser mantido ao abrigo de certo limite (por exemplo, a probabilidade inferior a 5% de uma chamada ser bloqueada na rede) e podem ser diferenciados em relação às classes de agendamento de serviços e às prioridades de tráfego.

Parâmetros de QoS também podem ser definidos no nível de sistema. Como discutido anteriormente, quando se deslocam através de uma rede de acesso WiMAX há a possibilidade de que o próximo fluxo alvo BSs caia (**Retenção**) ou reduza a MRTR fornecida (**Integridade**), devido à insuficiência de recursos.

Além disso, ao realizar uma conexão entre células (seja ela de emergência ou dirigida), o fluxo pode tornar-se sujeito a um efeito "*ping-pong*", onde ele é entregue na ida e volta entre duas BSs adjacentes. Esse efeito é, especialmente, prejudicial para os fluxos sensíveis a atrasos, como VoIP (devido a atrasos e interrupção de conexão) e deveria ser limitado.

Todavia, todos os parâmetros de tráfego QoS não garantem, necessariamente, a satisfação do usuário. Por exemplo, exigências e expectativas podem variar entre os diferentes cenários de implantação em casos de uso em redes WiMAX. Assim, o verdadeiro QoE pode ser fornecido por ganhar uma compreensão de quais são as necessidades do usuário, o que afeta a percepção do usuário com relação aos serviços. Outro exemplo disso pode ser para se deslocar com otimização de um algoritmo de escalonamento em relação aos parâmetros único QoS (atraso) para otimizá-lo em relação a um caso de uso e a experiência correspondente (por exemplo em relação a uma recuperação completa de página Web). Mais um exemplo poderia ser para

diferenciar a priorização de conexões em relação aos tipos de tráfego e as suas necessidades: como a redução da MRTR para uma conexão com a Web que não é uma experiência tão ruim, em comparação com uma situação em que uma chamada de voz tem de ser descartada devido à insuficiência de recursos.

A Figura 5.1 ilustra a principal diferença entre as abordagens QoE objetivas e subjetivas. Métricas objetivas tentam modelar a percepção humana com base em fatores de transporte de rede e aplicação, enquanto os métodos subjetivos incluem também as emoções e experiências.

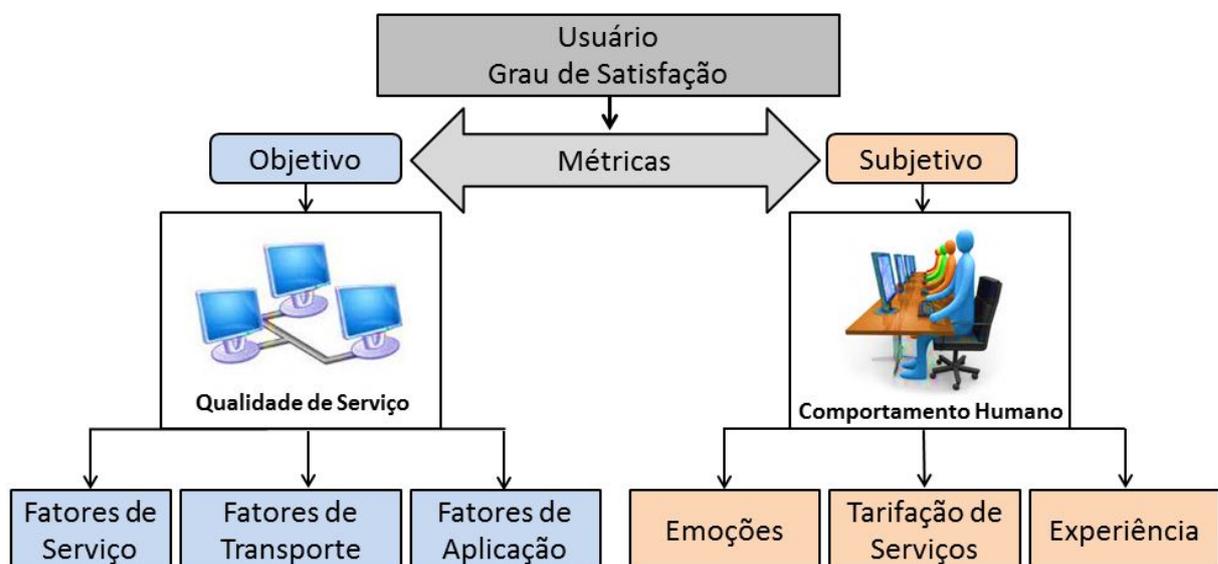


Figura 2.9: Ilustração de QoS e QoE na rede.

2.5.2 Abordagem sobre a Teoria do Tráfego Multimídia da Rede WiMAX

WiMAX tem sido caracterizado como um sistema que tem a capacidade de ajustar dinamicamente o tráfego atual ao ambiente de canal de rádio e, assim, utilizar os recursos de rádio de uma maneira eficiente. Ao decorrer dessa tese, serão discutidas quatro principais funcionalidades: O Agendador MAC, a Admissão de Controle dentro de um único BS e o Balanceamento de Carga, todas já integradas no simulador que será abordado no capítulo 7, posteriormente.

1. - Agendador MAC é o principal orquestrador dentro de um BS e tem como função levar em consideração o tráfego de entrada *buffer* em filas e o tempo disponível de recursos variados de rádio e, com base nisso, decidir

a ordem na qual os quadros são enviados para assegurar o cumprimento garantido pelo QoS.

2. - O elemento de Admissão de Controle é utilizado para calcular e prever a utilização da média de longo prazo de um fluxo de entrada, que seja correspondente às necessidades de reserva de recursos e, portanto, utilizado para proteger as conexões em curso do agendador de congestionamento. A maioria das pesquisas até agora tem se concentrado nas questões de programação por fluxo dentro de um BS simples, mas muito pode ser feito, também, em um nível do sistema dentro de um cluster de BSS com sobreposição de cobertura.
3. - Balanceamento de Carga pode ser pensado como uma espécie de agendamento de fluxos em nível de sistema. Onde, havendo conexões baixas, estas podem ser minimizadas com a priorização de tráfego que serve como uma espécie de controle de admissão. A Figura 2.10, resume tanto por problemas de fluxo e de nível, todo o sistema que se relaciona com essas funcionalidades e seu ambiente.

O QoS garante a entrega de dados ao utilizador final em uma rede de acesso WiMAX. Podemos refletir com um bom ponto de partida, abordando o problema com base no objetivo fundamental da teoria de tráfego multimídia, que é determinar as relações entre os três componentes seguintes:

1. Tráfego oferecido (as necessidades do usuário);
2. Capacidade do sistema e tempo variável de recursos;
3. QoS acordados.

2.5.3 Tráfego de Entrada

O TRÁFEGO de entrada precisa de um fluxo único, podendo variar e ser caracterizado entre outros, em termos de: atraso, jitter, vazão, perda de quadros e taxa de perda [ITu 2001]. Por exemplo, serviços de conversação, como VoIP, têm como característica atrasos e exigências de alocação de pacotes em sua transmissão, mas podem tolerar perda de quadros. O tráfego TCP (*Transmission Control Protocol*) induz atraso tolerante, mas exige a entrega sem erros de dados na transmissão. As retenções de fluxos de tráfego, os períodos de atividade dentro do fluxo de tráfego (por exemplo, página Web de recuperação) e sua taxa de transferência também podem variar bastante.

O resultado do fluxo misto de tráfego individual alimentado com um BS pode ser muito diversificado, conforme pode ser observado na Figura 2.10 onde existe várias necessidades e, portanto, requer a priorização de tráfego. Uma verificação de controle de admissão, baseada em uma estimativa do consumo de recursos, tem que ser feita para cada fluxo de serviço novo de entrada, para garantir que haja recursos suficientes para o Agendador MAC, no sentido de atender às necessidades dos fluxos de tráfego existentes e os novos.

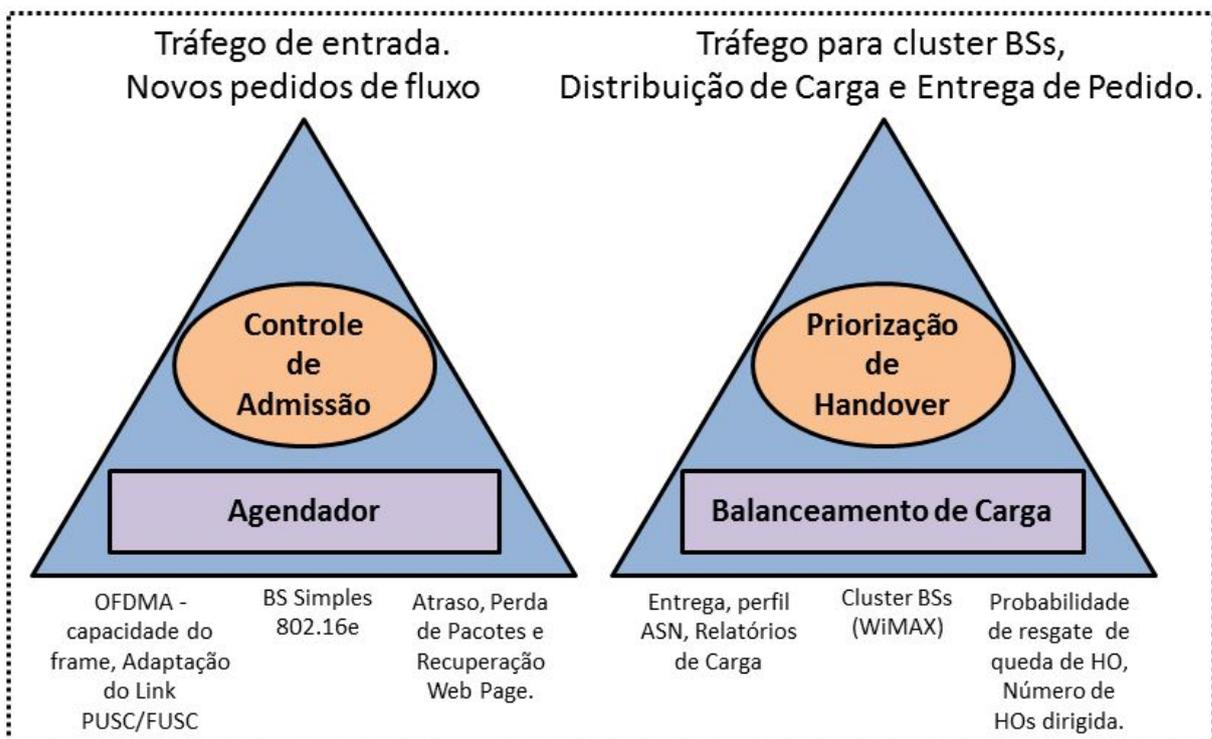


Figura 2.10: O modelo triângulo teletráfego aplicado a um BS e para todo o sistema

2.6 Conclusão

DURANTE os últimos anos, temos presenciado a um crescimento rápido do interesse em tecnologias sem fio para fornecer acesso de banda larga de primeira (ou última, como ainda conhecida por alguns autores) milha. Por um lado, isso é devido à incrível evolução no domínio das comunicações de rádio frequência, que permitem o aumento das taxas de transmissões na redução dos custos de produção. Por outro lado, os usuários tornaram-se mais acostumados à banda larga, tornando, assim, atraente o mercado de segmentos anteriormente não explorados, como o de áreas rurais ou áreas sem infraestrutura adequada. Isso, eventualmente, resulta na disseminação

de novas aplicações, tais como voz sobre IP (VoIP) e transmissão de vídeos que têm requisitos rigorosos de QoS.

O IEEE 802.16 consolida-se como uma das tecnologias líder no contexto de rede banda larga fixo [Ono et al. 2009], como cooperadas pelas inúmeras empresas que aderiram ao Fórum WiMAX [Simó Reigadas et al. 2011] e [Etemad et al. 2010], desde a sua fundação, em junho de 2001, para promover a adoção de equipamento compatível com IEEE 802.16 pelos operadores de sistemas de rede banda larga.

Enquanto na revisão de 2004 [Aráuz et al. 2008] várias interfaces sem fio foram adicionadas ao perfil original SC *Single-Carrier* que tornam o padrão IEEE 802.16 adequado para variados ambientes sem fio, o núcleo da camada MAC, no que se refere ao apoio de QoS mal foi modificado. Na verdade, o padrão já incluído suporte nativo para QoS na camada MAC desde sua primeira versão, publicada em 2001, tem vários mecanismos para dar suporte a diferentes tipos de aplicativos, que são classificados pela norma em quatro serviços de agendamento. No entanto, a norma não especifica os algoritmos obrigatórios nem informa, ao fornecer, se realmente existe suporte QoS para esses mecanismos. Isso permite que qualquer fabricante possa implementar seus próprios algoritmos proprietários otimizados, ganhando, assim, uma vantagem competitiva sobre os rivais.

Codificação de Vídeo em sistemas MPEG

Assumir uma atitude responsável perante o futuro sem uma compreensão do passado é ter um objetivo sem conhecimento. Compreender o passado sem um comprometimento com o futuro é conhecimento sem objetivo.

Ronald T. Laconte

3.1 Introdução

DESENVOLVIDO pelo MPEG - *Moving Pictures Expert Group*, o Sistema MPEG é uma referência na padronização e sincronização digital de sinais de áudio e vídeo. Tendo como base o padrão de videoconferência e vídeo-telefonia JPEG (*Join Photographic Experts Group*), o sistema foi inicialmente apresentado no padrão MPEG-1, que era restrito a formatos de vídeos não entrelaçados a uma taxa de até 1,5 bits/s, sendo aplicado no sistema Interactive CD (CDi) e utilizado em aplicações PC [Kwon et al. 2006]. Esse sistema deu origem a diversos codificadores de hardware e software e seu padrão compreendia três partes: sistemas, vídeo e áudio.

As principais vantagens do MPEG-1 eram a redução do efeito de “cintilação” no Sistema Visual Humano e a compactação de imagens em meio digital. Em 1994, o sistema foi apresentado na versão MPEG-2, um padrão capaz de

suportar aplicações de alta definição e taxas de transmissão no intervalo de 15 a 30Mbits/s. Vale salientar que o padrão MPEG não especifica o processo de codificação e, sim, a sintaxe, a semântica e o processo de decodificação, possibilitando, com isso, uma maior otimização do sistema [Richardson 2003].

3.2 Codificação de Conteúdo Multimídia

A CODIFICAÇÃO de conteúdo multimídia, como áudio e vídeo, ocorre através de uma fonte de produção digital (ex: celulares (áudio) e câmeras (vídeo) tomando por conta um conjunto de requisitos como resistência a erros, acesso aleatório, movimentação, complexidade, eficiência e a qualidade do conteúdo.

Basicamente, os elementos do processo de transmissão de conteúdo multimídia em uma rede WiMAX ocorrem através das classes de serviços UGS, ertPS e erPS, entre a BS transmissora da fonte de dados, o codificador, o canal de transmissão, decodificador e o receptor de dados na extremidade SS, conforme ilustrado na Figura 3.1.

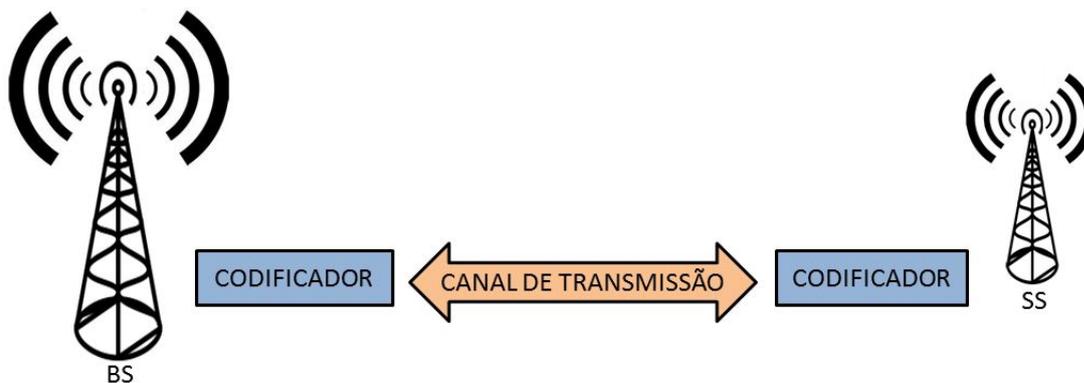


Figura 3.1: Elementos no processo de codificação de áudio e vídeo

Dessa forma, o codificador, através de uma fonte de sequência de símbolos, produz informação, segundo um modelo pré-definido, onde os símbolos são então codificados em *bits*, através de um codificador entrópico que utiliza as ferramentas de decodificação já determinadas, suprimindo os requisitos da codificação. Já o decodificador é algorítmico, pois produz resultados diferentes sobre a informação consoante, resultando em um fluxo de *bits* comprimidos que são injetados num canal de transmissão.

O decodificador é totalmente determinístico, pois obedece sempre à regra de decodificação presente no fluxo comprimido de *bit* sobre a codificação uti-

lizada pela tecnologia. Dependendo dos requisitos estabelecidos, o resultado da saída final do decodificador é semelhante ou igual a informação original [Watkinson 2004].

3.3 Premissas sobre a Codificação de Vídeo

A NORMA CCIR 601 propõe recomendações para a conversão RGB em $Y C_r C_b$ na codificação de Vídeos. Os autores [Castro 2001] informam que seu formato de sub-amostragem 4:2:2 determina que uma fonte de vídeo colorido deve ter um componente de luminância (Y) e dois componentes de cromância (C_r e C_b) em uma relação de intensidade luminosa e tonalidade da cor, respectivamente. Esse padrão é utilizado para reduzir a taxa de transmissão e remoção de redundâncias, bem como informações do sinal antes da transmissão, em sistemas de televisão NTSC e PALM-M.

Na figura 3.2, a seguir, é apresentada a dinâmica da amostragem 4:2:2 disposta na CCIR 601, com o processo de conversão RGB $\rightarrow Y C_r C_b$. A Matriz de conversão obedece o mapeamento $Y = 0.25R + 0.5G + 0.5B$, $C_b = 0.25(B-Y) + 0.5$ e $C_r = 0.3125(R-Y) + 0.5$, sendo que R, G e B representam a intensidade das cores vermelho, verde e azul do sinal de vídeo da câmara. f_s corresponde à frequência de amostragem do A/D e f_c à frequência de corte do Filtro Passa Baixa (FPB)[Watkinson 2004].

A norma CCIR 601 especifica dois padrões: o primeiro, ideal para o Sistema NTSC, que usa 525 linhas por quadro e 60 quadros por segundo, com quadro de luminância de 720 x 480 pixels e cada quadro de crominância com 360 x 480 pixels. O segundo, mais adequado ao Sistema PAL-M, que usa 625 linhas por quadro e 50 quadros por segundo, com quadro de luminância de 720 x 576 pixels e crominância de 360 x 576 pixels para cada quadro [Castro 2001]. É importante salientar que, na compressão de sinais de vídeo, são identificados três tipos de redundância, a saber:

1. Redundância em entropia: Ocorre quando a imagem apresenta repetições de padrões de pixels. Com isso, é possível atribuir codificação dos valores que ocorrem mais frequentemente com códigos menores, enquanto que códigos maiores podem ser usados para valores mais raros em ocorrência, que são calculados através do Código de *Huffman*¹.

¹A codificação de Huffman é um método de compressão que usa as probabilidades de ocorrência dos símbolos no conjunto de dados a ser comprimido para determinar códigos de

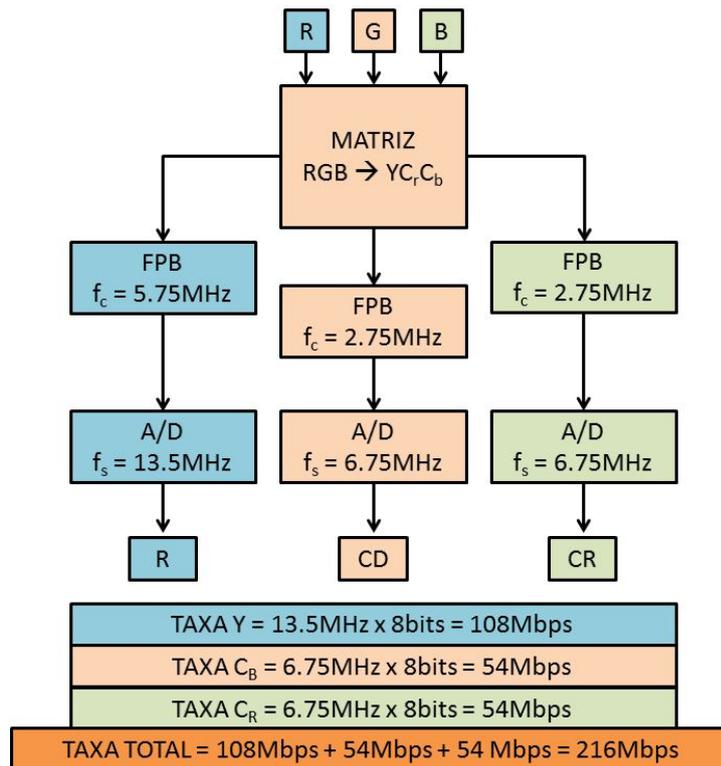


Figura 3.2: Formato de Sub-Amostragem

2. Redundância espacial e temporal: Na redundância espacial, o valor de um pixel pode ser predito a partir dos pixels vizinhos, ou seja, em uma imagem ocorrem regiões com as mesmas características de cor, já na redundância temporal, as regiões de um quadro futuro podem ser preditas a partir do quadro atual. Com isso, os detalhes da imagem não mudam na passagem de um quadro para outro.

3. Redundância psico-visual: Ocorre quando a imagem inclui informações que visualmente não são relevantes. O sistema de compressão de vídeo possibilita a redução da taxa de transmissão, removendo as redundâncias por meio da sub-amostragem de cor. Com isso, as cores primárias (RGB), que correspondem ao vermelho, verde e azul, são processadas e transformadas em imagens mais perceptíveis ($Y C_r C_b$), correspondendo ao primeiro processo de compressão efetuado no sistema MPEG.

tamanho variável para cada símbolo. Ele foi desenvolvido em 1952 por David A. Huffman que era, na época, estudante de doutorado no MIT, e foi publicado no artigo "A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes".

3.4 Aplicação dos Algoritmos no Sistema MPEG

A SUB-AMOSTRAGEM de cor consiste no primeiro processo de compressão do sistema MPEG e é baseado no Sistema Visual Humano, que possui menor percepção quanto à diferença das cores, que à intensidade luminosa. Neste contexto, o padrão MPEG é aceito pelos formatos de sub-amostragem NTSC e PAL-M, cuja resolução espacial da imagem de cada formato correspondente pode ser observada na Tabela 3.1 e 3.2 a seguir:

Tabela 3.1: Resolução Espacial da Imagem - Pixels/Linha x Linha

COMPONENTE DA COR	Formato 4:2:0	Formato 4:2:0	Formato 4:2:0
Y	720 x 480	720 x 480	720 x 480
C_b	360 x 240	360 x 480	720 x 480
C_r	360 x 240	360 x 480	720 x 480

Tabela 3.2: Resolução Espacial da Imagem - Pixels/Linha x Linha

COMPONENTE DA COR	Formato 4:2:0	Formato 4:2:0	Formato 4:2:0
Y	720 x 576	720 x 576	720 x 576
C_b	360 x 288	360 x 576	720 x 576
C_r	360 x 288	360 x 576	720 x 576

Conforme pode ser observado, tanto o NTSC quanto o PAL-M são processados em 3 formatos de sub-amostragem aceitos pelo MPEG, sendo que o componente de cor varia conforme a taxa de quadros de cada sub-amostragem. Dessa forma, o padrão MPEG possibilita a redução da taxa de amostragem, além disso, o sistema trabalha com dois tipos de processos que possibilitam reduzir ou amenizar as redundâncias de imagem: a transformada Coseno Discreta (*DCT – Discrete Cosine Transform*) e a Predição por Compensação de Movimento Inter-Frame. No primeiro processamento, ocorre a remoção de redundâncias espaciais e, no segundo, a remoção de redundâncias temporais, cujos processos serão detalhados a seguir.

3.4.1 Transformada Coseno Discreta

NESSE processo, ocorre o mapeamento entre a representação de uma imagem bidimensional e sua representação espacial. Desse modo, a imagem é dividida em blocos bidimensionais de 8 pixels/linha x 8 pixels (pois blocos maiores não aumentam significativamente a concentração da energia

nos coeficientes de baixa frequência). Na Figura 3.3, é possível observar o processo de transformação para o domínio espacial pela DCT [Chen et al. 2006].

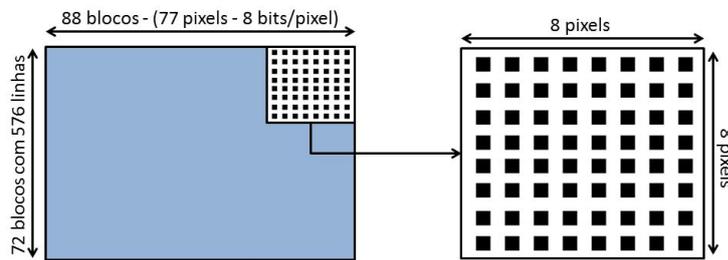


Figura 3.3: Obtenção de um bloco de 8x8 pixels

Por meio da Figura 3.4, pode-se perceber que a DCT consiste em um processo reversível (*IDCT – Inverse Discrete Cosine Transform*), pois efetua o mapeamento entre a representação de uma imagem bidimensional e sua representação no domínio frequência espacial.

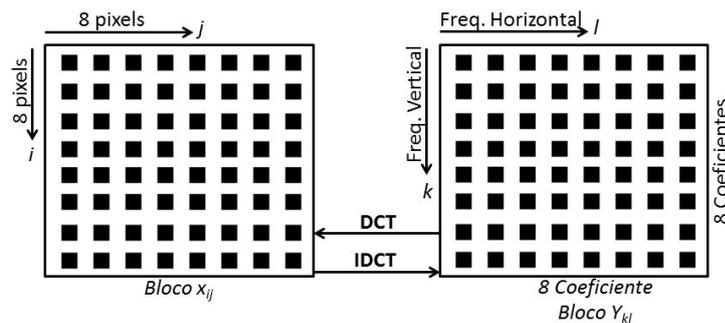


Figura 3.4: Pares de Transformadas DCT 8x8 em frequência Direta e Inversas

Como pode ser observado, sobre cada bloco é aplicada a DCT, que tem a função de aumentar significativamente a concentração da energia nos coeficientes de baixa frequência, compactando a imagem e possibilitando, com isso, uma melhor resolução. Outra vantagem desse processo sobre os demais, como por exemplo, o KLT (*Karhunen-Loève Transform*), é o baixo custo computacional [Castro 2001].

A sistematização do processo de transformação de um bloco 8x8 X_{ij} em um bloco 8x8 Y_{kl} compreende $X \rightarrow Y$, conforme Equação 5.4:

$$Y_{kl} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} X_{ij} \cos\left(\frac{(2i+1)k\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)l\pi}{2N}\right) \quad (3.1)$$

Onde: $N = 8$, e, $l = 0, 1, \dots, N-1$.

A transformação de um bloco 8x8 Y_{kl} em um bloco 8x8 X_{ij} por meio da IDCT é expresso por $Y \rightarrow X$ e definida pela Equação 5.4 e 3.3:

$$X_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} Y_{kl} c(k) c(l) \cos\left(\frac{(2i+1)k\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)l\pi}{2N}\right) \quad (3.2)$$

Onde: $i, j = 0, 1, \dots, N-1$ e

$$c(a) = \begin{cases} 1, & a = 0 \\ 2, & a \neq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Em linhas gerais, o processo de DCT não reduz o número de bits, o que ocorre é a produção de um bloco coeficiente com, no mínimo, 11 bits/coeficientes, que permite reversibilidade sem erros de truncamento. Esse processo tende a concentrar a energia dos coeficientes de baixa frequência próximo ao coeficiente zero. Ou seja, a redução da taxa de bits é obtida por meio da não transmissão dos coeficientes Y_{kl} de valor próximo a zero e codificação dos coeficientes remanescentes.

3.4.2 Quantização dos Coeficientes

COM a obtenção de um bloco Y_{kl} , resultado da transformada $X \rightarrow 8X8DCT \rightarrow Y$, cada coeficiente dessa operação recebe uma quantização, conforme a frequência espacial dentro do bloco que ele representa. Ou seja, na etapa da quantização, os coeficientes obtidos pela DCT são quantizados por meio de divisão por um fator de quantização. Com isso, ocorre a minimização do número de bits que serão transmitidos para o decodificador que faz a transformada inversa e reconstrução da imagem.

Nessa etapa, ocorre o processo de codificação e decodificação “com perdas”, uma vez que o ruído de quantização introduzido pelo codificador não é reversível no decodificador que, através de critério linear, realiza a maximização do número de coeficientes que são quantizados para zero. Dessa forma, as variações ao redor do zero são suprimidas, podendo ser modificadas, resultando na melhora da qualidade e compressão da imagem.

É importante observar que alguns blocos possuem ruído de quantização mais aparentes que outros. Com isso, os parâmetros de quantização podem ser modificados para limitar o máximo de erro de quantização, principalmente nos coeficientes de alta frequência.

3.4.3 A Codificação RLE, Codificação VLC e a Varredura ZIG-ZAP

O RESULTADO da quantização consiste em uma matriz dos coeficientes da DCT, que na sequência, passam pela leitura em zig-zag, resultando em uma grande sequência de zeros. O processo recebe esse nome, em virtude da “varredura” ser feita na diagonal. Na Figura 3.5, a seguir, é possível visualizar a varredura de um bloco Y_{kl} e a geração da sequência de amostras para codificação RLE e codificação VLC.

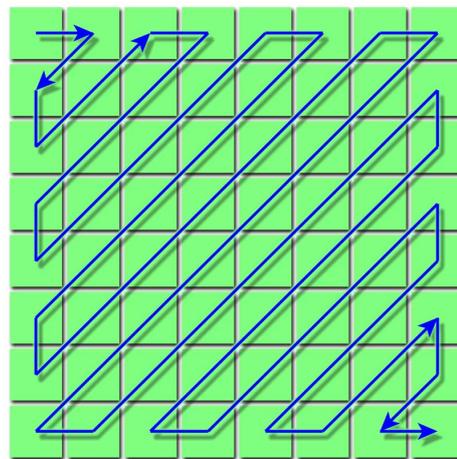


Figura 3.5: Varredura de Blocos para Codificação RLE e VLC

Conforme pode ser observado, os blocos Y_{kl} de 8x8 coeficientes quantizados são “varridos” para transformar os 64 coeficientes do bloco em uma sequência serial de coeficientes quantizados. Com isso, ocorre a codificação RLE (*Run-Length Encoding*), que consiste na contagem dos zeros que antecede um coeficiente não zero gerando um par (r_0c^*) . Além disso, cada par recebe um código de comprimento variável (VLC – *Variable Length Codig*) em um modo similar ao Código de Huffman, ou seja, o VCL gera um código de diferentes comprimentos, conforme a frequência esperada de ocorrência de cada par, produzindo uma taxa de bits variável, conforme a imagem e seu tipo de movimento [Shastry et al. 2008].

3.4.4 Taxa de Transmissão Controlada pelo Canal

PARA que seja possível limitar a banda do canal de transmissão, as taxas de bits devem adotar um padrão constante. Para tanto, é utilizado um buffer que diminua essas variações, sendo que a prevenção de *overflow* e

underflow ocorre por meio do Controle de Ocupação do Buffer.

Vale salientar que, quanto menor a taxa de transmissão menor será a banda ocupada no canal. Com isso, é possível considerar a redução do custo da banda contratada sem perda da qualidade da imagem. Na Figura 3.7, está esquematizada a estrutura do codificador por DCT, com o controlador de ocupação do buffer.

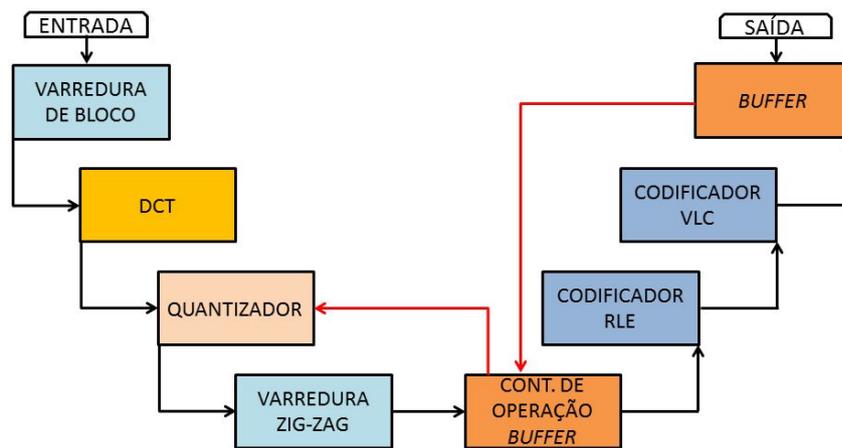


Figura 3.6: Codificador por DCT

3.4.5 Predição Interframe: Redução da Redundância Temporal

A REDUNDÂNCIA temporal ocorre quando as regiões de um quadro futuro podem ser estimadas por um outro quadro. Nesse contexto, é implementado um codificador denominado codificador PCM Diferencial (*Differential Pulse Code Modulation*) que transmite apenas as imagens quantizadas, não mudando os detalhes da imagem na passagem de um quadro para outro. Na Figura 3.7, é apresentado um codificador DPCM básico, que demonstra a estrutura do processo de redução de redundância temporal.

É importante salientar que a predição não é baseada em uma imagem fonte prévia, uma vez que a predição é repetida no decodificador, onde as imagens fonte não estão disponíveis. Além disso, o decodificador reconstrói as imagens, onde as amostras de um quadro de referência são usadas na predição de amostras de outro quadro, reduzindo a redundância temporal [Yang and Wang 2009]. Esse processo é denominado predição interframe, e é exemplificado na Figura 3.8.

Como pode ser observado, a predição interframe, parte basicamente da combinação da DCT (aplicada ao erro de predição) e codificação RLE/VLC

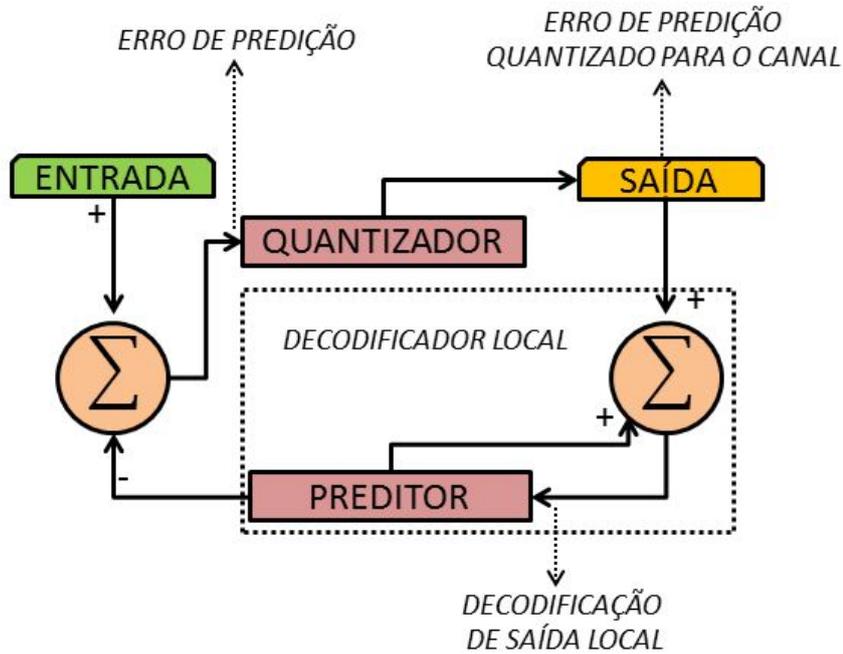


Figura 3.7: Codificador por DCT

(codificação dos valores quantizados), onde o codificador subtrai a previsão de entrada estimada pelo quadro anterior, formando uma “imagem-erro-de-predição”. A essa imagem é aplicada a DCT, os coeficientes resultantes são quantizados e, em seguida, codificados usando RLE/VLC. No entanto, quando o bloco de imagem não é temporal, o codificador utiliza Predição Interframe com Compensação de Movimento.

3.4.6 Compensação de Movimento: Predição Interframe

\mathcal{E} SSE tipo de predição usa o modo mais adequado para eliminar a redundância temporal. É utilizado quando ocorre movimento de translação em uma sequência de cenas transmitidas em um certo bloco do quadro a ser codificado, conforme pode ser observado na Figura 3.9.

Para determinar o movimento entre o bloco que está sendo codificado e o bloco no quadro de referência, é utilizada a busca *block-matching*, conforme pode ser visualizado na Figura 3.10.

O método de busca *block matching* se fundamenta em um processo de tentativas junto ao codificador, baseado na medida do mínimo de erro. A escolha do algoritmo de medida de movimento para o “processo de codificação” é selecionado pelo projetista do decodificador, já que o padrão MPEG define somente o “processo de decodificação” e, dessa forma, podem ocorrer diferen-

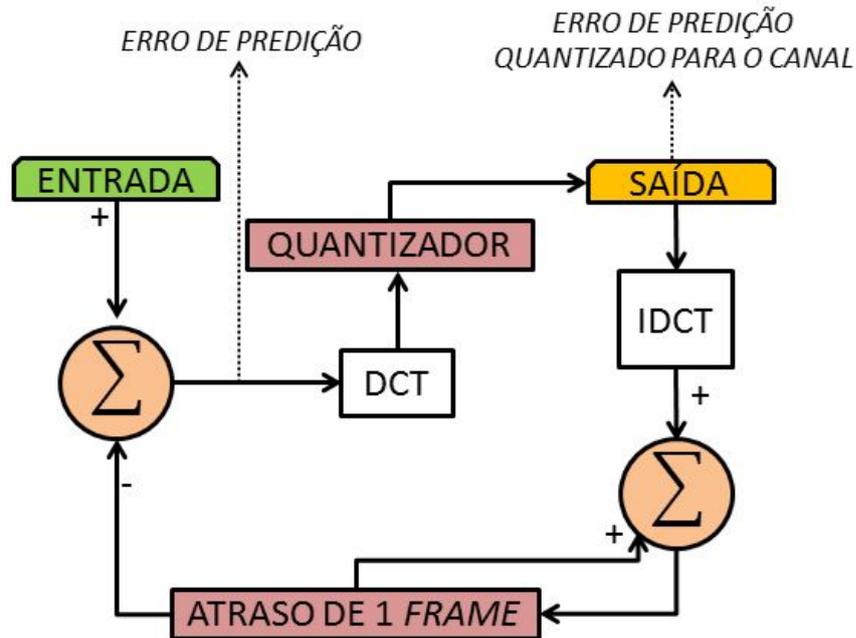


Figura 3.8: Codificador por DCT com previsão de interframe

ças de desempenho. Uma forma de contornar essa diferença é determinar uma área maior na busca de qualquer movimento que ocorra de quadro para quadro, mas isso também aumenta o custo computacional para encontrar a melhor situação em que ocorre maior semelhança entre o bloco referência e o que está sendo codificado. Diante disso, usam-se várias técnicas para resolução desse problema como, por exemplo, a *hierarchical block matching* [Ohm and Sullivan 2011].

Outro método utilizado é a previsão bidirecional que determina uma combinação linear dos quadros nas direções *backward* e *forward*, interpolando-os, conforme pode ser visualizado na Figura 3.11.

Pelo que pode ser observado, a previsão bidirecional com compensação de movimento se baseia em macroblocos de 16 pixels por 16 linhas, e o erro de previsão do vetor de movimento é codificado através de codificação por comprimento variável, utilizando uma outra Tabela VLC. Esse método é somente útil para visualização de detalhes nos movimentos da cena.

A Figura 3.12, mostra um codificador por DCT com compensação de movimento interframe. Nesse processo, é possível observar o uso de um atraso variável, que compreende as tentativas de deslocamento para encontrar o *best match*.

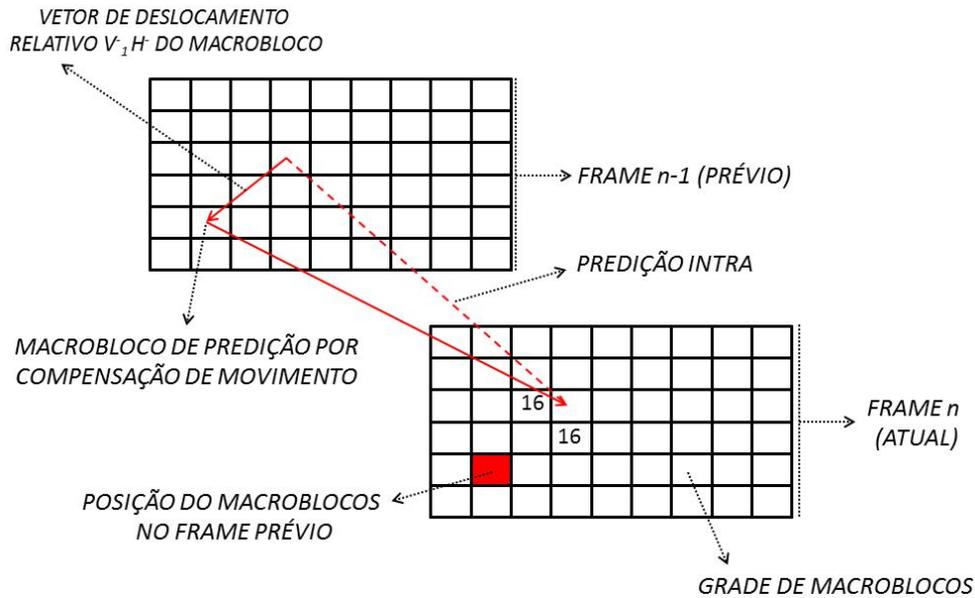


Figura 3.9: Predição interframe com compensação de movimento.

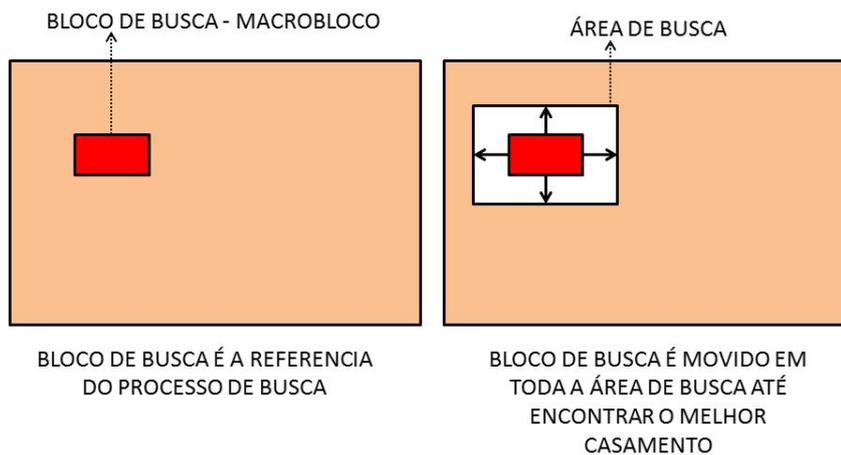


Figura 3.10: Processo de busca block matching.

Quando ocorre o *best match*, o atraso unidimensional é convertido em vetores de movimento bidimensionais. Essa predição, que reordena a ordem de apresentação das imagens no decodificador (as imagens são transmitidas em uma ordem diferente em que são mostradas), ocasiona um atraso considerável no processamento em que, em algumas aplicações, poderá ser um problema.

3.4.7 Modelos de Predição

EXISTEM vários meios para obter a predição por compensação de movimento em um codificador MPEG-2. Pode-se citar, como exemplo, um macrobloco que poderá ser predito com a codificação, a partir de quadros do tipo P (predição forward de uma imagem passada e uma predição backward de uma imagem futura), de quadros do tipo B (interpolada através da média em

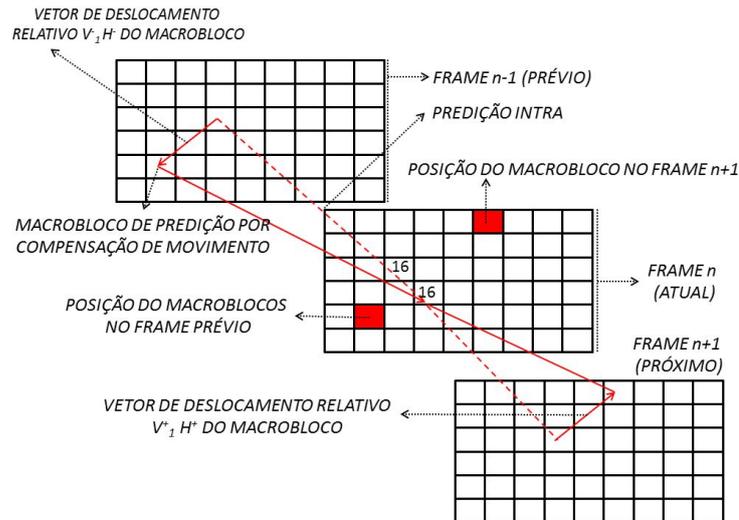


Figura 3.11: Predição bidirecional com compensação de movimento.

uma predição forward e backward) ou de valor “zero” (bloco da imagem codificado pela DCT ao oposto da codificação no erro de predição). A Figura 3.13, a seguir, apresenta um esquema de decodificação de um macrobloco “B”.

Conforme pode ser observado, o codificador sugere vários modos de predição a serem usados nos macroblocos, a fim de reduzir ao máximo as distorções de imagens. Quando encontrado o modo de predição correto (dentro das restrições da disponibilidade da taxa de bits do canal), essas informações são transmitidas ao codificador. Tais codificações são conhecidas como Tipo I ou Intra, que levam informações de vetores de movimento e, mesmo não sendo usadas comumente, sua função é prover uma forma de contornar erros de codificação devido a possíveis interferências no canal de transmissão [Sabir et al. 2009].

3.4.8 Tipos de imagens

Os tipos de imagens (frames ou fields) do padrão MPEG-2 definem o modo de predição que são usado em cada macrobloco a ser codificado. Na Figura 3.14, a seguir, são apresentados os tipos de imagem de referência utilizados no processo de predição. Vale salientar que, no MPEG-2, três tipos de imagens são definidos: Imagem Intra (tipo I), Imagem Bidirecionalmente Preditiva (tipo B) e Imagem Preditiva (tipo P) [Koumaras et al. 2009].

Conforme pode ser observado, a posição das setas indicam a dinâmica entre a imagem de referência e o resultado do processo de predição.

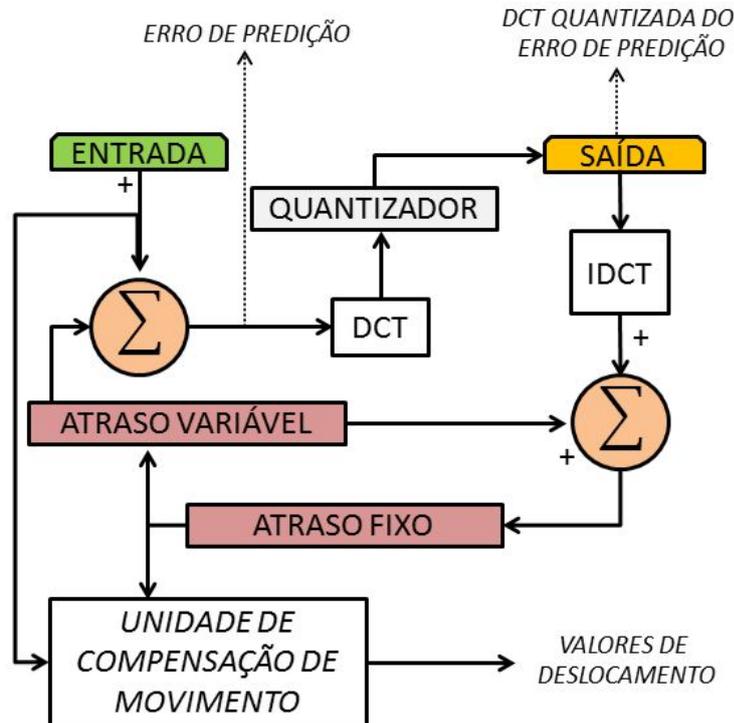


Figura 3.12: Codificador por DCT com previsão interframe e compensação de movimento.

3.4.9 Imagem Intra (Tipo I)

SÃO imagens codificadas sem referência a outras, nas quais por meio da redução de redundância espacial, obtém-se uma compressão moderada. A imagem Intra é utilizada quando é necessário iniciar a decodificação em um ponto intermediário [Koumaras et al. 2009].

3.4.10 Imagem Preditiva (Tipo P)

SÃO imagens codificadas empregando-se previsão por compensação de movimento. Possuem maior compressão em comparação às imagens Tipo I, pois utilizam-se de redundâncias espacial e temporal [Koumaras et al. 2009].

3.4.11 Imagem do bidirecionamento Preditiva (Tipo B)

AS imagens do bidirecionamento preditiva são um tipo de Imagens codificadas com compensação de movimento tipo I ou P, tanto passadas quanto futuras. Para esse tipo, o codificador reordena a imagens a partir da ordem sequencial para a ordem de transmissão (ordem sequencial de bits transmitidos). Na Figura 3.15, é ilustrado como a sequência se repete e como é a dinâmica da previsão backward a partir de um quadro futuro

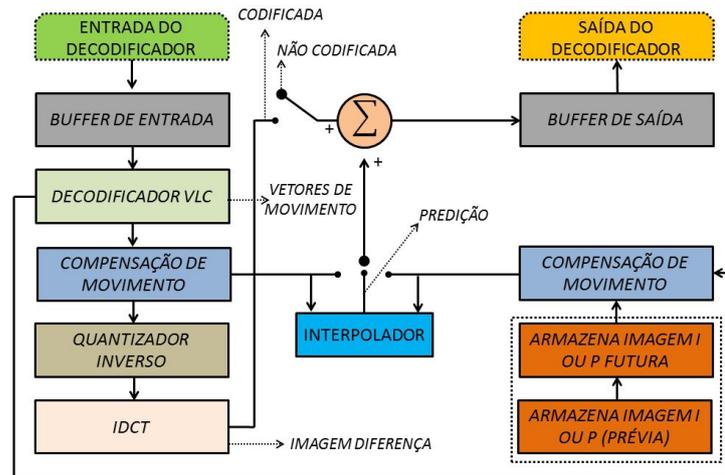


Figura 3.13: Decodificador de um macrobloco "B".

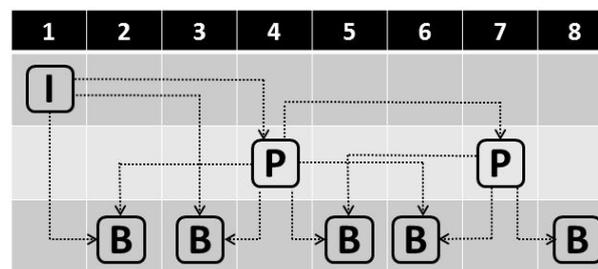


Figura 3.14: GOP em sistema de imagens MPEG.

[Koumaras et al. 2009].

Pelo que se pode notar, a partir de uma ordem natural, as imagens são reordenadas de tal forma que a imagem B é transmitida após as imagens passadas e futuras, produzindo um atraso que depende do número de imagens B consecutivas. Por esse motivo, essas imagens possuem o mais alto grau de compressão.

3.4.12 Grupo de imagens (Group of Pictures – GOP)

GOP é uma sequência consecutiva de imagens para visualização. Trata-se de um grupo iniciado com uma imagem I ou B e finalizado por I ou P. Nesse contexto, sua estrutura é descrita com base nos seguintes parâmetros: “N” é o número de imagens no grupo de imagens, “M” o grupo de imagens entre duas imagens “P”, incluindo uma delas.

É importante salientar, que cada tipo de imagem produz diferentes quantidades de bits. Como as imagens P e B possuem maior compressão de imagem, uma vez que guardam as mudanças do quadro anterior para o posterior, as

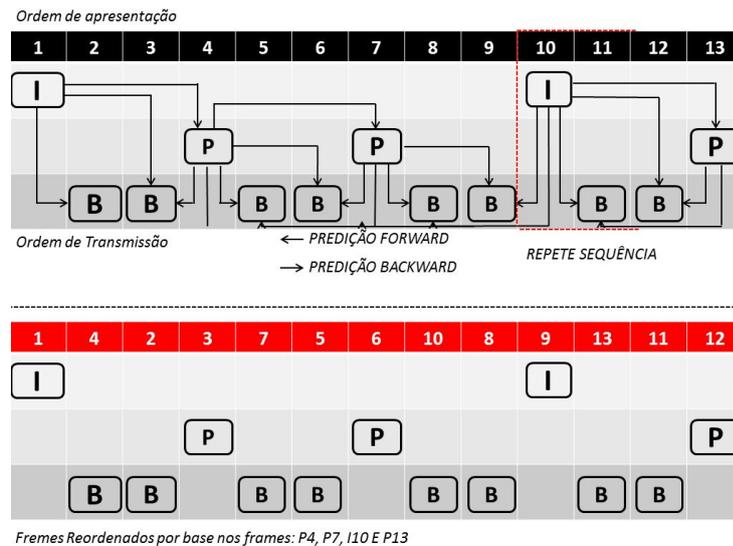


Figura 3.15: Exemplo de GOP com $N=9$ e $M=3$

imagens codificadas do tipo I produzem muito mais bits que as demais, uma vez que não possuem referência a outras imagens [Castro 2001].

Fazendo uma relação de compactação, as imagens do tipo I produzem 3 vezes mais bits que P, e P produz 50% mais bits que B, conferindo às imagens do tipo B o mais alto grau de compactação.

3.5 Padrão MPEG e os Níveis de Perfis Operacionais

O PADRÃO MPEG-2 foi desenvolvido com diferentes algoritmos de compressão que atendem às mais variadas situações, em uma única sintaxe sequencial de bits codificado. Essa sintaxe possui subconjuntos ou perfis nos quais é definido um nível, especificando restrições aos parâmetros do mesmo. Como se percebe, as restrições são determinadas conforme os parâmetros de resolução da imagem, sendo que todos os decodificadores devem ter a capacidade de decodificar a sequência de bits ISO/IEC 11172. Além disso, os perfis são divididos em níveis associados a uma resolução espacial e temporal, o que lhes confere características próprias que, combinadas com o nível de resolução da imagem, determinam seus pontos de conformidade. Os principais perfis são:

1. Perfil simples: Caracteriza-se pela amostragem 4:2:0, com geração de imagens em I e P, não operando em B. Com isso, o grau de complexidade desse perfil é pequeno e seu desempenho de compressão relativamente baixo, já que nenhuma reordenação de imagem é requerida. Por esse mo-

tivo, esse perfil é utilizado em aplicações que permitem pequenos atrasos, como por exemplo, vídeo conferência.

2. Perfil principal: Esse perfil gera imagens I, P e B, com relativa melhora da qualidade da imagem e com suporte para vídeo entrelaçado, sendo que a maioria dos codificadores MPEG-2 de chip suportam esse perfil. Embora ocorra um aumento da taxa de transmissão de bits, esse perfil possui um maior atraso.
3. Perfil SNR: Apresenta as mesmas características do perfil principal, acrescido ajuste diferenciado da SNT (Signal-to-Noise Ratio) de quantização nas diversas layers do MPEG, proporcionando com isso melhor qualidade da imagem tratada. O vídeo é dividido em um tipo de layer separado em alta e baixa qualidade;
4. Perfil espacial: Embora possua as mesmas características do perfil SNR, esse perfil apresenta escalabilidade espacial, proporcionando camadas de refinamento e adequação de resolução espacial diferenciado em várias camadas;
5. Perfil alto: Esse perfil possui as mesmas características do perfil espacial, porém suporta vídeo amostrado 4:2:2.

3.6 Conclusão

O SUCESSO do grupo MPEG em definir novos padrões de codificação e compressão de vídeos, baseados em um conjunto de técnicas, possibilitou uma larga aplicabilidade, taxa de bits e serviços. Essa especificação define a sintaxe das cadeias de bits e o processo de decodificação que poderá variar de acordo com a qualidade e as metodologias usadas para seleção do modo de predição. Essa qualidade depende exclusivamente do conteúdo da imagem. Com o aumento na experiência em codificação/decodificação MPEG, provavelmente devem diminuir as taxas de bits aplicadas na qualidade das imagens.

Trabalhos Relacionados

Querem que vos ensine o modo de chegar à ciência verdadeira? Aquilo que se sabe, saber que se sabe; aquilo que não se sabe, saber que não se sabe; na verdade é este o saber.

Kung-Fu-Tzu (Confúcio)

4.1 Enquadramento Teórico

APÓS uma busca exaustiva no estado da arte, não foram encontrados trabalhos relacionados que abordassem mecanismos avançados de controle e descarte seletivos de pacotes em redes IEEE 802.16 WiMAX, com particularidades consolidadas sobre a variação de vídeos distintos, com características e aspectos de redundância temporal, espacial, complexidade, movimentação, variação de GOP e BitRate, congestionamento da rede e métricas objetivas de QoE (*MSU-Tools*) relevantes, como SSIM, PSNR, VQM e stvSSIM. Dessa forma, este capítulo aborda justamente o estudo em questão.

A seguir, os trabalhos relacionados serão apresentados por tópicos, de acordo com cada tecnologia abordada na investigação, sendo divididos em três categorias: (i) Abordagem sobre as Redes WiMAX, (ii) Conteúdo Multimídia em Redes WiMAX, (iii) Codificação de Vídeo, Propostas de soluções WiMAX com suporte a QoE. Essa divisão tem por objetivo facilitar o entendimento sobre diversas abordagens existentes para cada um dos aspectos de implementação das aplicações baseadas em conteúdo multimídia. É importante ressaltar a

questão da otimização dos conteúdos multimídia, que ainda permeiam uma série de discussões sobre sua transmissão. Existem diversas propostas para otimizar aplicações dos conteúdos multimídia e poucas aplicações reais que façam uso de mecanismos de descarte seletivo de pacotes.

4.2 Abordagem sobre as Redes WiMAX

NÉSSA seção, serão abordados os avanços recentes das aplicações multimídia sobre redes WiMAX, de forma a demonstrar os desafios da entrega de conteúdo multimídia em sua transmissão. O problema de uma transmissão de conteúdo multimídia genérico através de redes WiMAX é abstratamente formulado como um problema de alocação de recursos *cross-layer*¹. Além disso, considerando a transmissão de conteúdo multimídia como um exemplo particular, discutir a transmissão sobre redes IEEE 802.16 de tais conteúdos é um desafio. O foco desta seção está dividido nas seguintes abordagens:

1. Uma análise completa do estado da arte, envolvendo técnicas de otimização de entrega de conteúdo multimídia através de redes WiMAX com ênfase nas classes de serviços de QoS, resumi-la e discuti-las com base em sua transmissão multimídia sobre cada classe;
2. Propostas de descartes seletivos de pacotes em redes WiMAX, levando em consideração os descartes por prioridade de quadros, por dependência, por prioridade e dependência, por pacotes de menor tamanho descartados que contenham quadros do tipo B, depois P, e depois I, e por último, H, ou por tamanhos dos quadros, fazendo uma direta relação do tamanho do quadro com a quantidade de informação que ele carrega. Considerando que um quadro com muita informação possui um tamanho maior e um quadro com menor informação tem tamanho menor, e outros mecanismos que serão discutidos no Capítulo 6.

Com base em recentes especificações do padrão IEEE 802.16, a interface OFDMA da camada física [Farhadi et al. 2011] se tornou um dos mecanismos de banda larga sem fio promissor, para suportar alto rendimento em redes sem fio, em áreas de cobertura de grandes dimensões [Theckedath and Thomas 2011]. As redes WiMAX também podem servir como redes de *backhaul* para que o cliente acesse *hotspots* utilizando diferentes

¹O *cross-layer* é utilizado entre a camada de transporte e de enlace, mais especificamente entre o TCP e o ARQ afim de entregar o ACK do TCP de forma eficiente.

tecnologias, incluindo IEEE 802.11a/b/g, bem como IEEE 802.16d/e. A característica mais proeminente do WiMAX é que ela pode fornecer serviços de transmissão de dados a grande distância e com alta taxa de transmissão. A Figura 4.1 ilustra um exemplo de entrega de conteúdo multimídia sobre redes WiMAX. O tráfego de conteúdo multimídia consome demasiadamente

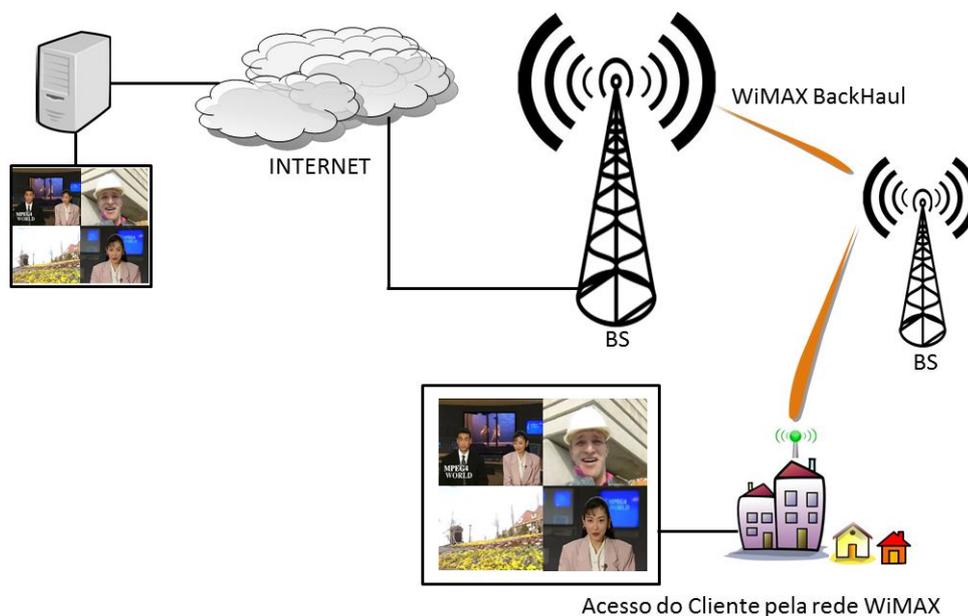


Figura 4.1: Aplicação Multimídia em redes WiMAX.

recurso da banda, porém, a perda sensível ao atraso é tolerante. Erros de bits ou perdas de pacotes são inevitáveis em redes WiMAX devido à característica sujeita aos erros de canal sem fio. Outra característica importante de streaming de multimídia é a importância dos pacotes, onde os fluxos de pacotes têm diferentes valores na percepção do usuário em termos de redução de distorção (ou seja, alguns fluxos de pacotes podem ser muito mais importantes do que os outros pacotes). Felizmente, a camada de acesso ao meio (MAC) do WiMAX é projetada para proporcionar QoS de forma flexível para diferentes aplicações, que estabelecem as bases para suportar conteúdo multimídia através de redes WiMAX em dois aspectos: a diferenciação de tráfego entre as conexões e recursos de adaptação de alocação dentro de cada conexão.

Cada fluxo de aplicação de tráfego (por exemplo, vídeo, voz, dados) pode ser mapeado a um ou vários fluxos de serviços, e cada fluxo de serviço é mapeada em uma conexão lógica com um identificador de conexão (*connection identifier-CID*) de 16 bits. A Unidade de Serviço de Dados (*Service Data Unit – SDU*), por exemplo, um quadro de vídeo H.264 ou MPEG de camada superior é transmitido com o CID adequado por um classificador SDU. A

parte da subcamada MAC executa fragmentação de retransmissão, bem como controle de QoS. Há cinco classes de QoS definidas no WiMAX: A classe UGS - *Unsolicited Grant Service*; ertPS - *extended real-time polling service*; rtPS - *real-time polling service*; nrtPS - *non real-time polling service* e BE - *best effort* [Ben-Othman and Mokdad 2011] e os atributos de cada classe de serviço em termos de diferenciação de tráfego são descritos a seguir.

Exemplos de Aplicações para cada tipo de classe de serviço em redes WiMAX.

1. UGS: A classe de serviço UGS é especialmente projetada para suportar os fluxos de serviço em tempo real, garantindo a geração de pacotes de tamanho fixo de dados em uma base periódica. A classe de serviço UGS oferece, em tempo real, banda periódica, o que elimina a sobrecarga de solicitação de largura de banda e latência [Andrade Quinga and Naranjo Culqui 2011]. As aplicações típicas para UGS são fluxos de dados de T1/E1, G.711 com base voice-over-IP tráfego (VoIP), sem repressão de silêncio, etc [Jha et al. 2011].
2. ertPS: em redes IEEE 802.16, introduz serviço de sondagem estendida em tempo real, que permite que as redes IEEE 802.16 gerenciem as taxas de tráfego e as políticas de transmissão, bem como melhora o desempenho de latência e jitter, onde a classe de serviço ertPS é construída sobre a eficiência da UGS e rtPS [Nasser et al. 2011]. A estação base (BS) concede largura de banda *unicast* de uma forma semelhante a UGS. Diferente da UGS, a ertPS estabelece que as alocações de largura de banda da classe UGS permaneçam fixas, enquanto que as alocações ertPS são dinâmicas. As vantagens oferecidas pelo ertPS são especialmente importantes no suporte de aplicações VoIP sem repressão de silêncio, que geram pacotes de dados de tamanho variável com base periódica [Balakrishnan et al. 2011].
3. rtPS: A classe de serviço rtPS é projetada para suportar os fluxos de serviço em tempo real, com pacotes de dados variáveis e oferece oportunidades de pedido *unicast* em tempo real e de forma oportuna, o que permite que a estação de assinante (SS) especifique o tamanho desejável a conceder a banda esperada [Ismail and Ashour 2011]. O rtPS incorre em mais largura de banda quando há pedido de subvenção a sobrecarga de UGS, mas melhora a eficiência de transmissão de dados e utilização de recursos de largura de banda. As aplicações típicas para rtPS incluem

streaming de vídeo MPEG (*Moving Pictures Expert Group*), videoconferências e IPTV [Abdollahpouri and Wolfinger 2011].

4. nrtPS: A classe de serviço nrtPS é projetada para assegurar fluxos de serviços e receber oportunidades, quando ocorrem pedidos de largura de banda, mesmo durante o congestionamento da rede, onde BS oferece um serviço de sondagem *unicast* para SS em uma base regular [Kubota et al. 2011]. É especialmente adequada para o atraso tolerante de fluxos de dados, como HTTP baseado em navegação na Web, FTP baseado em transferência de arquivos, etc [Jin and Guo 2011].
5. BE: A intenção da classe de serviço BE é apoiar os fluxos de dados sem requisito mínimo de largura de banda alocação. O serviço BE (para o serviço de exemplo, e-mail) está em uma base de recursos disponíveis, onde nenhum rendimento ou garantias de atraso são fornecidos [Leu and Lin 2011].

No geral, o QoS em redes WiMAX tem uma flexibilidade significativa para diferenciar fluxos de aplicação (por exemplo, voz, vídeo / imagem, dados), e dessa forma, fornece serviços diferenciados para esses fluxos. Mais importante: a arquitetura de programação flexível do sistema WiMAX oferece vantagens consideráveis para a adaptação e otimização de alocação de recursos em cada fluxo multimídia. Nenhuma das propostas apresentadas na literatura conseguem fornecer um aumento na qualidade da distribuição de conteúdo multimídia com suporte a QoE, onde isso pode ser realizado com algoritmos inteligentes de descarte de pacotes.

4.3 Conteúdo Multimídia em Redes WiMAX

GERALMENTE, streaming multimídia em tempo real apresenta desafios significativos em redes sem fio, devido à natureza variável no tempo de canais sem fio, como: largura de banda limitada, flutuação de estado do canal, bit de erro, perda de pacotes, ruído e interferências. Muitas soluções foram propostas para lidar com os desafios para redes IEEE 802.16, com conteúdo de streaming multimídia em tempo real. Investigação incidindo sobre alocação de recursos onde os autores [Trajkovic 2011] propõem soluções eficazes, para melhorar o desempenho de atraso sensível a streaming multimídia sobre redes locais sem fio (WLANs) em que as soluções utilizadas são técnicas de proteção de erro de bit, como configuração e retransmissões para camadas de qualidade de diferentes meios de comunicação, para obter

a melhor qualidade de esforço multimídia com restrições de taxa ou atraso. Os autores [Abdallah et al. 2010] investigam uma fórmula para o problema de alocação de recursos de rede, como uma seleção ideal de estratégias de transmissão nas camadas de aplicação, MAC e Física, onde maximizam sua qualidade multimídia percebida pela métrica PSNR que está sujeita à restrição de velocidade e atraso. O seguinte artigo [Van Der Schaar et al. 2005] promove uma abordagem estratégica para determinar a camada cruzada com base na classificação em aprendizado da máquina. Limites de repetição de camada MAC foram previstos para vários pacotes de vídeo transmitidos em redes 802.11 a WLANs, de acordo com a importância da percepção de cada pacote de vídeo e condições do canal atual.

A transmissão por meio *unicast* e [multicast] de vídeo streaming usam otimização sobre WLANs, onde os autores [Majumda et al. 2002] usam métodos híbrido e automático que se repetem na solicitação (ARQ) combinando com a Camada Física com correção de erro antecipada (FEC) e retransmissão de camada de ligação, conforme descritas para fluxos de difusão ponto a ponto. O problema de otimização de difusão seletivo foi resolvido pelos autores através da combinação de origem de codificação progressiva sobre a camada FEC (*Forward Equivalence Class*). Outra solução de ARQ híbrido combina o (RS) *Reed-Solomon* com a taxa de codificação compatível com (RCPC), que codifica para H.263 o streaming de vídeo em redes sem fio.

A investigação dos autores [Huang et al. 2007] revelou que um eficiente controle sobre a transmissão de conteúdo multimídia foi importante para oferecer suporte a fluxos de tráfego em tempo real, em redes WiMAX. Eles, especialmente, sugeriram que o vídeo codificado escalável para o formato H.264/AVC foi crucial para transmissão de diferentes pacotes de vídeo em diversas conexões com tratamento diferente de proteção e retransmissão. No entanto, eles se basearam no pressuposto de que nenhum recurso adaptável à alocação existente em cada conexão, podendo provocar uma sobrecarga significativa no gerenciamento de conexões múltiplas.

4.4 Propostas de soluções WiMAX com suporte a QoE

ESTUDOS demonstram que a transmissão de conteúdos multimídia em tempo-real, através da Internet, vem se tornando cada vez, mais popular e consome mais recursos da rede mundial de computadores. Por sua

vez é dada maior atenção à qualidade percebida pelos usuários finais, assim como é cada vez mais importante a preocupação com a influência que as aplicações multimídia em tempo-real exercem sobre os demais tipos de fluxos que trafegam pela Internet. No entanto, a utilização de algoritmos de controle para tráfego multimídia visa a garantia de QoS e QoE para usuários em redes sem fio.

Em um dos trabalhos, os autores [Kovács et al. 2010] apresentam um algoritmo para calcular os requisitos de largura de banda para serviços VBR *Variable Bit Rate* Multimídia. O cálculo baseia-se no mapeamento de um descritor QoE, que avalia a qualidade percebida pelos usuários e um descritor QoS para calcular a quantidade esperada de perda. Foram usadas três métricas para medir a qualidade percebida pelo usuário: as métricas PSNR, SSIM e VQM. O modelo do sistema proposto foi de estimar a largura de banda necessária do fluxo para um nível de qualidade exigido. A reserva da banda é dividida em duas etapas. Na primeira etapa, o método determina a quantidade de perda pelo usuário final. Na segunda etapa, a largura de banda necessária é calculada com base na perda máxima permitida. Este segundo procedimento é modelado usando o esquema de enfileiramento DTMC (*Discrete Time Markov Chain* onde este determina o processo de chegada para a fila de vídeo baseado no codec H.264/SVC. O modelo de vídeo apresentado pelos autores não é desenvolvido para fornecer uma descrição exata do vídeo original, mas, sim, para permitir reserva eficiente de banda.

Em outro trabalho, os autores [Serral-Gracià et al. 2010] apresentam técnicas de ANM (*Autonomic Network Management*) que automatizam a reserva de recursos em engenharia de tráfego, através de métricas de satisfação do usuário. Todavia, a avaliação de QoE exige definições de um conjunto de métricas capazes de avaliar objetivamente a satisfação do usuário final. Na prática, a avaliação torna-se complexa porque envolve uma série de fatores subjetivos, que geralmente não estão relacionados com o desempenho da rede, por exemplo, o humor do usuário ou a resposta do sistema, ao contrário das plataformas clássicas de avaliação de QoS, que são voltadas à rede.

A fim de compreender os novos desafios da avaliação de QoE na entrega de aplicações multimídia, são analisadas pelos autores as limitações atuais em sistemas de medição de QoS quanto aos aspectos subjetivos relacionados à percepção humana. No sentido de permitir uma avaliação mais precisa da qualidade experimentada pelos usuários, os autores avaliam o tráfego

multimídia através da rede, usando mecanismos de QoE onde definem quais métricas são adequadas para a avaliação da qualidade. Essas métricas foram divididas em duas categorias distintas, chamadas Métricas Diretas, obtidas a partir de vários tipos de dados em diferentes camadas, requisitando informações específicas sobre o desempenho da rede. Já as Métricas Indiretas consideram as propriedades que afetam a experiência do usuário sobre o conteúdo multimídia assistido, mas que não estão diretamente relacionadas com a qualidade do conteúdo multimídia.

Em outro trabalho, os autores [Greengrass et al. 2009a] e [Greengrass et al. 2009b] apresentam testes para avaliar o impacto das diferentes durações de perda de pacotes. Na prática, a perda pode ocorrer devido à conectividade transitória perdida após falhas de link ou em nós de rede, onde serão identificados os melhores e piores cenários de transmissão de fluxo MPEG. Os testes realizados demonstram que cada cenário verifique o tipo de dados multimídia exibidos e o impacto de QoE ao espectador. Esses testes foram realizados por períodos consecutivos de perda de pacotes IP, que variam de 10ms a 500ms, para o movimento de vídeo de alta-resolução e para as resoluções SD (*Standart-definition*) e HD (*high-definition*). Foi verificado, nos testes realizados, que as mesmas conclusões identificadas para o SD se aplicam para o HD, não há diferenças significativas entre o SD em comparação com o HD por um período equivalente a perdas de pacotes.

Todavia, a QoE é a qualidade percebida de maneira subjetiva pelo usuário, onde ela é influenciada por todos os componentes envolvidos na comunicação fim-a-fim, incluindo o próprio usuário, o terminal, a rede e a infraestrutura do serviço. A fim de realizar uma avaliação subjetivas, os autores [Seshadrinathan et al. 2010] realizam uma avaliação sobre os efeitos de compressão de vídeo. Este estudo incluiu 150 vídeos derivados de dez vídeos de referência, usando quatro tipos de distorção e foram avaliados por 38 indivíduos. Em uma investigação mais detalhada, os autores [Chikkerur et al. 2011] avaliam em um esquema de classificação objetiva de vídeo para referência integral e de referência reduzida, usando métodos de avaliação de qualidade do vídeo. Os autores [You et al. 2010] analisaram e avaliaram diferentes redundâncias espaciais e temporais para métricas de qualidade de imagem, que serviram como parâmetro para a avaliação de qualidade do fluxo de vídeo afetados por descartes de pacotes.

Diferentes métricas de qualidade de imagem foram utilizadas para avaliar a qualidade de cada quadro de vídeo ou de uma região espacial de um quadro. Utilizaram-se diversas métricas no artigo, como: PSNR, SSIM, MSSIM, VSNR, PHVS, IFC, VIF, UQI, NQM, WSNR, e JND. Já os autores [Gomes et al. 2010] apresentam uma versão estendida dos protocolo OLSR, OLSR-FLC (custo ligação fuzzy), que foram desenvolvidos com base em uma versão existente do protocolo OLSR-DC. Essa nova versão usa a lógica fuzzy para construir um sistema fuzzy que visa resolver o problema do uso de diversas métricas para o roteamento e aumenta a experiência multimídia no uso das métricas VQM, SSIM e PSNR. Em outro trabalho, os autores [Moorthy et al. 2010] utilizam avaliação subjetiva para medir a qualidade percebida de sequências de vídeo transmitidas no formato H.264, através de um canal sem fio genérico. Com base nos resultados do estudo, vários algoritmos com o objetivo de avaliação de qualidade foram avaliados por meio de métricas populares, para avaliar sua correlação com a percepção humana. No trabalho seguinte, os autores [Wang et al. 2010] usam modelos lineares generalizados para prever os índices de qualidade VQM. Usando um modelo baseado em rede, um roteador pode estimar a importância visual de cada pacote de entrada e decidir qual pacote será descartado quando o congestionamento acontecer. Considerando-se uma grande variedade de taxas de bit, estes autores realizam experimentos de descartes pacotes para combinações de fluxos de vídeo e examinam os efeitos do conteúdo de vídeo em diferentes taxas de bits, no entanto os autores [Lin et al. 2010] propõem um mecanismo de descarte para diferentes taxas de perda de pacotes. Baseando-se em um modelo de perda por visibilidade, a importância visual de cada pacote codificado em H.264 é avaliada.

Os autores [Balakrishnan 2010] propõe duas novas arquiteturas para resolver as questões que surgem por causa do streaming multimídia, nas redes de acesso sem fio. A primeira arquitetura proposta é a orientada à camada de aplicação que busca transmitir vídeos otimizados que economizam a largura de banda, assim como energia em dispositivos móveis, tentando manter o QoE com qualidade. Em seguida, é proposta uma nova arquitetura de realimentação fim-a-fim, apresentando um enquadramento no servidor de streaming que otimiza a capacidade do dispositivo de vídeo para bateria, tamanho da tela e o QoE, mapeando as camadas do IP e parâmetros de QoS para o tráfego de camada MAC do WiMAX. O sistema é implementado e testado através de *testbed* e em simulação sobre redes IEEE 802.16.

Em outro trabalho relacionado, os autores [Perez and Garcia 2011] analisam os efeitos de descartes de pacotes em conteúdos multimídia e propõem um modelo de prioridade para os pacotes, onde as prioridades mais altas são dadas para os pacotes cuja perda tem efeito mais forte na percepção do usuário (QoE). O modelo proposto atribui prioridades a cada um dos pacotes de quadros com base na estrutura de codificação audiovisual: tipo de posição do quadro, do pacote dentro do quadro e posição do quadro dentro do GOP.

Os autores [Vishwanath et al. 2010] realizam um estudo e simulação sobre QoE, no sentido de avaliar a qualidade do usuário (usando a métrica PSNR) em uma transmissão multimídia de uma fonte para uma estação móvel (MS), através de uma estação base (BS) WiMAX. Já os autores [Amram et al. 2011] fazem uma avaliação gráfica sobre o MOS por variação do BitRate. Em [Costa et al. 2011], são apresentados novos mecanismos de controle de descarte de pacotes para manter os fluxo de vídeo em um nível aceitável sobre as redes IEEE 802.16. Esses mecanismos consideram a degradação da qualidade de experiência conforme o tipo de quadro e suas ligações. A metodologia apresentada e sua aplicação no estudo de caso permitem uma investigação da degradação da qualidade de experiência por pacote.

4.5 Conclusão

ESTE capítulo realizou uma investigação sobre diversos trabalhos relacionados, tomando por base trabalhos recentes publicados entre 2008 a 2012. As pesquisas foram focadas em publicações acerca da tecnologia WiMAX, tomando por base transmissão multimídia aplicada às classes de serviços e as métricas de QoS. Foram também explorados os trabalhos sobre QoE, precisamente sobre as avaliações objetivas e subjetivas de vídeos, em cenários homogêneos, assim como as métricas mais relevantes de QoE, usando ontologias sobre mecanismos de descarte de pacotes de conteúdo multimídia.

Métricas de Avaliação de Qualidade

Se o ensino é superior, a pessoa que o abraça é digna de respeito. Assim sendo, desprezar essa pessoa é o mesmo que desprezar o próprio ensino. Isto é comparável a atitude de censurar uma criança, cujo ato é ao mesmo tempo uma censura aos pais.

Nitiren Daishonin

5.1 Métricas de Avaliação

ESTA seção apresenta os resultados e discussões que servem de base para a definição dos mecanismos de controle de QoE. Primeiro, uma comparação global dos mecanismos é realizada. Depois, uma análise aprofundada do mecanismo que obteve o melhor desempenho. O objetivo dos experimentos é verificar o impacto de cada mecanismo na experiência do usuário em redes WiMAX, medindo diversas métricas objetivas de QoE, variando 3 tipos de vídeos que levam em consideração a redundância temporal, espacial, complexidade, movimentação, variação de GOP, congestionamento e BitRate.

5.2 Métricas de Qualidade de Serviço - QoS

As métricas de Qualidade de Serviços são usadas para descrever a perspectiva do desempenho e o comportamento de uma rede sobre a sua utilização e performance, podendo ser definidas por um número específico de parâmetros que deverão ser cumpridos para a implementação da rede de

computadores, principalmente quando envolverem o tráfego de informações através de redes mais amplas, como a Internet.

5.2.1 Perda (*Loss*)

APERDA dos quadros afeta diretamente a qualidade de um fluxo de tráfego com conteúdo multimídia e essas perdas podem ocorrer por diversos motivos, a saber: Os dispositivos de rede, como roteadores, têm um *buffer* limitado. Se o número de quadros excede o limite da fila, então, parte dos quadros são descartados. As perdas também podem surgir a partir de erros de transmissão e esse problema é particularmente relevante nos meios de comunicação sem fio, devido ao meio. Por último, alguns quadros podem ser descartados pelo receptor, quando a recepção de um quadro chega atrasada.

5.2.2 Atraso (*Delay*)

OATRASO afeta a qualidade do serviço dos usuários. Esse parâmetro é particularmente relevante em aplicações de tempo real, como vídeo-conferência. Nessas situações, os grandes atrasos levam ao descontentamento entre os usuários.

Existem diversas fontes de influência do atraso, como: propagação, transmissão e processamento de filas.

O atraso de propagação está relacionado com o meio utilizado. Meios com mais velocidade de transmissão, tais como redes sem fio, provocam atrasos menores em relação às mídias com menor velocidade de transmissão, tais como cabos.

O atraso de transmissão é o tempo necessário para transmitir todos os bits do quadro em um link com uma certa taxa de dados. Processamento e tempo de fila em equipamentos de rede também aumentam o atraso final. Quanto mais complexo é o processamento de quadros ou menor os recursos de computação, maior será o tempo de transmissão no equipamento de rede.

Se o tempo de processamento não é suficiente para o quadro de entrada, o quadro é empilhado no *buffer* para ser transmitido e essa transmissão será mais longa e mais demorada. Finalmente, a codificação e decodificação de flu-

xos, no transmissor e receptor, respectivamente, também aumentam o atraso de processamento, especialmente em dispositivos com recursos limitados.

5.2.3 Variação do atraso *Jitter*)

OJITTER é uma inconstante variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede, podendo ser definida como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados transmitidos pela rede. Nota-se, ainda, que uma variação de atraso elevada produz uma recepção desregular dos pacotes. Todavia, uma das formas de reduzir a variação de atraso é a utilização de *buffer*, o qual armazena os dados à medida que eles chegam e os encaminha para a aplicação seguindo uma mesma cadência. Ocorre nos momentos onde este passa pelo valor zero, sendo bastante crítica nos sistemas que operam com modulação em fase. Para esse sistema, tanto o efeito do *Jitter*, variação de latência, quanto a sua mais simples solução, bufferização, não são agradáveis.

No entanto, para resolver este problema um *buffer* é introduzido no cliente sendo que o tamanho desta reserva é crucial. *Buffer* grandes conduzem a atrasos mais distantes, enquanto *buffer* muito pequenos levam a uma baixa capacidade de adaptação e, conseqüentemente, a perdas elevadas.

O fragmento de código abaixo implementa um algoritmo para o cálculo do *jitter* em um dado momento. Em primeiro lugar, calcula o tempo de trânsito, calculando a diferença entre o tempo enviado e o recebido. Em seguida, calcula a diferença entre o tempo de trânsito do último quadro e do atual. Finalmente, calcula o *jitter* utilizando um fator de 1/16, onde se dá uma boa taxa de redução de ruído, mantendo uma taxa razoável de convergência.

Tabela 5.1: Calculo do Jitter

```

transit = arrivaltime - timestamp;
difference = |jtransit - s à lasttransit|;
lasttransit = transit;
lastjitter = lastjitter + (1/16) * (difference - lastjitter);

```

5.3 Métricas de Qualidade de Experiência - QoE

MÉTRICAS de Qualidade de Experiência estão divididas em métricas subjetivas e objetivas, onde no método subjetivo, um grupo de avaliadores em condições de visualização específica classifica o conteúdo multimídia, conforme ilustrado na Figura 5.1. Esses resultados são tratados estatisticamente para antecipar a percepção do usuário. No entanto, essas métricas são demoradas e caras e não podem ser utilizadas em avaliações em tempo real.

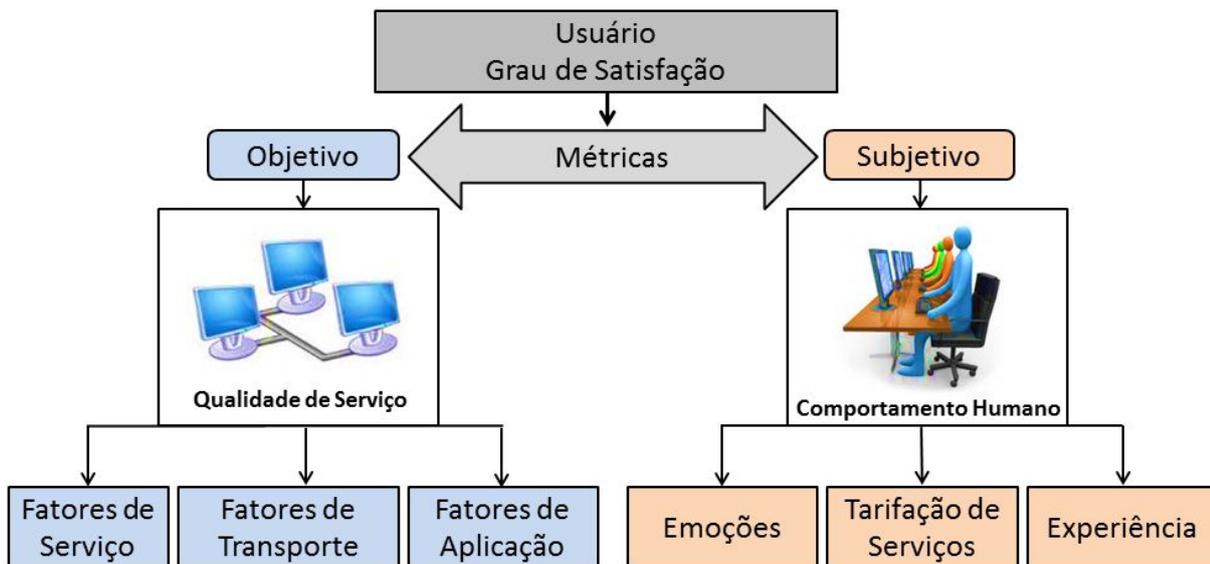


Figura 5.1: Ilustração de QoS e QoE na rede.

Nas métricas objetivas são modelos matemáticos que tentam aproximar os resultados de métricas subjetivas. As métricas objetivas podem ser divididas em:

1. -FR (Full Reference)
2. -RR (Reduced Reference)
3. -NR (No Reference)

Métricas de Referência Completas *FR (Full Reference)* podem ser usadas para todas as referências. Sinais de vídeo enviados e recebidos são usados para comparação sobre a FR. No entanto, devido à sobrecarga causada no sistema, esse método não pode ser usado em cenários reais e é usado com o propósito de simulação. O método de Referência de Redução *RR (Reduced Reference)* é usado em transmissão de dados adicionais, mesmo que reduzidos e pode ser proibitivo no ambiente alvo. As métricas Sem Referência *NR (No Reference)* surgiram para superar a sobrecarga no sistema.

5.3.1 MOS - Mean Opinion Score

A MÉTRICA MOS (*Mean Opinion Score*) é uma métrica subjetiva que avalia o conteúdo multimídia, geralmente em uma escala de 1 a 5, onde 5 é o melhor resultado, como mostrado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Valores de Mean Opinion Score

MOS	QUALIDADE	DEFICIÊNCIA
5	EXCELENTE	IMPERCEPTÍVEL
4	BOM	PERCEPTÍVEL, MAS NÃO INCOMODA
3	RAZOÁVEL	INCOMODA UM POUCO
2	POBRE	INCOMODA
1	RUIM	INCOMODA MUITO

Na avaliação de vídeo, o número possível de indivíduos em um teste de visualização do vídeo varia de 4 a 40. Geralmente, em razão de validade, o número de telespectadores deve ser de, pelo menos, 15. Eles não devem estar diretamente envolvidos na avaliação da qualidade de imagem como parte de seu trabalho e não devem ser avaliadores experientes. Por fim, a prova deve ser realizada sob condições de visualização específicas. Essas condições incluem a distância de visualização, o pico de luminosidade da tela, a cromaticidade do fundo e da iluminação de fundo do quarto.

5.3.2 PSNR - Peak Signal-to-Noise Ratio

A MÉTRICA PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) utiliza a referência completa (FR) e é amplamente utilizada para avaliação do vídeo. Essa métrica é definida pelo MSE (*Mean Square Error*) com base no cálculo da Equação 5.1:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} ||Ys(i, j) - Yd(i, j)||^2 \quad (5.1)$$

Onde $Ys(i, j)$ e $Yd(i, j)$ representa os valores da luminância do pixel (i, j) da moldura original e transformados, respectivamente. Mas, devido à grande variação do MSE, o PSNR é expressado em uma expressão logarítmica definida na Equação 5.2, onde k é a taxa de bits de vídeo.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{2^k - 1}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (5.2)$$

Assim, para uma amostra de vídeo de 8 bits / com pixels por quadro MXN (*Mexican Peso*), o PSNR é então definido pela Equação 5.3:

$$PSNR = 20 \log_{20} \left(\sqrt{\frac{255}{N_x M \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|Ys(i, j) - Yd(i, j)\|^2}} \right) \quad (5.3)$$

A Equação 5.4 é frequentemente usada para definir os valores absolutos máximos de diferença dos componentes de cor:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{MaxErr^2 \cdot w \cdot h}{\sum_{i=0}^{w,k} (X_{i,j} - Y_{i,j})^2} \quad (5.4)$$

Onde temos o *MaxErr* que é o valor absoluto máximo possível da diferença dos componentes da cor: *w* é a largura do vídeo, *h* é a altura do vídeo. Geralmente, essa métrica é equivalente ao MSE, sendo que é mais conveniente de usa-la devido à sua escala logarítmica.

O software VQMT (*MSU Video Quality Measurement Tool*) pode calcular PSNR para todos os componentes de YUV, RGB e para os componentes do L do espaço de cor de LUV. Existem quatro aplicações no VQMT para o PSNR. O uso do “PSNR” e do “APSNR”, onde é realizado o cálculo sobre o valor máximo absoluto do PSNR, sendo possível da tomada da diferença da cor sobre o *MaxErr*. Essa forma de cálculo dá um efeito desagradável após a conversão da profundidade de cor, ou seja, se a profundidade de cor é aumentada para 8 a 16 bits, o “PSNR” e “APSNR” mudarão, porque *MaxErr* deve mudar de acordo com o valor absoluto possível máximo da diferença da cor (255 para 8 componentes do bits e 255 + 255/256 para 16 componentes do bits). Assim, o “PSNR (256)” e “APSNR (256)” são executados e não mudariam porque usam o limite superior da diferença da cor como *MaxErr* e o limite é superior é 256. Abaixo estão as regras de definição do *MaxErr*:

• “PSNR” e “APSNR” - *MaxErr* varia no uso dos bits dos componentes da cor, conforme dados abaixo:

1. 255 para 8 componentes do bits;
2. 255 + 3/4 para 10 componentes do bits;
3. 255 + 63/64 para 14 componentes do bits;
4. 255 + 255/256 para 16 componentes do bits;
5. 100 para L componente do espaço de cor de LUV;

Se os bits diferem para dois vídeos comparados, será arbitrado o uso máximo de bits para poder ser selecionado o *MaxErr*. Todas as conversões do espaço de cor dão suporte para conduzir 8 bits de imagens. Significa que se, por exemplo, você está medindo R-RGB PSNR para um arquivo de 14 bits YUV, os seguintes bits serão tomados como *MaxErr*: • “PSNR (256)” e “APSNR (256)” - *MaxErr* é selecionado de acordo com as regras seguintes:

1. 256 para espaços de cor de YUV e de RGB;
2. 100 para componente L do espaço de cor de LUV;

A diferença entre “PSNR” e “APSNR” fica entre “PSNR (256)” e “APSNR (256)” e está entre o cálculo médio do PSNR para uma sequência de quadros. A maneira correta de calcular PSNR médio para uma sequência é calcular MSE médio para todos os quadros (MSE médio é meio aritmético dos valores de MSE para quadros) onde esse cálculo do PSNR é usado para a expressão ordinária para PSNR, definido na Equação 5.5:

$$PSNR = 10 * \log_{10} \frac{MaxErr^2}{MSE} \quad (5.5)$$

Esse cálculo médio de PSNR é usado em “PSNR” e em “PSNR (256)”. Mas, às vezes, é necessário tirar uma média simples de todos os valores dos quadros PSNR, “APSNR” e “APSNR (256)”. A Tabela seguinte resume as diferenças:

Tabela 5.3: Cálculo médio de PSNR entre “PSNR” e “PSNR (256)”

Métrica	Cálculo MaxErr	Cálculo Médio do PSNR
PSNR	Correto	Correto
PSNR (256)	256 - Rápido e Inexato	Correto
APSNR	Correto	Média
APSNR (256)	256 - Rápido e Inexato	Média

Todavia, a métrica PSNR é recomendada para o cálculo de PSNR desde que seja executada de acordo com a definição original de PSNR.

Cores, por ordem do crescimento de PSNR: vermelho, amarelo, verde, azul e preto, conforme a imagem 5.2 (nota: o PSNR maior - menor a diferença).

O PSNR é a métrica mais popular, porém não é a mais completa, pois indica apenas a diferença dos quadros recebidos em relação aos quadros originais, desconsiderando características importantes do SVH. O valor de PSNR é expresso em dB (decibel). Para que um vídeo seja considerado de boa qualidade, deve ter um valor médio de PSNR no mínimo de 30dB. Essa afirmação é baseada no mapeamento de valores de PSNR para MOS, conforme



Figura 5.2: Resultado do processamento do vídeo enviado e recebido para a métrica PSNR

Tabela 5.4: Mapeamento de PSNR para MOS

PSNR (dB)	MOS
> 37	5 (EXCELENTE)
31-37	4 (BOM)
25-31	3 (RAZOÁVEL)
20-25	2 (POBRE)
< 20	1 (RUIM)

observado pela Tabela 5.4.

Além do fato de ser largamente utilizado devido à complexidade, o PSNR só fornece uma indicação da diferença entre o quadro recebido e um sinal de referência, não levando em consideração aspectos HVS durante a avaliação.

5.3.3 SSIM - Structural SIMilarity Index

A MÉTRICA SSIM-(*Structural SIMilarity Index*) toma por uso a referência completa (FR). É uma métrica baseada em uma medição quadro-a-quadro de três componentes do SVH (Sistema Visual Humano), ou *HVS - System Visuality Human*: similaridade de luminosidade, similaridade de contraste e semelhança estrutural [Rao] e [Dosselmann and Yang 2011]. O índice SSIM produz um valor decimal entre 0 e 1, onde 0 significa correlação zero com a imagem original, e 1 significa exatamente a mesma imagem.

O interessante dessa métrica é que os três componentes são relativamente independentes. Por exemplo, a mudança de luminosidade e contraste não afetará a estrutura da imagem. Para isso, o resultado é computado, como mostrado na Figura 5.3.

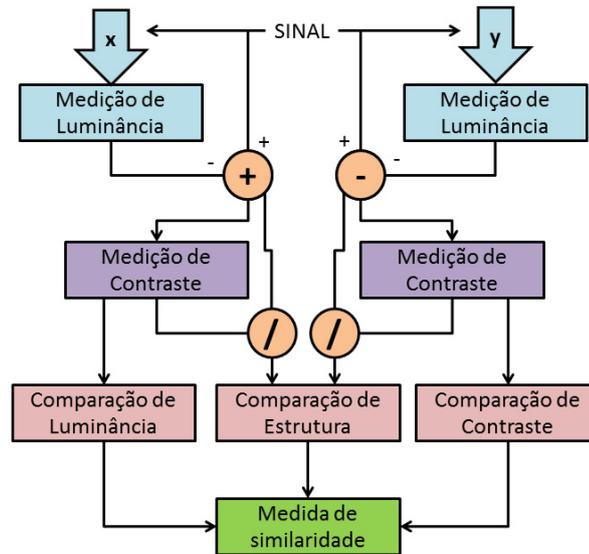


Figura 5.3: Sistema de Medição de Similaridade Estrutural

Primeiro o sinal luminosidade é comparado. Em seguida, o contraste do sinal é estimado removendo a intensidade do sinal, gerando, assim, um desvio padrão. Depois, o sinal é normalizado pelo seu desvio padrão próprio para proceder à comparação da estrutura. Finalmente, os três componentes são combinados para produzir uma medida de similaridade global.

A métrica SSIM é baseada em uma medição de três componentes (similaridade da luminância, similaridade do contraste e similaridade estrutural) e é combinada em um valor de resultado.

As imagens são sujeitas a uma grande variedade de distorções durante a aquisição, o processamento, a compressão, o armazenamento, a transmissão e a reprodução, do que pode conduzir a uma degradação da qualidade visual. Para as aplicações em que as imagens devem finalmente ser vistas pelos usuários finais, o único método “correto” de determinar a qualidade da imagem visual é com a avaliação subjetiva. Na prática, contudo, a avaliação subjetiva é geralmente cansativa, incômoda e demorada. O objetivo da pesquisa na avaliação de qualidade objetiva da imagem é desenvolver as medidas quantitativas que podem, automaticamente, prever a qualidade percebida da imagem.

A qualidade de imagem objetiva pode desempenhar uma variedade de funções em aplicações de processamento de imagem. Primeiro, ele pode ser usado para monitorar e ajustar dinamicamente a qualidade da imagem. Por exemplo, um servidor de conteúdo multimídia pode examinar a qualidade do

vídeo a ser transmitido, a fim de controlar e alocar recursos de streaming. Todavia, pode ser usado para aperfeiçoar algoritmos e ajustes do parâmetro de sistemas de processamento da imagem. Por exemplo, em um sistema de comunicação visual, uma métrica com base em qualidade pode ajudar no projeto de algoritmos da atribuição de pré-filtragem no codificador, e da reconstrução, da dissimulação de erro, e de algoritmos de pós-filtragem no decodificador. Pode-se também ser usada para avaliar sistemas e algoritmos de processamento da imagem.

O objetivo do medidor da qualidade da imagem pode ser classificado de acordo com a disponibilidade de uma imagem original (distorção-livre), com que a imagem distorcida deve ser comparada. As aproximações mais existentes são triviais como a Referência Completa *FR*. Em muitas aplicações práticas, a imagem ou quadro da referência não fica em estado disponível, já com a Sem-Referência *NR* cria uma aproximação “cega” da avaliação de qualidade de forma desejável. Outro método usado é quando a imagem da referência está só parcialmente disponível, sob a forma de um grupo de características extraídas, onde ficam disponíveis em forma de informação lateral para ajudar e avaliar a qualidade da imagem distorcida. Isso é referido como a avaliação de qualidade da referência reduzida *RF*.

O MSE é calculado pela média das diferenças de intensidade quadradas em pixels da imagem distorcida e de referência, junto com a quantidade de PSNR relacionados. Estes são atraentes porque são simples de calcular, têm significados claros e são matematicamente convenientes no contexto de otimização. Mas eles não são muito bem adaptados para a métrica VQM - *Video Quality Evaluation*.

5.3.3.1 Componente SSIM

COM base na divisão da região dos quadros no arquivo de origem, a métrica SSIM possui 3 tipos de regiões, sendo as bordas, texturas e regiões lisas. Essa métrica resulta do cálculo médio ponderado das regiões dos quadros, onde o olho humano pode ver a diferença em regiões texturizadas ou da borda, em regiões lisas. Divisão baseada no valor da inclinação em cada pixel das imagens. As aplicações do vídeo digital têm aumentado demasiadamente, devido ao desenvolvimento em muitas tecnologias, tais como: câmeras fotográficas, câmaras de vídeo, de DVD, vídeo móvel, games, sistema de teleconferências em vídeo, streaming de vídeo sobre a Internet,

bate-papo de vídeo, etc. Desde que a maioria das aplicações é dirigida pelos utilizadores finais, a qualidade visual de um sinal de vídeo é completamente importante. A monitoração da qualidade de tais vídeos exige, geralmente, métodos automáticos da avaliação.

O objetivo dos algoritmos VQA - *Video Quality Analyzer* é avaliar automaticamente a qualidade dos vídeos, de uma maneira que seja consistente com o sistema visual humano. Tais algoritmos são aplicados extensamente na aquisição dos resultados, em uma comunicação e nos sistemas de vídeo, e para codificadores de avaliação de teste de vídeo, para a monitoração da qualidade e o controle em linha dos quadros, para sistemas de transmissão de vídeo final, para a compressão de vídeo e a restauração perceptual, e assim por diante.

A Referência Completa (FR) é a mais simples e mais comumente utilizada, significa que uma imagem de comparação de referência está disponível para avaliar a qualidade de outra, onde é calculada pela média das diferenças de intensidade em quadrados de distorções e sobre a referência de pixels da imagem. O MSE e PSNR têm sido amplamente utilizados, porque eles são simples de calcular, têm significados físicos claros e são matematicamente convenientes. No entanto, eles têm sido amplamente criticadas por não correlacionarem bem com a qualidade percebida da imagem. [Loza et al. 2011].

Em um esforço para resolver esse problema, muitas métricas VQA foram recentemente propostas pela academia. Por conveniência conceitual, foram divididos métodos existentes VQA em três tipos diferentes, mas relacionados. O primeiro tipo é baseado na modelagem do HVS [Moorthy et al. 2011].

A segunda abordagem utiliza técnicas VQA, onde esta não é intuitiva, já que o objetivo dos sistemas VQA combina com o desempenho visual na predição de qualidade. O segundo tipo de abordagem é baseado na extração de características de imagem e/ou estatísticas. Estas são calculadas a partir da referência de vídeos, e incluem quantidades tão perceptivamente relevantes, como o brilho local, contraste, bordas, texturas, cores, e assim por diante. Vários algoritmos populares utilizam uma abordagem estatística baseada em sinal de VQA [Argyropoulos et al. 2011].

O terceiro tipo de abordagem utiliza informações de movimento local [Wang et al. 2004], [Wang and Li 2007], [Seshadrinathan and Bovik 2009]

e [Seshadrinathan and Bovik 2009], por exemplo, velocidade ponderada e índice de movimento estão intimamente relacionados com o algoritmo de imagem estática da qualidade analisada do (SSIM), onde este opera sob a suposição de que a percepção visual é altamente adaptada para extrair informação estrutural de uma cena. Outro exemplo, impor um modelo de movimento ponderação para SSIM, para explicar o fato de que a precisão da percepção visual é significativamente reduzida quando a velocidade de movimento é grande. Os autores [Li and Bovik 2010] propuseram um algoritmo PQSM - (*Perceptual-quality significance map*) através de informações extraídas de sua utilização por base de estímulos perceptivos locais de contraste de cor, contraste, textura, movimento e as características cognitivas. Os autores mostraram que as ideias em PQSM podem melhorar o desempenho VQA da MSE / PSNR e SSIM.

Todos esses algoritmos operam exclusivamente usando recursos de baixo nível de vídeo, negligenciando a importante influência do conteúdo da imagem. A qualidade do vídeo é altamente correlacionada com o conteúdo de vídeo. Há uma série de fatores que influenciam na percepção humana de qualidade visual.



Figura 5.4: Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica SSIM

5.3.3.2 Métrica SSIM - Multi Escala

A MÉTRICA Multiescala - SSIM é baseada na métrica SSIM em diversos níveis de imagens originais e seu resultado é a média ponderada das métricas.

Avaliações da qualidade de imagem têm objetivo de conceber medidas de qualidade que podem, automaticamente, prever a qualidade da imagem

percebida. A qualidade das medidas desempenham papéis importantes em uma ampla gama de aplicações, tais como aquisição de imagem, compressão, comunicação, restauração, melhoramento, análise, visualização, impressão e marca d'água. A qualidade de imagem mais utilizada é a Referência Completa (FR) e algoritmos de avaliação de distorção como o PSNR e MSE, que não se correlacionam bem com a qualidade percebida.

Tradicional métodos de avaliação de percepção de imagem de qualidade são baseados em uma abordagem que tenta simular a funcionalidade do componente do sistema visual humano (HVS) em um processo de pré-processamento, que pode incluir o alinhamento da imagem linear e transformar em um processo de decomposição do canal que transforma os sinais de imagem em diferentes frequências espaciais. Em particular, o HVS é um sistema complexo e altamente não-linear, onde a complexidade das imagens naturais são bastante significativas. A maioria dos modelos de análise que usam o HVS, toma por base operadores linear ou quase linear que foram caracterizados por meio de estímulos simplistas e restritos. Assim, essas abordagens devem contar com uma série de suposições fortes e generalizadas. Além disso, como o número de recursos HVS tem aumentado, os sistemas de avaliação de qualidade resultante tornaram-se muito complicados para trabalhar com aplicações do mundo real, especialmente para fins da otimização do algoritmo.

A métrica MSSIM oferece uma abordagem alternativa e complementar para o problema da avaliação de qualidade de imagem. É baseada em uma suposição que percorre a estrutura da composição do quadro de cima para baixo, para que o HVS seja adaptado para a extração de informações estruturais da cena, e, portanto, uma medida de semelhança estrutural deve ser uma boa aproximação da qualidade da imagem percebida. No entanto, o algoritmo SSIM em Multi Escala é uma abordagem em escalas únicas. Consideramos esta uma desvantagem do método, porque a escala correta depende de condições de visualização (por exemplo, exibir resolução e distância de visualização).

Resumidamente, o método SSIM multi-escala apresenta uma nova imagem baseada em uma abordagem para calibrar os parâmetros da importância relativa entre diferentes escalas do quadro. Conforme a imagem 5.5, as áreas mais brilhantes correspondem a maior diferença.

Há dois algoritmos realizados para multi-escala SSIM, sendo uma rápida e a outra precisa, como métricas SSIM. A diferença é que a rápida usa filtro de caixa, enquanto a precisa usa borrão.



Figura 5.5: Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica MSSIM

5.3.4 Spatio-Temporal video SSIM (stVSSIM)

AVALIAÇÃO de algoritmos de qualidade de vídeo envolve a concepção de algoritmos que podem ser usados para prever a qualidade percebida dos vídeos. Tradicionalmente, o MSE foi utilizado para essa finalidade. No entanto, muitos autores [Ponomarenko et al. 2011a] e [Ponomarenko et al. 2011b] informam que o MSE não se correlaciona bem com a qualidade da percepção humana. Sendo o usuário visualizador final do vídeo, sua percepção de qualidade é de extrema importância. Dadas às peculiaridades do (HVS), a métrica MSE não funciona bem em termos de correlação com a percepção humana.

Os algoritmos VQA têm sido tradicionalmente classificados como algoritmos que predizem a qualidade de um vídeo em períodos de testes para VQA sobre Referências Completas (FR). Estas predizem a qualidade do vídeo de teste sem a presença de referência (NR), onde o VQA conduz fluxos incorporados em vídeos de teste com algumas informações para referências reduzidas (RR). Os autores [Seshadrinathan and Bovik 2007] propuseram um novo algoritmo baseado no VQA denominado Motion-based Video Integrity Evaluation (MOVIE), onde o algoritmo MOVIE utiliza a multi-escala espaço-temporal com um banco de filtros “Gabor”, para decompor os vídeos e para computar vetores de movimento. O algoritmo MOVIE é uma opção interessante para VQA devido à sua performance. No entanto, a aplicação prática do algoritmo MOVIE para VQA é dificultada pela complexidade com-

putacional do algoritmo. A fim de preencher a lacuna, foi desenvolvido um novo algoritmo sobre o conceito espaço temporal do vídeo sobre a métrica SSIM. Tal métrica é denominada de stVSSIM e tem por base a essência do filme processado. O stVSSIM utiliza a escala SS-SSIM *simple single-scale structural similarity index* para avaliação da qualidade espacial. SS-SSIM se correlaciona bem com a percepção humana de qualidade para avaliação de qualidade de imagem (IQA - image quality assessment).

A métrica stVSSIM é atingida por uma extensão do SS-SSIM ao domínio espaço-temporal e essa extensão é rotulada como SSIM-3D. Informações sobre a complexidade e movimentação é incorporada em stVSSIM usando um bloco baseado em algoritmo de estimativa da complexidade e movimentação, em contrapartida ao fluxo óptico como no MOVIE. Existem poucos algoritmos VQA que incorporam informações de movimento, mesmo que o HVS tenha a hipótese de calcular e utilizar essa informação.



Figura 5.6: Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica stVSSIM.

A ilustração da Figura 5.6 informa que os blocos mais brilhantes correspondem, a maior diferença.

Índices de qualidade de computação espacial e temporal em separado são mais uma vez, inspirados no HVS.

5.3.5 Video Quality Metric - VQM

A MÉTRICA VQM (*Video Quality Metric*) é uma métrica de referência completa (FR) que produz um valor entre 0 e 5, onde o 0 é a melhor pontuação possível, com base no vídeo original e processado. O VQM leva em conta os componentes HVS, a indefinição global do bloco, o ruído, a distorção

de cor e finalmente o DCT (*Discrete Cosine Transform*) para corresponder à percepção humana.

Uma sequência de vídeo digital sem compressão pode ocupar uma grande quantidade de espaço de armazenamento e largura de banda. Por exemplo, o típico formato CIF para MPEG-1 é de 360 pixels de largura e 288 pixels verticalmente. Assumindo que os quadros são em cores e com 8 bits de precisão, cada quadro ocupa cerca de 311 Kbytes. Se a taxa de quadros é de 24 quadros/segundo, então os dados brutos são de cerca de 60Mbit/s. Mas a largura de banda está bem abaixo deste bit-rate. (33,6 por modem, n*64 para ISDN e m*1x para ATM). Então essa taxa torna-se alta para a compressão e é fundamental para distribuição de vídeo difundida.

Métodos de compressão podem ser divididos em duas categorias: compressão sem perdas e com perdas.

Embora os métodos sem perda só possam alcançar uma proporção de 3:1, na melhor das hipóteses, métodos com perdas podem atingir uma taxa de compressão muito alta (100 ou superior). Como resultado, os métodos com perdas sempre introduzem novos objetos visuais. Para controlar tais objetos visuais associados à compressão com perdas, uma métrica de avaliação adequada da qualidade de vídeo é necessária.

Infelizmente, todos esses recentes padrões de compressão de vídeo digital (MPEG-1, 2,4, H.261, H.263 e assim por diante) use RMSE (*Root Mean Square Error*) são baseados em métricas SNR (*Signal to Noise Ratio*) ou PSNR, que são medidas simples para medir a qualidade visual.

A função espaço temporal reflete sobre a sensibilidade do contraste 5.7 e é a base para todas as métricas de vídeo com som. Com base em diferente sensibilidade, podemos representar a alta informação espacial ou temporal com uma precisão menor, enquanto os olhos humanos não são sensíveis à perda dessas informações. Quantização DCT explora esta propriedade diretamente.

Dessa forma, essa métrica é mais completa que PSNR e SSIM, pois avalia a distorção das cores, dos pixels, ruído, se o vídeo está "borrado". Todavia, essa métrica é a que mais se aproxima da forma de avaliação de imagens e vídeos feitos pelo SVH [Gelonch et al. 2010], pois a mesma baseia-se na comparação

do vídeo recebido pelo usuário em relação ao vídeo original, quanto ao brilho e ao contraste. A primeira etapa consiste na “calibração” do vídeo. Nessa etapa, o contraste e o brilho dos vídeos são comparados. Na segunda etapa, é realizada uma comparação do alinhamento espacial. Verifica-se a posição no eixo horizontal e vertical de ambos os vídeos. A terceira etapa analisa a quantidade de pixels perdidos em relação ao vídeo original. Já a quarta etapa refere-se ao alinhamento temporal, que compara o tempo no qual cada quadro foi recebido em relação ao tempo no qual o mesmo deveria ter sido recebido. Essa etapa consiste em avaliar o atraso do vídeo recebido pelo usuário.



Figura 5.7: Resultado do processamento do Vídeo enviado e recebido para a métrica VQM.

O VQM é dado por um número real onde quanto mais próximo o valor for de 0, melhor será a qualidade do vídeo, o que indica uma menor distorção em relação ao vídeo original [Vercammen et al. 2008], conforme ilustrado na Figura 5.7 os blocos mais brilhante corresponde a maior diferença.

5.4 Conclusão

O CONSUMO de conteúdo multimídia, como streaming de vídeo, vem aumentando significativamente nos últimos anos. No entanto, as redes de comunicação sem fio existentes não estão preparadas para otimizar os recursos transmitidos pela rede com base em seu conteúdo e na percepção dos usuários finais. Este capítulo buscou fazer uma revisão de conceitos e métricas que serão usados na definição e implementação dos mecanismos de controle de pacotes baseados em QoE para sistemas WiMAX, que serão apresentados no próximo capítulo. As métricas de QoE analisadas são: MOS, PSNR, SSIM e seus componentes, Mult-Escala do SSIM, Delta, MSAD, MSU Borrada e Abstrução de imagem, métricas sobre espaço temporal pela métrica stVSSIM e, por fim, a métrica VQM, finalizando o capítulo com a conclusão.

Mecanismos Propostos para Descarte Inteligente de Pacotes com Base em QoE em Redes WiMAX

Não dê as costas a possíveis futuros antes de ter certeza de que não tem nada a aprender com eles.

Richard Bach

6.1 Introdução

ATUALMENTE, as redes sem fio no padrão WiMAX IEEE 802.16 não oferecem suporte para QoE[Migliorini et al. 2010]. Conforme estudado no Capítulo 3, nos vídeos codificados no formato MPEG, os quadros são identificados em 4 tipos, sendo eles quadros do tipo H, I, P e do tipo B. Cada tipo de quadro possui uma importância e um papel diferente, que influenciam diretamente na qualidade final do vídeo [Gomide. J and A. 2009]. Observando essa característica, torna-se necessário aperfeiçoar o tratamento que os pacotes multimídia recebem em sistemas WiMAX, de forma a melhorar a qualidade recebida pela usuário e otimizar os recursos da rede.

A proposta de novos algoritmos deve considerar a influência do tráfego de streaming de vídeo sobre a percepção do usuário final em redes congestionadas, aprimorando os controladores de tráfego conforme as condições atuais

da rede. Os algoritmos têm que maximizar a qualidade da transmissão de vídeo e, com esse objetivo, serão apresentados e explorados 7 algoritmos com tais finalidades nessa proposta. Embora os resultados da pesquisa estejam sendo avaliados em redes WiMAX, tais mecanismos podem ser facilmente configurados para serem usados em redes com diferentes modelos de QoS, como redes 3G/UMTS e LTE. Sobre a interoperabilidade, não são necessárias modificações na estrutura dos pacotes e nos roteadores, apenas pequenas modificações precisam ser estendidas nas BSs, para suportar as soluções e mecanismos da proposta.

6.2 Mecanismo Avançado APD-FP

6.2.1 Algoritmo de descarte por prioridade HIPB (Menor tamanho de quadro e pacote)

A PRIORIDADE do descarte, se aplicada nessa ordem, serão descartados por primeiro, em caso de congestão da rede, pacotes de menor tamanho que contenham quadros do tipo B, depois P, e depois I e, por último, H.

Ex.: Se no *buffer* associado a uma classe de serviço WiMAX congestionada houver a seguinte situação, ilustrada na Figura 6.1:

--->Ordem de prioridade de descarte.				Continuação...			
-----> ID do pacote							
29.	1	H	0.040 1024	14.	16	H	0.040 738
28.	2	H	0.040 1024	13.	17	P	0.160 1024
27.	3	H	0.040 1024	08.	18	P	0.160 353
26.	4	H	0.040 1024	02.	19	B	0.080 818
25.	5	H	0.040 1024	04.	20	B	0.120 864
24.	6	H	0.040 1024	12.	21	P	0.280 1024
23.	7	H	0.040 1024	09.	22	P	0.280 634
22.	8	H	0.040 1024	05.	23	B	0.200 950
21.	9	H	0.040 1024	03.	24	B	0.240 824
20.	10	H	0.040 1024	11.	25	P	0.400 1024
19.	11	H	0.040 1024	10.	26	P	0.400 939
18.	12	H	0.040 1024	07.	27	B	0.320 1024
17.	13	H	0.040 1024	01.	28	B	0.320 78
16.	14	H	0.040 1024	06.	29	B	0.360 969
15.	15	H	0.040 1024				

Figura 6.1: Prioridade de Descarte (Menor Tamanho)

Se o próximo pacote a chegar for de um quadro tipo I de tamanho 1024, o controlador da fila descartará o pacote 28, por ser do tipo B e ter o menor tamanho: se, logo em seguida, chegar outro pacote contendo um quadro I de

6.4 Mecanismo Avançado ADP

6.4.1 Algoritmo de descarte por prioridade HIPB e ordem de chegada

CONFORME a estrutura de codificação MPEG ilustrada na Figura 6.3, alguns quadros são mais importantes do que outros, devido à quantidade de quadros que dependem de outros para serem reconstruídos. Como em um GOP, todos os quadros são dependentes de um quadro I: os quadros I são considerados mais importantes que os demais quadros. Os quadros P, apesar de dependerem dos quadros I, possuem quadros que dependem dele para serem reconstruídos, portanto também são importantes, mas menos importantes que os quadros I. Por último, os quadros B, por não possuírem quadros dependentes dele, tornam-se os quadros do tipo de menor importância e com menor impacto sobre a experiência do usuário.

O algoritmo de descarte por prioridade em questão considera o grau de importância de cada tipo de quadro da estrutura de codificação MPEG e inclui um sistema de descarte de pacote que realiza um controle do nível de qualidade do *streaming* de vídeo, baseado no grau de importância do tipo de quadro. Quando um quadro H ou I está marcado para ser descartado, é feita uma verificação checando se existe um pacote na fila de espera contendo um quadro do tipo P ou B, caso exista, é melhor efetuar o descarte de um pacote contendo um quadro do tipo P ou B, do que de um pacote contendo um quadro H ou I, devido ao número de quadros dependentes ser maior que o número de quadros que dependem de um quadro P ou B, tornando-o mais importante, reduzindo, assim, a perda desses tipos de quadros e com isso, causando um menor impacto sobre a qualidade final do vídeo quanto à percepção do usuário.

Assim como ocorre a troca do pacote para descarte contendo um quadro do tipo H ou I por um pacote contendo um quadro do tipo P ou B, devido ao seu grau de importância, o mesmo processo ocorre quando um quadro P está marcado para ser descartado, sendo que dessa vez é feita uma verificação checando se existe um pacote na fila de espera contendo um quadro do tipo B, caso exista, é realizado o descarte do quadro B ao invés do quadro P, também devido ao seu grau de importância. Já o pacote contendo o quadro P, que seria descartado, entra na fila de espera, também reduzindo o impacto sobre a qualidade final do vídeo. As operações do mecanismo são ilustradas

no fluxograma da Figura 6.4.

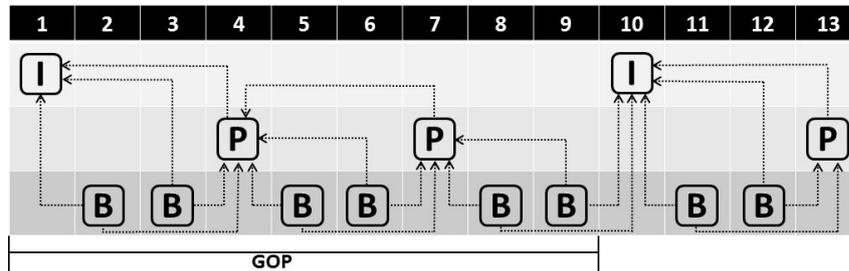


Figura 6.3: Estrutura MPEG

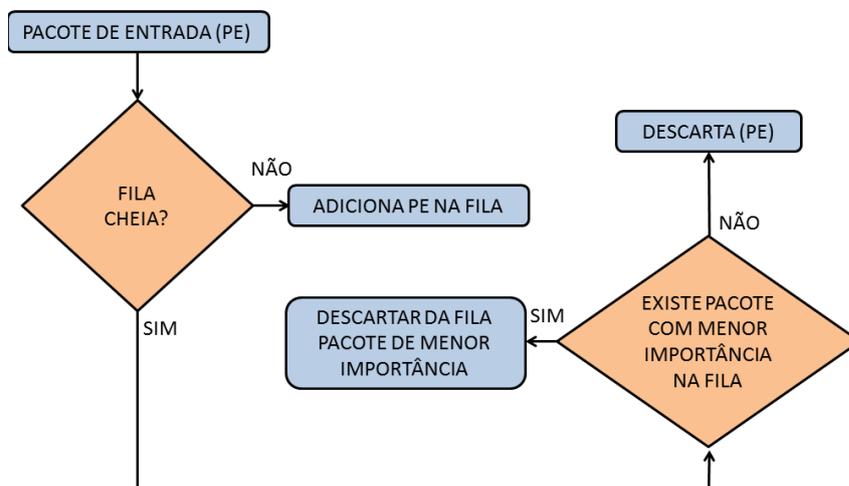


Figura 6.4: Fluxograma de Funcionamento do Algoritmo de Descarte por Prioridade

Esse mecanismo torna-se possível com o uso do DPI *Deep Packet Inspection*¹ e pela inclusão de informações sobre o tipo de quadro que será transportado, que pode ser alcançado através do cabeçalho do protocolo RTP (*Real Time protocol*).

6.5 Mecanismo Avançado ADDQ

6.5.1 Algoritmo de descarte por dependência quebrada (Quando fila estiver cheia)

Esse mecanismo é uma extensão do anterior, sendo que o controle de descarte é sobre o pacote a ser descartado. Em vez de analisar apenas a importância de cada tipo de fluxo de quadro, esse mecanismo verifica a

¹Deep Packet Inspection (DPI) permite a captura de pacotes de dados que estão sendo recebidos ou enviados para um dispositivo conectado à rede, e, então, rapidamente os examina para obter detalhes do conteúdo dessas informações.

Tabela 6.1: Algoritmo de Descarte por Prioridade

```

1  se fila.naoEstaCheia():
2    fila.adicionar(pacote)
3  se não:
4    se pacote.contemFrameTipo ('B')
5      descartar(pacote)
6    se não:
7      se pacote.contemFrameTipo ('P')
8        pacoteADescartar :=
9        fila.obtemFrameTipo('B')
10       se pacoteADescartar <> nulo:
11        fila.descartar(pacoteADescartar)
12        fila.adicionar(pacote)
13       se não:
14        descartar(pacote)
15       se não:
16        pacoteADescartar :=

```

importância sobre todos os quadros na reconstrução de vídeo. Para executar essa operação, são necessárias mais informações, tais como o tamanho GOP e o número de quadros entre Bs e Ps. Essa informação pode ser obtida da seguinte forma:

1. Por um protocolo de controle de streaming, como o RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) [Schulzrinne et al. 1998];
2. Por um algoritmo sendo executado no nó de origem onde realizar o controle avançado no sentido de obter informações sobre o número médio dos quadros do tipo B, P e I através de uma análise estatística do fluxo.

O funcionamento do mecanismo é muito semelhante ao anterior, no entanto, quando um pacote é quebrado, o algoritmo armazena o número de dependências quebradas e o número de quadros que depende dele. Na Figura 6.5, o número de quadros que depende de um pacote com um quadro B é 0. O quadro P2 depende de 4 quadros, o quadro P1 depende de 7 quadros e o quadro I depende de 8. Por isso, é preferível a quebra de pacotes seguindo a sequência: qualquer pacote com um quadro B, um pacote com o quadro P2, um pacote com o quadro P1 e, finalmente, um pacote contendo um quadro I.

Com base nesta estrutura de propriedade, se o pacote de entrada é marcado para ser descartado e não há um pacote na fila que leve a um menor número de dependências quebradas, então é preferível descartar o pacote já

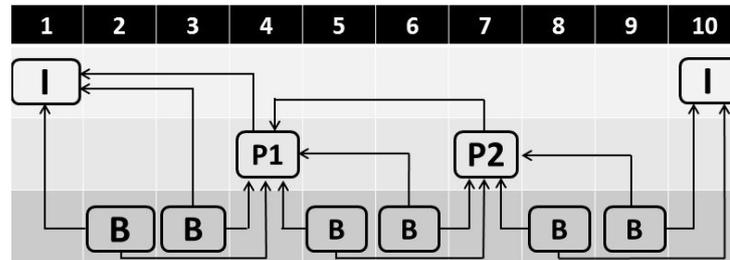


Figura 6.5: Estrutura MPEG por Descarte

no *buffer* e enfileirar o pacote de entrada. Caso contrário, o pacote de entrada é descartado.

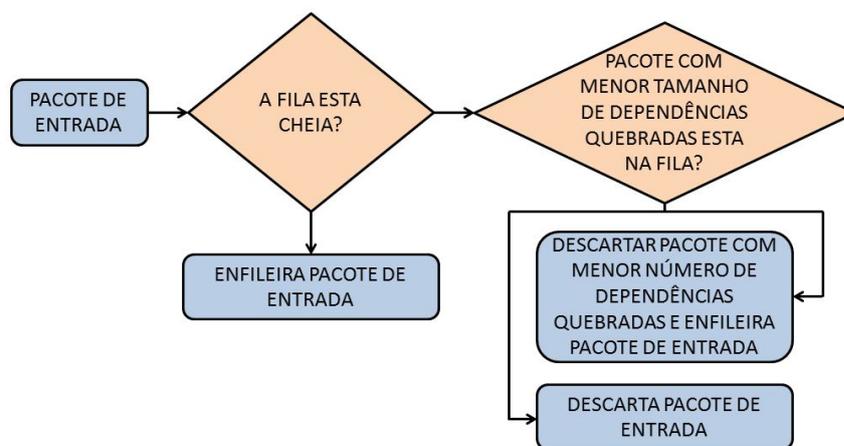


Figura 6.6: Fluxograma do Mecanismo IV

6.6 Mecanismo Avançado ADDQI

6.6.1 Algoritmo de descarte por dependência quebrada independente do estado da fila

E SSE Mecanismo, como mostrado no fluxograma da Figura 6.7, possibilita recuperar um pacote marcado para ser descartado, se existir, na fila, algum pacote que contenha algum quadro com dependências quebradas ou perdidas, ou seja, um quadro que não possa ser completamente reconstruído pelo receptor.

Para realizar essa operação, mais informações são requeridas como:

1. - Informações sobre a codificação, tais como o número de quadros B entre os quadros P e o tamanho do GOP,
2. - Um *buffer* para armazenar as informações sobre os pacotes recentemente descartados;

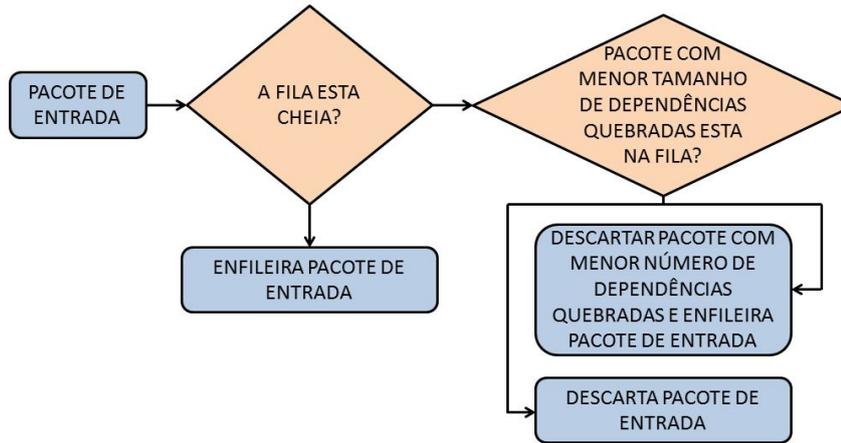


Figura 6.7: Fluxograma do Mecanismo IV

Essas informações podem ser obtidas através de duas opções:

- - Por um protocolo de controle como o RTSP *Real Time Streaming Protocol*;
- - Ou por um algoritmo operando em cada nó, onde o mesmo realiza um controle avançado que possui informações sobre a média do número de quadros I, P e B através de uma análise estatística do fluxo.

Conforme mostrado na estrutura do GOP da Figura 6.8, se o quadro P2 foi perdido, então os quadros B3, B4, B5 e B6, que dependem do quadro P2 (em função da característica preditiva bidirecional destes quadros) não poderão ser totalmente reconstruídos pelo receptor.

Desta forma, se o quadro P1 for marcado para ser descartado e o quadro P2 foi perdido ou descartado anteriormente, é preferível verificar se existe algum pacote na fila que contenha um quadro B3, B4, B5 ou B6 para ser descartado e enfileirar o pacote de entrada com o quadro P1.

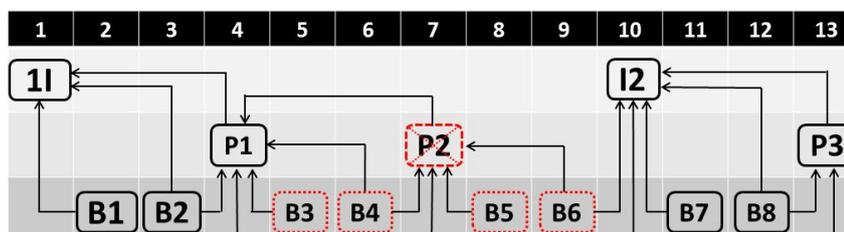


Figura 6.8: Estrutura MPEG com quadro perdido

De posse deste conhecimento, quando um pacote for marcado para ser descartado, verifica-se se ele possui quadros com dependências quebradas. Se assim for, o mesmo é descartado, caso contrário, um pacote com dependências quebradas é procurado na fila. Sendo encontrado, o pacote da fila

Tabela 6.2: Algoritmo de Descarte por Quebra

```

1  se fila.naoEstaCheia():
2    fila.adicionar(pacote)
3  se não:
4    se existeFrameComDependenciaQuebrada(pacote):
5      descartar(pacote)
6    se não:
7      pacoteADescartar :=
8      fila.obtemFrameComDependenciasQuebradas()
9      se pacoteADescartar <> nulo:
10     fila.descartar(pacoteADescartar)
12     fila.adicionar(pacote)
13     se não: descartar(pacote)

```

é descartado e o pacote de entrada é enfileirado, caso contrário, o pacote de entrada é descartado.

6.7 Mecanismo Avançado ACPQD

6.7.1 Algoritmo de controle de pacotes por quantidade de dependências

COMO ilustrado na Figura 6.9, um quadro com dependências quebradas não pode ser completamente reconstruído pelo receptor. Por isso, pode ser vantajoso descartar todos os quadros com dependências quebradas, a fim de reduzir o congestionamento do sistema e, conseqüentemente, reduzir o número de outros pacotes com dependência quebrada dependentes. A Figura 6.9 mostra o modo de funcionamento deste mecanismo. Quando um pacote chega, o nó verifica se a fila está cheia ou se o pacote de entrada contém um quadro com dependências quebradas. Em ambos os casos, o pacote é descartado. Caso contrário, é enfileirado.

Esse mecanismo precisa manter uma lista atualizada de pacotes recentemente descartada e coletar informações dos parâmetros de codificação de vídeo, através do uso de um protocolo de controle de rede ou uma análise estatística do fluxo.

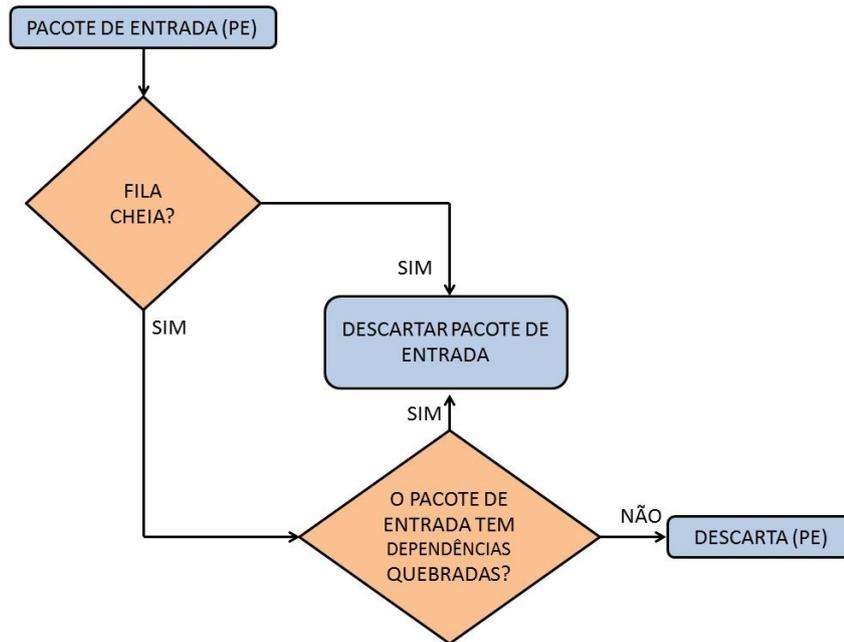


Figura 6.9: Fluxograma de Funcionamento do Algoritmo de Descarte por Dependência Quebrada

6.8 Mecanismo Avançado AMC-QoS

6.8.1 Algoritmo Mapeados para Classes de QoS

Mecanismo que oferece uma abordagem para melhorar a qualidade do conteúdo de streams de vídeo, usando um mapeamento aprimorado para conteúdo multimídia, que enfileira pacotes diferentes para cada classe de serviço de QoS, de acordo com a importância de cada quadro. Conforme definido na Tabela 6.3, os pacotes contendo prioridade de quadros do tipo I são mapeados para UGS e ertPS; os pacotes de prioridade intermediária carregando quadros do tipo P são mapeados para rtPS. Finalmente pacotes com quadros do tipo B e, por isso, menos importantes, são mapeadas para nrtPS e BE. O mapeamento de outros fluxos permanece, conforme definido no padrão IEEE 802.16 que foi detalhado no Capítulo 2.

Tabela 6.3: Mapeamento de Fluxos de quadros para Classes de QoS

Prioridade	Fluxos	Classes de Serviços	Aplicação
Alta	VoIP e Quadros-I Quadros-P	UGS e ertPS rtPS	Voz Video
Baixa	BE e Quadros-B Background	nrtPS e BE BE	FTP e WWW FTP e e-mail

Dependendo das políticas locais em redes WiMAX e dos recursos disponíveis em cada classe de QoS, o mapeamento de quadros pode ser configurado para operar em uma maneira diferente, a fim de evitar a sessão de bloqueio ou a reordenação de pacotes, por exemplo, mapeando todos os quadros de uma aplicação multimídia a uma classe menos adequada em períodos de congestionamento.

6.9 Conclusão

ESTE capítulo apresentou 7 mecanismos avançados de controle de pacotes com base em QoE, que realizam escalonamento de pacotes em redes WiMAX IEEE 802.16. Os mecanismos propostos melhoram o impacto da qualidade dos vídeos transmitidos em diferentes períodos com congestão e do ponto de vista do usuário final, onde a otimização dos recursos da rede sem fio é assegurada. Tais mecanismos ajudam a melhorar a qualidade dos fluxos de vídeo através de configurações de parâmetros sobre descarte inteligente de pacotes, baseados nas características do conteúdo multimídia, condições da rede e experiência do usuário.

O Mecanismo Avançado APD-FP, cujo funcionamento tem por base descarte por prioridade, onde serão descartados por primeiro, em caso de necessidade, pacotes de menor tamanho que contenham quadros do tipo B, depois P, e depois I e, por último, H.

O Mecanismo Avançado APD-P considera os tamanhos dos quadros, fazendo uma direta relação do tamanho do quadro com a quantidade de informação que ele carrega. Dessa forma, esse algoritmo prioriza o descarte de pacotes de quadros com menor informação, ordenando a priorização através da ordem decrescente do tamanho do quadro e do tamanho do pacote.

O Mecanismo Avançado ADP considera o grau de importância de cada tipo de quadro da estrutura de codificação MPEG e inclui um sistema de descarte de pacotes que realiza um controle do nível de qualidade do streaming de vídeo, baseado no grau de importância do tipo de quadro. Quando um quadro I está marcado para ser descartado, é feita uma verificação checando se existe um pacote na fila de espera contendo um quadro do tipo P ou B, caso exista, é melhor efetuar o descarte de um pacote contendo um quadro do tipo P ou B, do que de um pacote contendo um quadro I, devido ao número de quadros

dependentes ser maior que o número de quadros dependentes de um quadro P ou B, tornando-o mais importante, reduzindo, assim, a perda desses tipos de quadros e, com isso, causando um menor impacto sobre a qualidade final do vídeo quanto à percepção do usuário.

O funcionamento do Mecanismo Avançado ADDQ é muito semelhante ao anterior, no entanto, quando um pacote é quebrado, o algoritmo armazena o número de dependências quebradas e o número de quadros que depende dele e, com base em uma estrutura de propriedade definida pelo algoritmo, se o pacote de entrada é marcado para ser descartado e não há um pacote na fila que leve a um menor número de dependências quebradas, então, é preferível descartar o pacote já no *buffer* e enfileirar o pacote de entrada. Caso contrário, o pacote de entrada é descartado.

O Mecanismo Avançado ADDQI recupera um pacote marcado para ser descartado se existir na fila algum pacote que contenha algum quadro com dependências quebradas ou perdidas, ou seja, um quadro que não possa ser completamente reconstruído pelo receptor. O mecanismo VI leva em consideração a possibilidade de um quadro com dependências quebradas não ser completamente reconstruído pelo receptor. Por isso, pode ser vantajoso descartar todos os quadros com dependências quebradas, a fim de reduzir o congestionamento do sistema e, conseqüentemente, reduzir o número de outros pacotes com dependência quebrada dependentes.

E, por fim, o Mecanismo Avançado ACPQD, que oferece uma abordagem para melhorar a qualidade do conteúdo de streams de vídeo, usando um mapeamento aprimorado para conteúdo multimídia, que enfileira pacotes diferentes para cada classe de serviços de QoS de acordo com a importância de cada quadro. A avaliação desses mecanismos, bem como o cenário de simulação, validação e os resultados obtidos, são descritos no Capítulo 7.

Análise Comparativa dos Mecanismos Propostos

Não dê as costas a possíveis futuros antes de ter certeza de que não tem nada a aprender com eles.

Richard Bach

EM redes WiMAX com suporte a QoS, os algoritmos para escalonamento de pacotes definidos pelo padrão IEEE 802.16 não fazem distinção do conteúdo do pacote em suas filas, e, dessa forma, não fazem distinção entre os quadros de conteúdo multimídia do tipo H, I, P e B, que devem ser descartados seguindo uma certa prioridade, para causar menor impacto no usuário final.

Este capítulo investiga e avalia, através de simulação, a eficiência dos mecanismos de QoE aqui propostos em períodos de congestão da interface sem fio IEEE 802.16, nomeadamente de 0% a 50% (intervalos de 2,5%) de congestão da rede em classe de serviço onde aplicações multimídia são mapeadas. Os resultados foram obtidos através de verificação da qualidade do vídeo com diferentes tamanhos de GoPs (como implementados por aplicações multimídia na Internet, GOP 10, 15 e 18, e GoP fechado) e com base em métricas objetivas de QoE, quando o sistema é configurado com diferentes algoritmos de descarte de pacotes, nomeadamente PSNR, VQM, SSIM e stvSSIM. A metodologia escolhida foi com base em simulações de uma rede WiMAX que transmite fluxos

de vídeo *H.264/MPEG-4 AVC* em tempo real, disputando com outros fluxos da rede, com tráfego TCP, e largura de banda da rede.

7.1 Cenário de Simulação

A TOPOLOGIA WiMAX simulada, conforme ilustrada na Figura 7.1 e detalhada na Tabela 7.1, é composta por uma BS e uma SS (usando comunicação ponto-a-multiponto). Os fluxos de vídeo são mapeados para classes de serviços típicas de WiMAX, como rtPS e UGS. A fim de simplificar o experimento, apenas a comunicação o *downstream*, é analisada juntamente com variação de congestionamentos (*bitrate* e largura de banda para o tráfego multimídia).

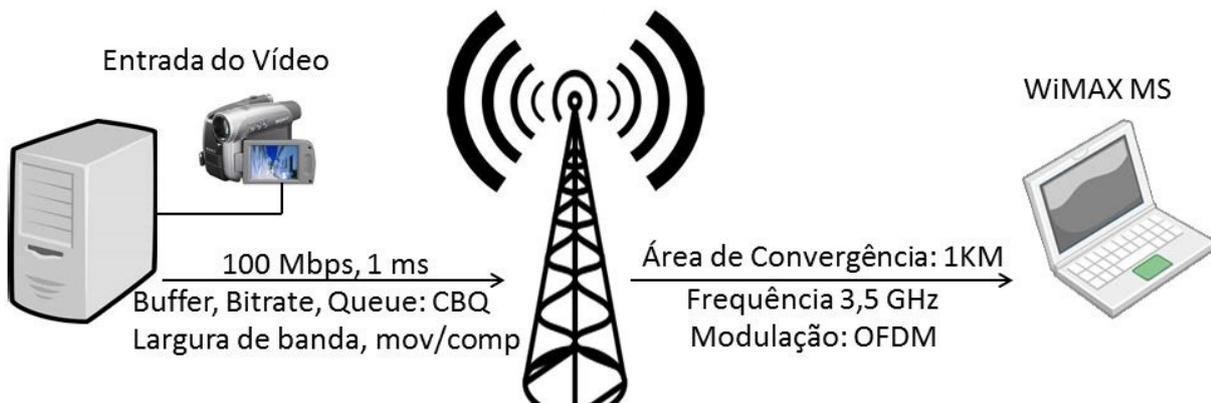


Figura 7.1: Típico cenário WiMAX

Tabela 7.1: Parâmetros da Simulação

ENLACE	VALOR	PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO
Enlace Sem Fio IEEE 802.16	50Mbps	Capacidade do Enlace
Enlace Sem Fio IEEE 802.16	OFDM	Modulação
Enlace Sem Fio IEEE 802.18	3,5 GHz	Frequência
Enlace Sem Fio IEEE 802.19	1 Km	Área de Cobertura
Cabeada Ethernet	CBQ	Fila
Cabeada Ethernet	100	Buffer
Cabeada Ethernet	1 ms	Atraso do Enlace
Cabeada Ethernet	100 Mbps	Capacidade do enlace

7.2 Ferramentas de Simulação

As simulações realizadas foram ajustadas no sentido de ter um cenário semelhante a um sistema real em redes WiMAX, onde o *Network Simulator 2* (NS2) [Simulator-N2(isi.edu) 2009] foi configurado para transmitir fluxos multimídia com garantias de QoS/QoE. Embora alguns módulos para simulação de redes WiMAX estejam disponíveis na distribuição do NS-2, como WiMAX NIST [Rouil 2007] e o Módulo Aymen Belghith Tools [Belghith and Nuaymi 2008], foi necessária a criação e implementação dos mecanismos avançados de controle de pacotes no simulador (agentes na camada MAC do padrão IEEE 802.16). O quadrowork *Evalvid*, que é uma estrutura formada por um conjunto de técnicas para transmissão e avaliação da qualidade de fluxos de vídeo, foi configurado para distribuir os conteúdos solicitados pelos usuários. Além disso, a ferramenta VQMT¹ (*Video Quality Measurement Tool*) [Vatolin et al. 2012] foi usada para avaliação objetiva da qualidade de vídeo. Foram simuladas as transmissões de fluxos de vídeos, utilizando os mecanismos de controle de descarte de pacotes orientados ao contexto e auto ajustáveis, com base em QoE, onde 7 algoritmos de controle de descarte de pacote que têm como objetivo maximizar a qualidade de vídeos em períodos de congestão. Com relação aos vídeos escolhidos (Tabela 7.2), foi levada em consideração a redundância temporal, espacial, complexidade, movimentação e variação de GOP (10, 15 e 18) *BitRate*, conforme fluxos disponíveis na Internet. Foram realizadas 20 simulações como forma de se obter um intervalo de confiança de 95%. Os valores apresentados nos gráficos correspondem às médias dos valores recolhidos.

Tabela 7.2: Vídeo Avaliado

Vídeo	Qtd Pcts	Total Bits	Méd. BitRate	Max.BitR	Min.Bit.R
mobile_cif	10885	10998772	1099877,2	1231768	21308

7.3 Extração de Informação nas Simulações

Foi configurado um conjunto de ferramentas para a extração de informações durante as simulações, incluindo o desenvolvimento de

¹O software MSU VQMT foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa MSU Graphics e Media Lab da Universidade de Moscou. http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html (último acesso em 19 de janeiro de 2012)

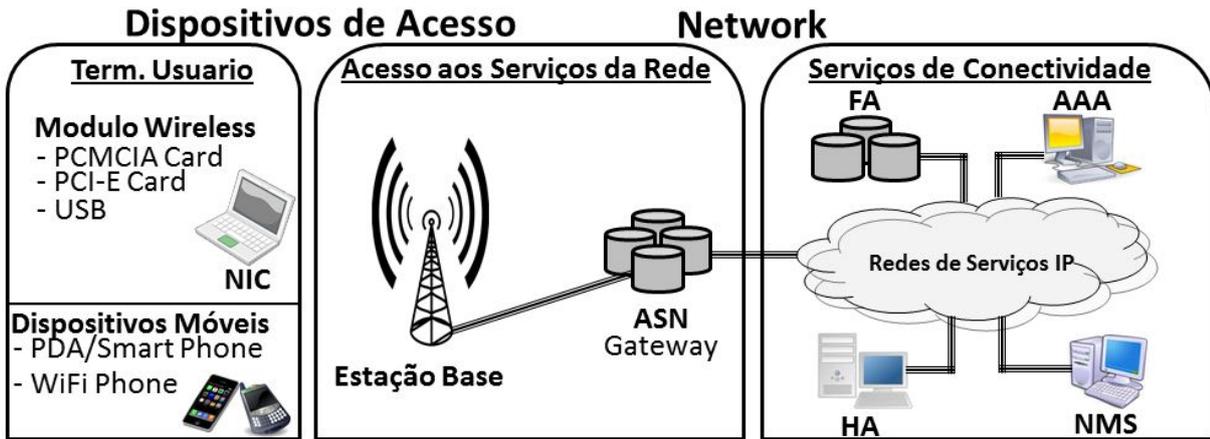


Figura 7.2: Redes WiMAX.

um software denominado **mp4aval** que, em conjunto com as ferramentas ffmpeg [FFMPEG 2012], mp4box [MP4Box 2012], mp4trace [MP4trace 2012], etmp4 [etmp4 2012] e com a base de dados chamada DBQoE, possibilitam a importação das informações do vídeo no DBQoE, gerando a codificação e dessa forma aplicam os procedimentos de descarte, possibilitam a execução e avaliação dos vídeos de forma distribuída. Além disso, tais ferramentas permitem a importação dos resultados das avaliações para o DBQoE, onde são organizados por quadro, GoP e vídeo.

A Ferramenta *mp4aval*, em conjunto com o banco de dados *DBQoE*, foi desenvolvida com o intuito de possibilitar a aplicação da metodologia de avaliação para vídeos codificados com GoP fechado. É apresentado o Diagrama Funcional do *mp4aval* conforme a Figura 7.3, a fim de seguir os passos para cada simulação de modo a atingir uma avaliação de QoS e QoE.

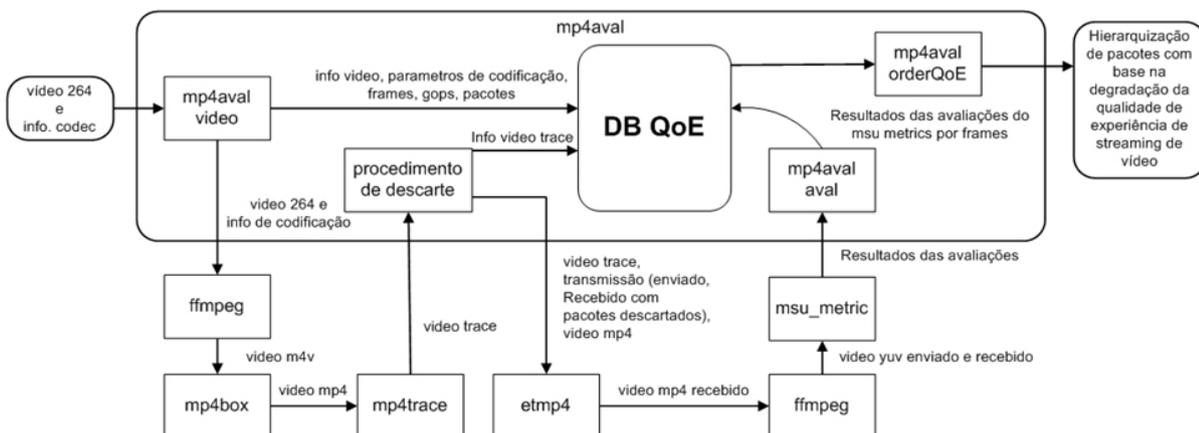


Figura 7.3: Diagrama Funcional do mp4aval

O *mp4aval* aplica a metodologia em 4 etapas: *mp4aval* vídeo, procedimentos de descarte, *mp4aval* e *mp4aval orderQoE*.

1. Na etapa “*mp4aval vídeo*”, é realizada conversão do vídeo, originalmente em formato *H264*, para formato *m4v*, utilizando a ferramenta *ffmpeg* e, posteriormente, para *mp4*, utilizando a ferramenta *mp4box*, obedecendo aos parâmetros de codificação passados pelo usuário e, utilizando a ferramenta *mp4trace*, realiza a transmissão do vídeo em formato *mp4* através da rede sem fio e importa as informações do vídeo, dos quadros, da codificação, dos pacotes e da transmissão para o *DBQoE*.
2. Na etapa “procedimentos de descarte”, são planejadas no *DBQoE* as transmissões necessárias, gerando pastas por vídeo codificado para que as ferramentas *etmp4*, *ffmpeg* e *msu_metric* possam reconstruir o vídeo recebido sem o pacote descartado, converter o vídeo para o formato *YUV*, formato adequado para a avaliação e para que o vídeo possa ser avaliado de acordo com a métrica objetiva de *QoE* especificada. Essa etapa pode ser realizada de forma distribuída.
3. e 4. Nas etapas “*mp4aval aval*” e “*mp4aval orderQoE*” são importados para o *DBQoE* os resultados das avaliações dos vídeos transmitidos com base em métricas objetivas de *QoE* e é exportada a hierarquização dos pacotes do streaming de vídeo com base em uma métrica objetiva específica de *QoE*. É apresentado o Digrama de Classes do banco de dados *DBQoE*.

As ferramentas *ffmpeg* e *mp4box* são utilizadas para codificar o vídeo em *MPEG*, possibilitando especificar parâmetros de codificação, como, por exemplo: *GoP* fechado (*-flags -cgop*), tamanho do *GoP* (*-g 10*), velocidade de exibição dos quadros por segundo (*-fps 30*), etc.

A ferramenta *mp4trace* serve para transmitir o vídeo em formato *mp4* pela rede, sendo necessária a especificação de alguns parâmetros, como, por exemplo: o *IP* do equipamento de destino e a porta a ser transmitida. A ferramenta *etmp4* possibilita a reconstrução do vídeo corrompido recebido para a avaliação, com base em métricas objetivas de *QoE*. A ferramenta *msu_metric* possibilita, com base no vídeo enviado e no vídeo recebido, a avaliação do vídeo recebido, utilizando métricas objetivas de qualidade de experiência.

7.4 Comparação entre os Mecanismos de Descarte de Pacotes

BASEADA nas definições do cenário, ferramentas e parâmetros adotados na Seção 7.1 e 7.2, esta investigação apresenta uma comparação entre o padrão IEEE 802.16, com suporte a QoS, e mais 7 mecanismos avançados de descarte seletivos de pacotes para aferição de QoE, vistos no Capítulo 6. O cenário também foi definido na seção anterior, onde, para cada simulação, realiza-se a transmissão de tráfego com conteúdo multimídia entre BS e uma SS.

Os vídeos foram criados admitindo-se a redundância temporal, espacial, complexidade e movimentações, onde os valores do tamanho do GoP fechado são de 10, 15 e 18, havendo 2 quadros B entre cada quadro P.

Para cada métrica de QoE, foram feitas simulações variando o congestionamento de 0% (100% de utilização da largura de banda, mas sem congestão) a 50% (50% de congestão na classe de serviço) e o tamanho do GoP (10, 15 e 18).

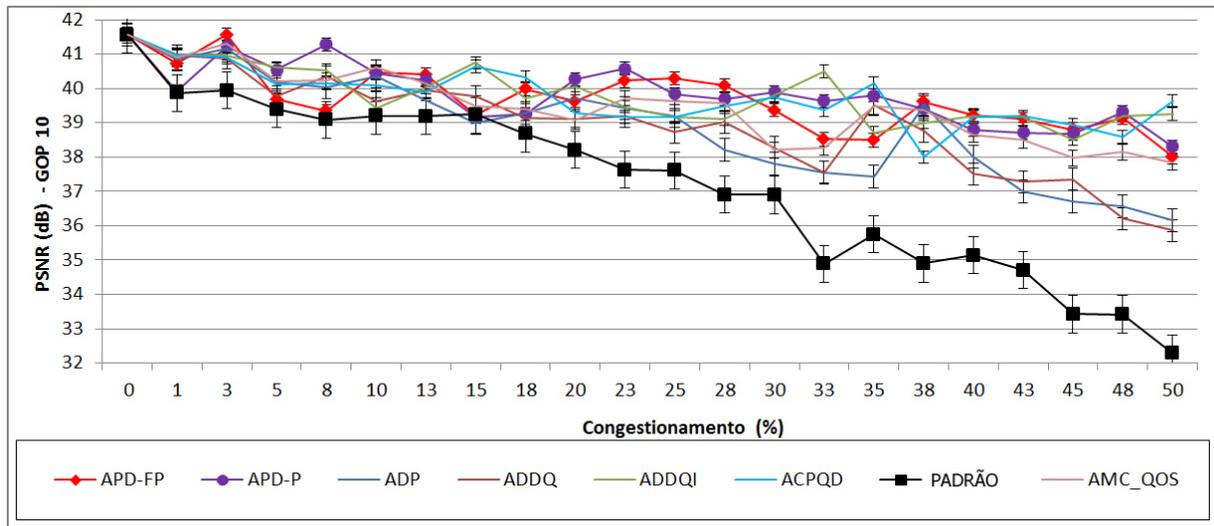


Figura 7.4: Gráfico PSNR (dB) do GOP 10.

Analisando os valores de PSNR da Figura 7.4, é possível perceber que os mecanismos de adaptação seletiva apresentam resultados superiores ao padrão do IEEE 802.16. Nota-se que, para o GOP 10, o Algoritmo APD-P, em comparação com a transmissão Normal do padrão IEEE 802.16, teve um ganho de 27,18%, já o algoritmo ACPQD superou em 26,87%, APD-FP em

26,79%, ADDQI em 26,71%, AMC_QOS em 26,16%, ADDQ em 24,70% e, finalmente, o ADP em 24,15%, comparado com a transmissão Normal.

Na Figura 7.5, pode-se observar um desempenho superior dos algoritmos de seleção baseados em QoE comparado aos resultados com GoP de 10, pois existem mais quadros Ps e Bs e a remoção destes de forma prioritária maximiza a qualidade percebida pelo usuário. No caso do Mecanismo APD-FP, a diferença máxima chega a ser de 27,59%, superior quando comparado com a transmissão padrão IEEE 802.16. Já o Mecanismo ADDQI teve um ganho de 27,35%, o Mecanismo APD-P de 27,25%, o Mecanismo ACPQD de 27,07%, o Mecanismo AMC_QOS de 26,64%, ADDQ com 24,17% e o ADP, 22,92% melhor em relação ao tradicional padrão IEEE 802.16.

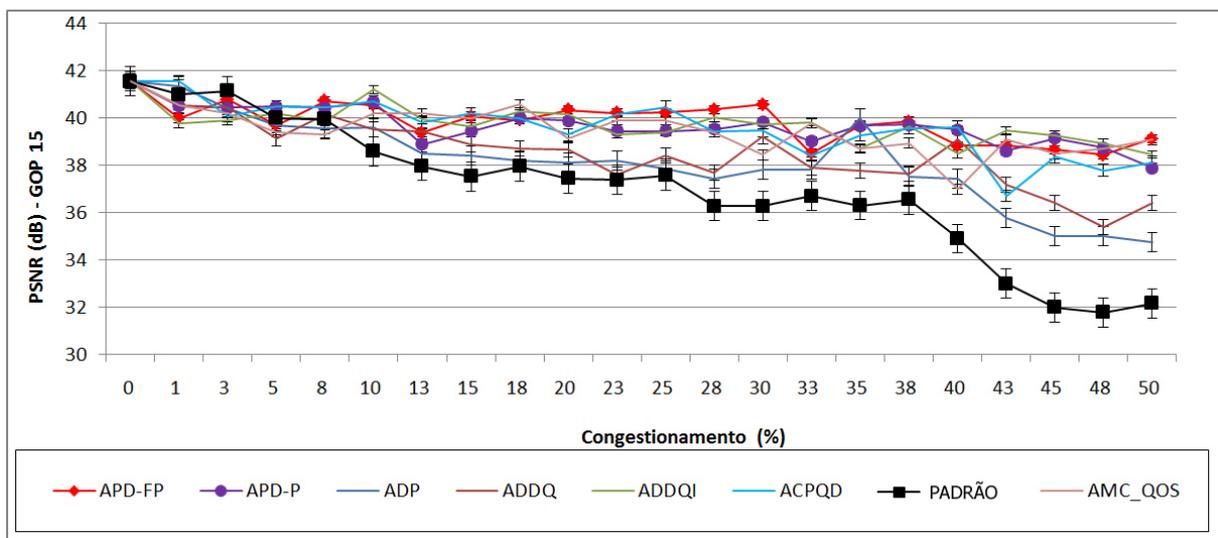


Figura 7.5: Gráfico PSNR (dB) do GOP 15.

Na Figura 7.6, onde os Mecanismos de descarte de pacotes baseados em QoE operam sobre vídeos codificados com GoP de 18, o desempenho é ainda melhor em comparação ao GOP 10 e GOP 15. Vale ressaltar que a codificação com GOP 18 é típica para a distribuição de conteúdo de DVD da Internet.

O Mecanismo APD-P teve o melhor desempenho, chegando a 29,11% sobre o valor da transmissão padrão. Na mesma comparação, o Mecanismo ADDQI chegou a 28,77%, o APD-FP a 28,74%, ACPQD: 28,40%, AMC_QoS: 28,33%, ADDQ: 24,76% e o ADP com 24,37% sobre a distribuição no padrão IEEE 802.16.

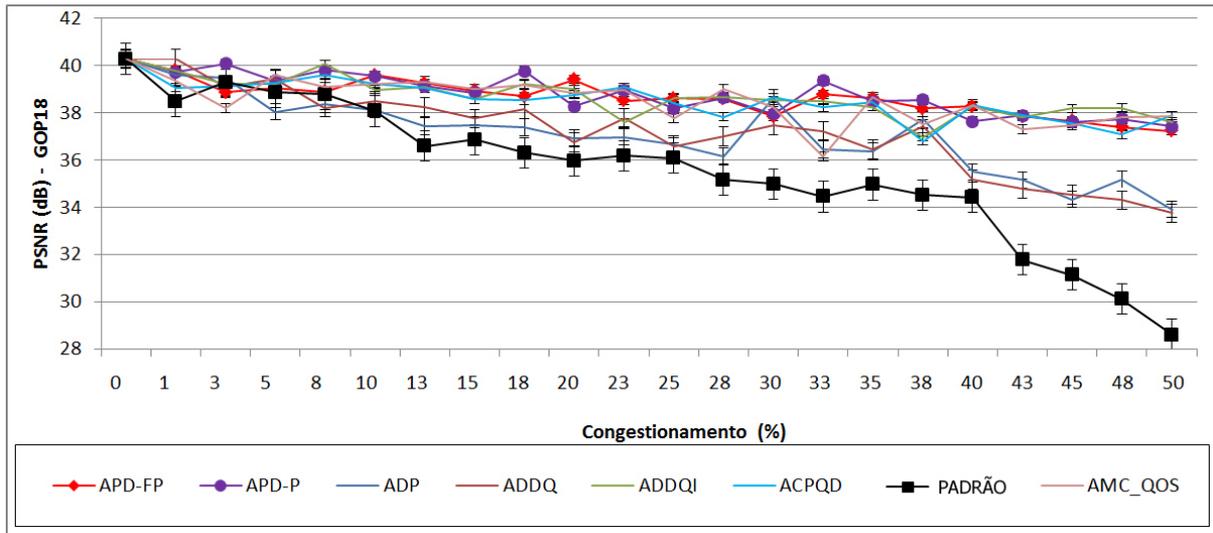


Figura 7.6: Gráfico PSNR (dB) do GOP 18.

As avaliações foram feitas também para as métricas SSIM e VQM sob as mesmas condições da rede. Para aferições dessas métricas, o comportamento dos gráficos se apresentou semelhante ao encontrado inicialmente pelo PSNR. Entretanto, tais métricas refletem, de forma mais aproximada, a experiência do usuário final. Para codificações com GoP de 10, o desempenho das métricas torna-se bastante similar, mas, conforme o GOP aumenta, têm-se resultados satisfatórios para os algoritmos de descarte seletivo. Todavia, os resultados obtidos com a métrica SSIM apresentam-se na escala de 0 a 1, conforme descrito no Capítulo 5, onde os melhores valores são os que estão mais próximos de 1.

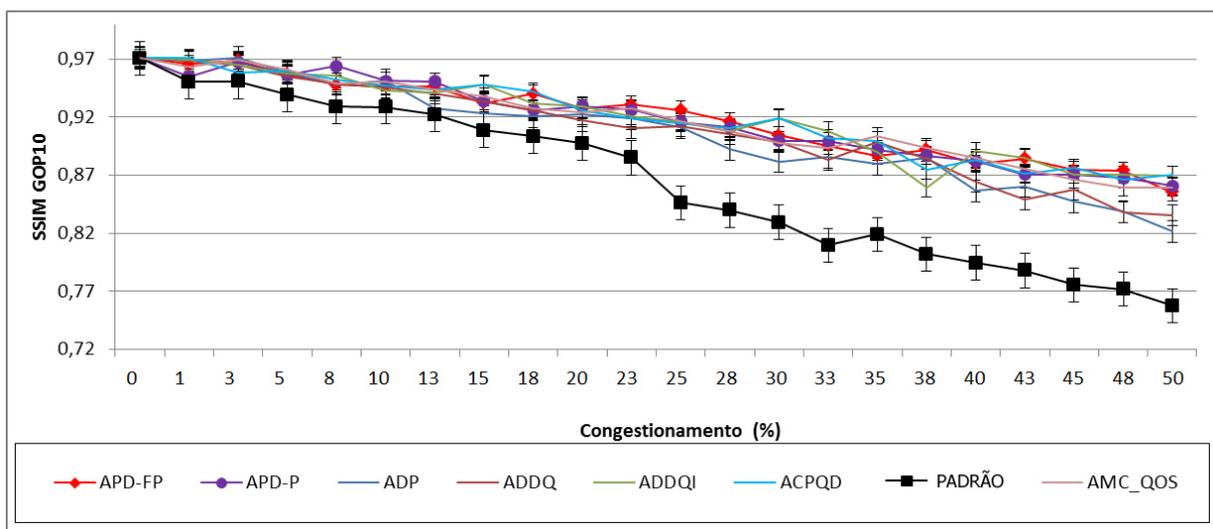


Figura 7.7: Gráfico SSIM do GOP 10.

Para o gráfico da Figura 7.7, os mecanismos de descarte QoE conseguem obter os melhores desempenhos sobre o padrão em períodos de congestionamento.

mento, onde o Mecanismo ADDQI supera em 31,41% em comparação com a transmissão padrão. Já o Mecanismo ACPQD em 31,40%, APD-FP em 31,18%, AMC_QOS em 31,00%, APD-P em 30,94%, ADDQ em 29,26%, o Mecanismo ADP em 28,52% comparado com a transmissão padrão IEEE 802.16.

O desempenho dos mecanismos de descarte seletivos propostos neste trabalho para a métrica SSIM e com valores de GOP de 15 e 18, como ilustrado nas Figuras 7.8 e 7.9 apresentam-se bastante próximos nos períodos de congestão, onde, no GOP 15, o Mecanismo APD-FP supera em 28,06% sobre a transmissão padrão IEEE 802.16, já so Mecanismos ADDQI obteve o ganho em 28,05%, APD-P em 28,02%, ACPQD em 27,93%, AMC_QOS em 27,67%, o ADDQ em 26,63% e o ADP em 25,97%.

Já no GOP 18, os valores dos Mecanismos aproximam-se do GOP 15, sendo que os comportamentos dos mecanismos são distintos para cada momento da congestão da rede, onde o Mecanismo APD-FP teve um ganho sobre a transmissão normal de 28,13%, e os Mecanismos APD-P com 28,10%, o ADDQI com 27,89%, ACPQD com 27,83%, AMC_QOS com 27,78%, ADDQ com 26,13%, ADP com 25,94%, comparados com a transmissão tradicional em IEEE 802.16 sem QoS.

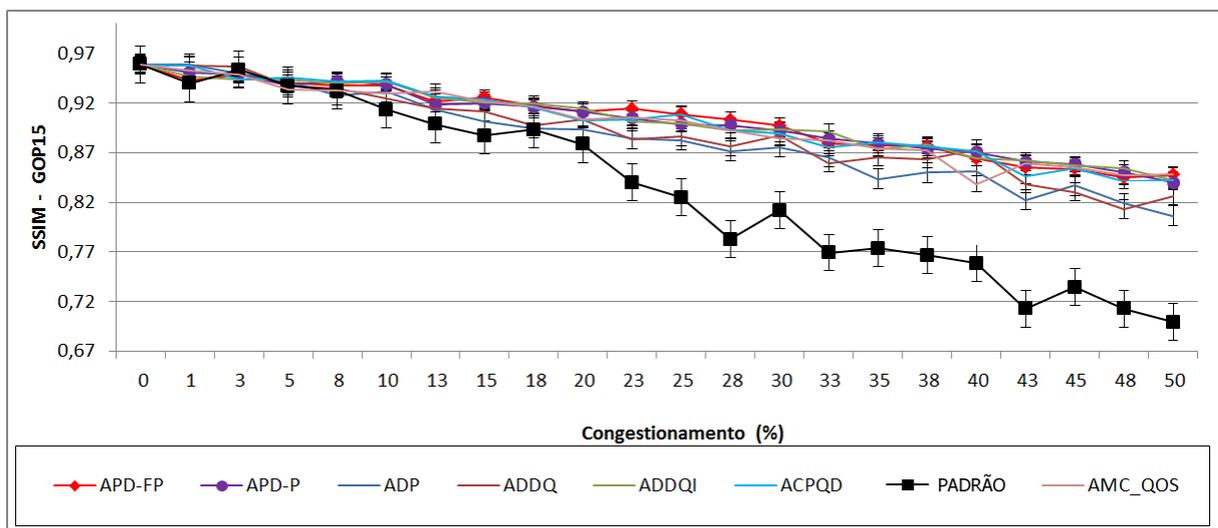


Figura 7.8: Gráfico SSIM do GOP 15.

Esses resultados também pode ser observado para as avaliações feitas com a métrica PSNR, reforçando a ideia do impacto da codificação na transmissão de vídeo e sobre o desempenho dos mecanismos de descarte avançados de QoS.

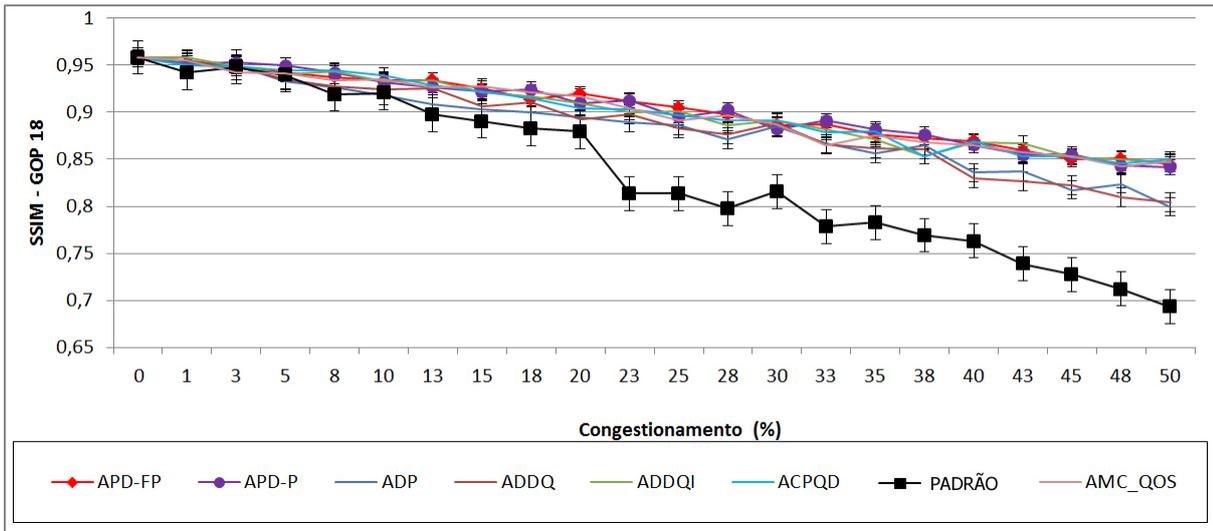


Figura 7.9: Gráfico SSIM do GOP 18.

Para o VQM, é importante observar que se trata de uma métrica invertida, portanto, os maiores valores correspondem aos piores resultados, conforme explicado na Seção 5.3.5, do Capítulo 5. As Figuras 7.10 e ref{fig:mobile-linha-gop15-vqm}, mostram os resultados obtidos pela avaliação do VQM para as mesmas condições de rede das métricas anteriores.

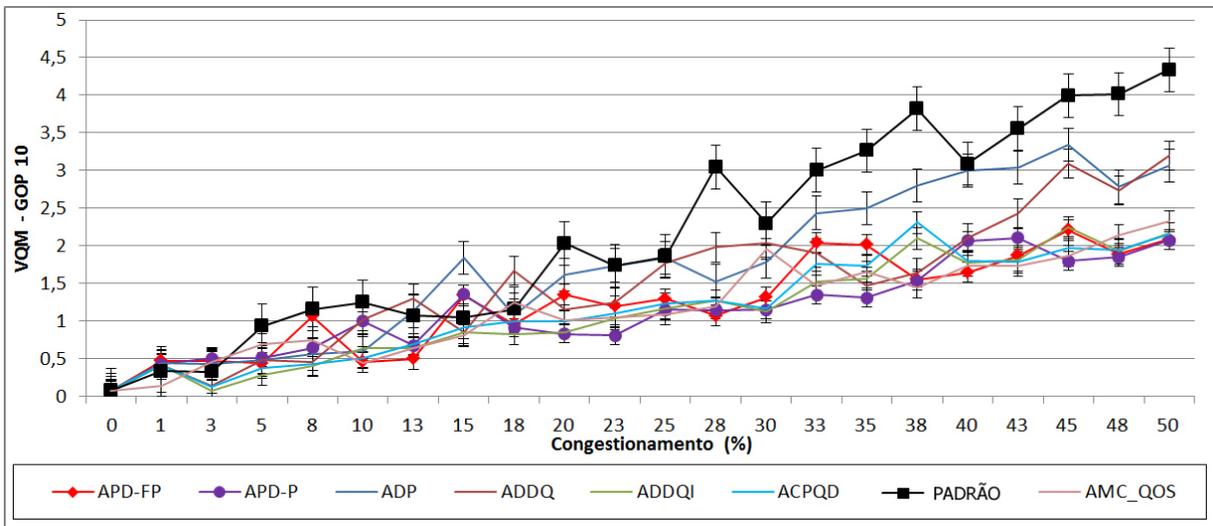


Figura 7.10: Gráfico VQM do GOP 10.

As avaliações realizadas para a métrica VQM também obtiveram comportamentos semelhantes às métricas anteriores, onde os resultados encontrados indicam que os mecanismos de descarte com base em QoE pouco podem fazer para melhorar a qualidade de vídeos codificados com GoP de 10. Entretanto, à medida que o GOP aumenta de tamanho, as avaliações indicam melhores desempenhos, onde, para vídeos com GoP de 10, o Mecanismo ADDQI superou em 47,72%, comparando com uma transmissão padrão, os demais Mecanis-

mos tiveram os seguintes desempenhos: APD-P com 46,67%, ACPQD com 45,61%, AMC_QOS com 45,34%, APD-FP com 42,38%, ADDQ com 30,01% e o ADP com 19,61%, comparados com a transmissão padrão em IEEE 802.16.

Para o GOP 15, que pode ser observado na Figura 7.11 o Mecanismo que teve o melhor desempenho, comparando com a transmissão tradicional foi o APD-P com 49,67%, os demais mecanismos tiveram os seguintes ganhos: ACPQD com 49,25%, ADDQI com 48,79%, APD-FP com 46,11%, AMC_QOS com 44,47%, ADDQ com 29,42% e ADP com 25,50%.

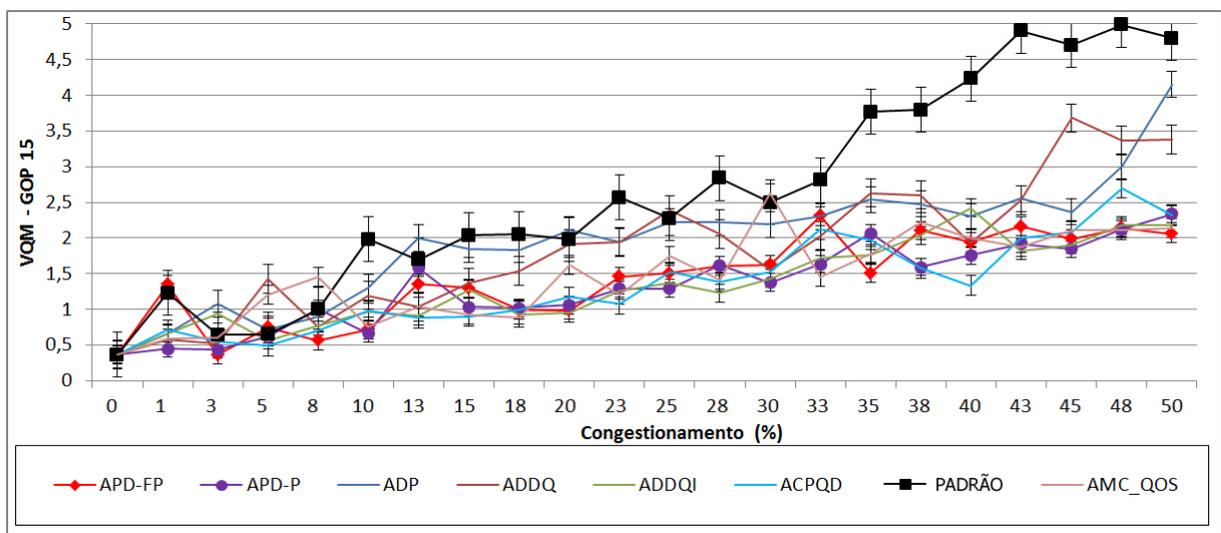


Figura 7.11: Gráfico VQM do GOP 15.

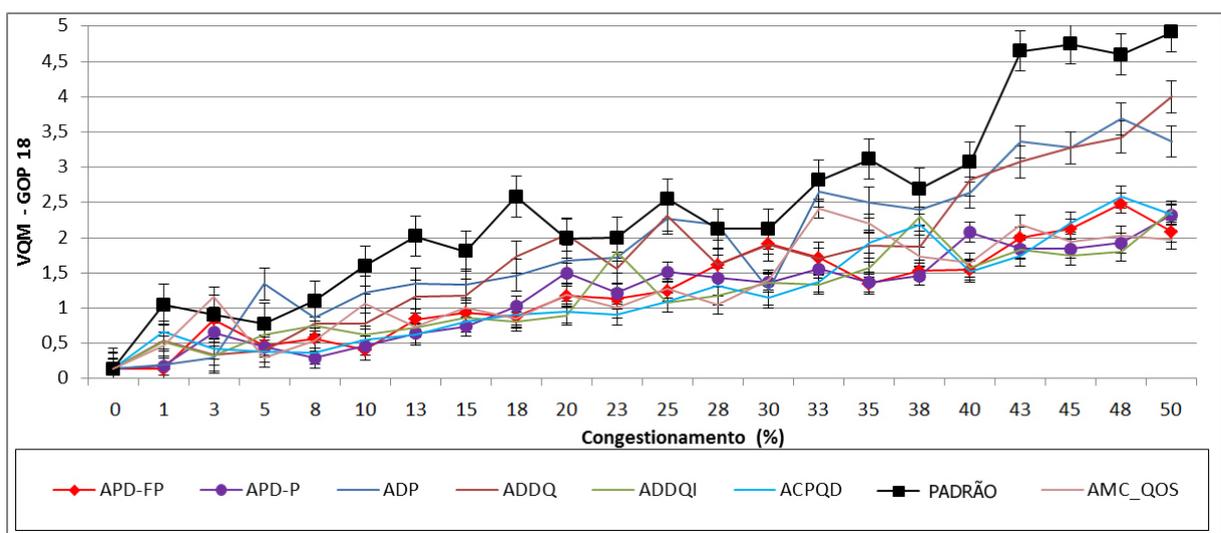


Figura 7.12: Gráfico VQM do GOP 18.

Para o GOP 18 conforme ilustrado na Figura 7.12, o Mecanismo que teve o melhor desempenho foi o APD-P, com 51,25%, quando comparado com a

transmissão padrão, sendo que os demais Mecanismos tiveram os seguintes resultados com a mesma comparação: ACPQD com 50,96%, ADDQI com 50,91%, APD-DP com 49,21%, AMC_QOS com 47,06%, ADDQ com 27,82% e o ADP com 22,81%. Nota-se que, no vídeo codificado com GOP de tamanho 18, por exemplo, a importância de um quadro H é bem maior em relação a um vídeo com tamanho de GOP igual a 10, logo, é possível, através da priorização dos quadros, um alcance bem maior de satisfação pelo sistema visual humano.

Foi investigada e avaliada uma nova métrica sobre o conceito espaço temporal do vídeo que toma por base a tradicional métrica SSIM. Tal métrica é denominada de stVSSIM, conforme comentado na Seção 5.3.4, do Capítulo 5, que possui como base a essência do vídeo processado. A métrica stVSSIM utiliza a escala SS-SSIM (*simple single-scale structural similarity index*) para avaliação da qualidade espacial. SS-SSIM se correlaciona bem com a percepção humana de qualidade para avaliação de qualidade de imagem (IQA - image quality assessment).

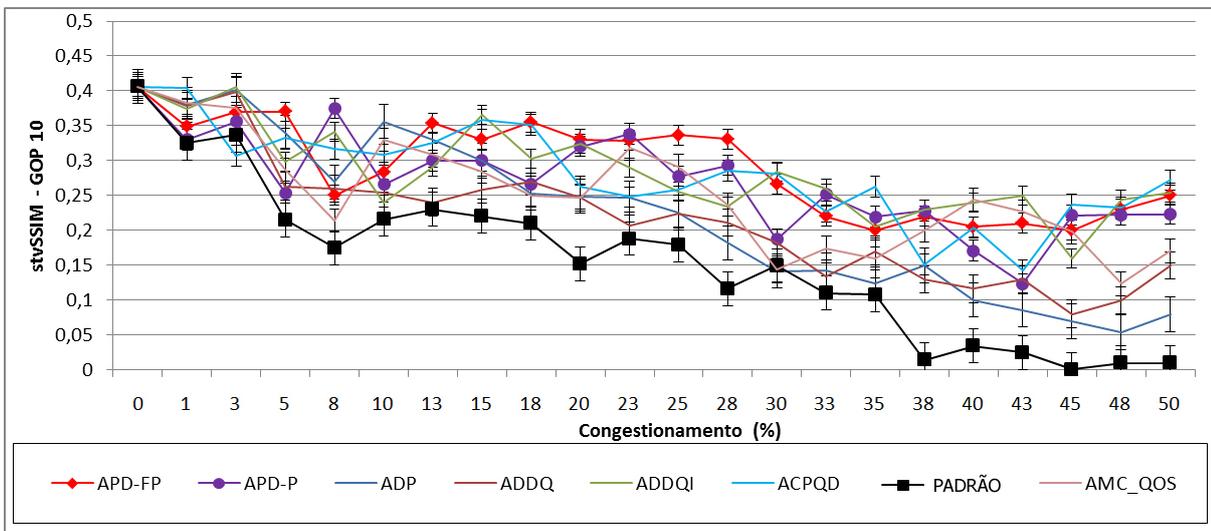


Figura 7.13: Gráfico stVSSIM do GOP 10.

A métrica stVSSIM é atingida por uma extensão do SS-SSIM ao domínio espaço-temporal. Informações sobre a complexidade e movimentação são incorporadas em stVSSIM, usando um bloco baseado em algoritmo de estimativa da complexidade e movimentação.

Na Figura 7.13, podemos analisar o comportamento da métrica sobre as condições de congestionamento da rede, em que, para o GoP 10, o Mecanismo APD-FP teve um comportamento superior ao tráfego tradicional de 66,29%.

Os outros Mecanismos também tiveram rendimento superior, onde o ADDQI atingiu 62,30%, ACPQD: 59,98%, APD-P: 52,78%, AMC_QOS: 42,37%, ADP: 22,36% e o ADDQ, 20,16%.

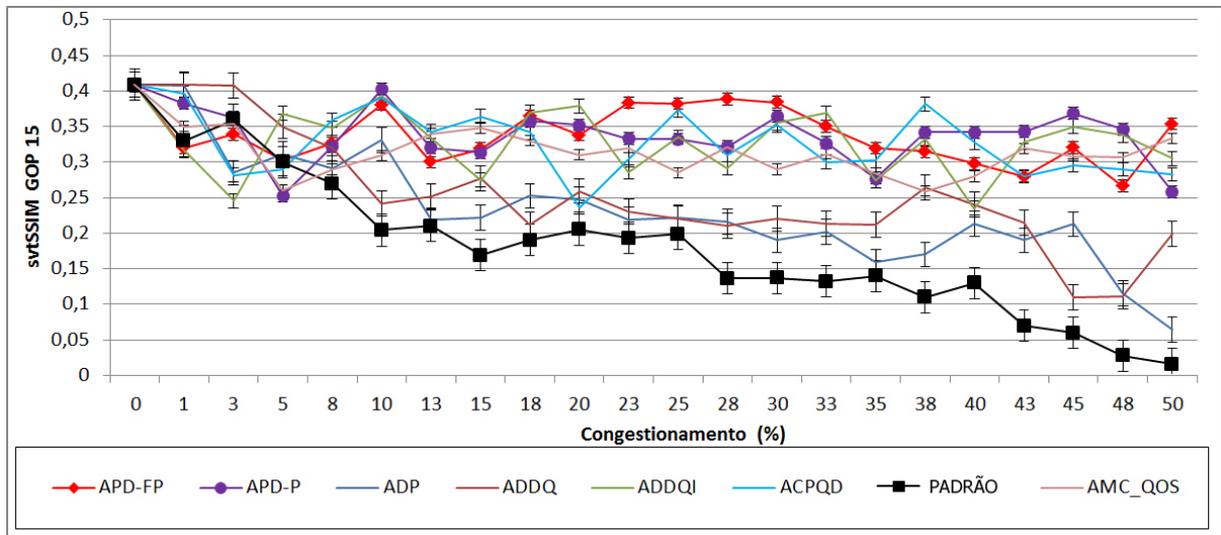


Figura 7.14: Gráfico stVSSIM do GOP 15.

Para o GoP 15 representado pela Figura 7.14, o Mecanismo ADP-FP superou a transmissão tradicional em 66,10% e o APD-P atingiu 65,82%, ADDQI, 61,00%, ACPQD, 60,61%, AMC_QOS: 53,11%, ADDQ: 19,60% e o APD: 8,86%.

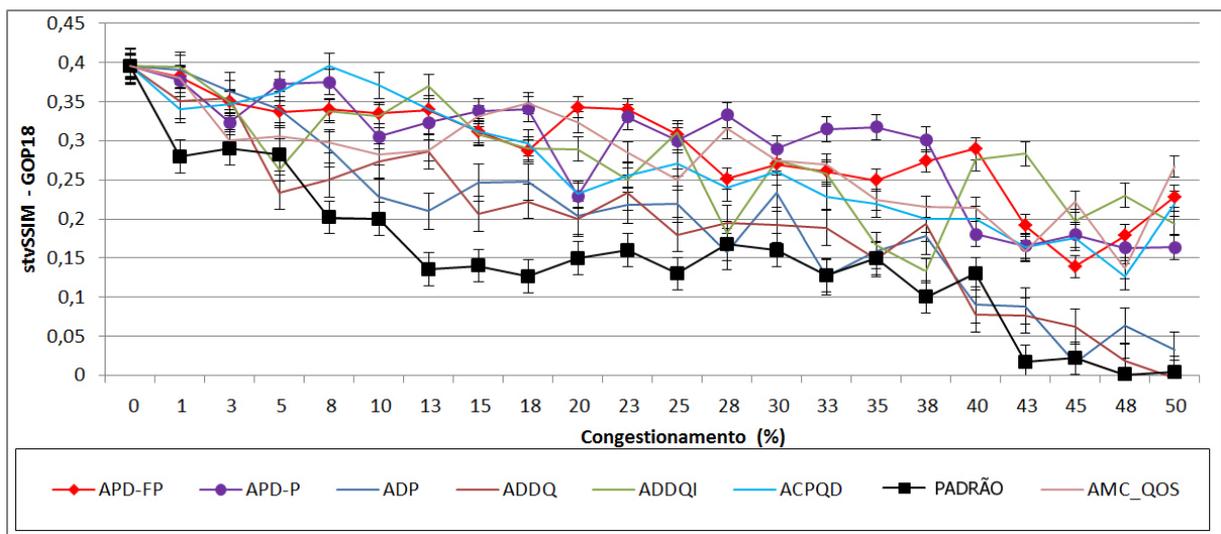


Figura 7.15: Gráfico stVSSIM do GOP 18.

Já no GoP 18 ilustrada na Figura 7.15, o Mecanismo APD-P obteve 70,54%, APD-FP, 69,97, AMC_QOS, 60,68, ADDQI, 60,55, ACPQD, 56,61, ADP, 13,45, e, finalmente, o ADDQ que atingiu 8,61% de ganho sobre o tráfego padrão.

7.5 Conclusão

NESTE capítulo, foi abordada, de forma detalhada, a topologia simulada em redes WiMAX. Seguidamente foram expostas as ferramentas de simulação, os módulos implantados no simulador, assim como as características dos vídeos processados. Além disso, foram apresentados os métodos de extração dos resultados obtidos através da simulação. Finalmente, foram realizadas a avaliação e desempenho dos mecanismos propostos sobre as métricas de QoE (SSIM, PSNR, VQM e stvSSIM), com variação de GOP (10, 15 e 18) e congestionamento.

Apesar do suporte a QoS, para todas as métricas de QoE, o comportamento do tradicional IEEE 802.16 não maximiza a percepção do usuário em períodos de congestão. Dessa maneira, a utilização dos mecanismos de descarte de pacotes baseados em QoE e propostos neste trabalho poderia ser implementada em redes reais, onde os usuários (melhor qualidade recebida) e os provedores (melhor utilização dos recursos de rede) seriam beneficiados. Vídeos com GoP de tamanho 18, como comumente é usado em vídeo *streaming*, conseguem se beneficiar dos mecanismos propostos.

Conclusões

A educação, no sentido em que a entendo, pode ser definida como a formação, por meio da instrução, de certos hábitos mentais e de certa perspectiva em relação à vida e ao mundo. Resta indagar de nós mesmos, que hábitos mentais e que gênero de perspectiva pode-se esperar como resultado da instrução? Um vez respondida essa questão, podemos tentar decidir com o que a ciência pode contribuir para a formação dos hábitos e da perspectiva que desejamos.

Bertrand Russell

ESTE trabalho visou realizar um estudo sobre métricas de QoE, características de vídeos, codificadores e controle de pacotes em redes WiMAX IEEE 802.16, com base nos requisitos das redes multimídias de próxima geração e limitações do padrão IEEE 802.16, no que diz respeito ao descarte de pacotes de vídeo em situações de congestão da rede. Dessa forma, novos mecanismos para controle de descarte de pacotes inteligentes e com base em QoE são necessários para otimizar os recursos de rede e aumentar a satisfação dos usuários em períodos de congestão. Tais soluções permitem melhorar a experiência do usuário e otimizar os recursos da rede através de seleção de pacotes que são importantes para a percepção do usuário e dos que devem ser descartados no sentido de minimizar o impacto da congestão no utilizador.

Nesta investigação, 7 mecanismos de descarte seletivo com garantias a QoE, para a melhora dos fluxos de vídeos em redes IEEE 802.16 foram analisados, comparados e, finalmente, propostos. Pela análise dos resultados obtidos através de métricas amplamente conhecidas e utilizadas pela comunidade acadêmica e industrial, revela-se que os mesmos alcançam melhores taxas de QoE em comparação com as soluções atuais adotadas pelo padrão IEEE 802.16.

A avaliação sobre os resultados demonstram a eficiência dos mecanismos apresentados, pois, ao analisar o VQM, que é a métrica mais completa (no que compete à análise de vídeo), os Mecanismos apresentaram ganhos sobre a transmissão tradicional da rede WiMAX e, dessa forma, podemos inferir que o uso de mecanismos de descarte seletivo pode ser bastante benéfico para a aferição subjetiva do usuário final.

Todavia, quando o tamanho do GOP foi parametrizado para o valor 10, em média, os Mecanismos apresentaram 10,53% superior ao IEEE 802.16, sem QoS e QoE para a métrica VQM e, para uma codificação com o tamanho do GOP em 15, mostrou-se 32,37% superior. Para a codificação que usou o tamanho de GOP igual a 18, os Mecanismos revelaram-se em torno de 64% superior ao padrão IEEE 802.16 sem QoS e QoE.

Apesar dos mecanismos propostos serem avaliados em ambiente WiMAX IEEE 802.16, estes podem ser facilmente estendidos para trabalhar com outras tecnologias com e sem fio, devido a sua flexibilidade e implementação modular.

8.1 Perspectivas de Trabalhos Futuros

PARA trabalhos futuros, esses algoritmos serão de acordo com sua complexidade, bem como processamento e memória exigida para a realização dos procedimentos de auto seleção dos mesmos, em momentos de processamento de conteúdo multimídia pela rede. Dessa forma, será possível indicar qual mecanismo deve ser usado e quando. Além disso, será considerado o uso de prototipação para avaliar os mecanismos de modo a permitir a exatidão na análise de demais métricas, como taxa de uso da CPU, memória, processamento, energia e outros. Experimentos subjetivos recomendados

pela ITU-T serão aplicados para informar o impacto dos mesmos no usuário final, com maior precisão. Por último, vídeos emergentes como HD, 3D e *gaming* serão estudados e os mecanismos de adaptação ajustados para essa nova realidade.

Referências Bibliográficas

- [Abdallah et al. 2010] Abdallah, A., Meddour, D., Ahmed, T., and Boutaba, R. (2010). Cross layer optimization architecture for video streaming in wimax networks. In *Computers and Communications (ISCC), 2010 IEEE Symposium on*, pages 8–13. IEEE.
- [Abdollahpouri and Wolfinger 2011] Abdollahpouri, A. and Wolfinger, B. (2011). New measures for multicast gain and their application to iptv delivery in wimax-based access networks. In *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2011 4th Joint IFIP*, pages 1–9. IEEE.
- [Amram et al. 2011] Amram, N., Fu, B., Kunzmann, G., Melia, T., Munaretto, D., Randriamasy, S., Sayadi, B., Widmer, J., and Zorzi, M. (2011). Qoe-based transport optimization for video delivery over next generation cellular networks. In *Computers and Communications (ISCC), 2011 IEEE Symposium on*, pages 19–24. IEEE.
- [Andrade Quinga and Naranjo Culqui 2011] Andrade Quinga, J. and Naranjo Culqui, S. (2011). *Análisis del comportamiento de la tecnología WIMAX (IEEE 802.16) y WIMAX MOBILE (IEEE 802.16 e) con tráfico de voz y datos en varios escenarios, usando el simulador NS-2*. PhD thesis, QUITO/EPN/2011.
- [Aráuz et al. 2008] Aráuz, J., Favaro, P., Camps-Mur, D., and Pérez-Costa, X. (2008). Research challenges in multimedia wimax. *Handbook of Research on Mobile Multimedia*, 1.
- [Argyropoulos et al. 2011] Argyropoulos, S., Raake, A., Garcia, M., and List, P. (2011). No-reference bit stream model for video quality assessment of h. 264/avc video based on packet loss visibility. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1169–1172. IEEE.

- [Balakrishnan 2010] Balakrishnan, K. (2010). Video streaming optimization and tcp throughput protection over last mile broadband wireless access networks.
- [Balakrishnan et al. 2011] Balakrishnan, K., Nagarajan, N., Raguvaran, E., and Saimethun, G. (2011). Subchannel allocation and mapping algorithms for improving the qos of voip traffic in iee 802.16 e networks. *Computer Networks*.
- [Barbeau et al. 2009] Barbeau, M., Boone, P., and Kranakis, E. (2009). Wimax/802.16 broadband wireless networks. *Selected Topics in Communication Networks and Distributed Systems*, page 79.
- [Belghith and Nuaymi 2008] Belghith, A. and Nuaymi, L. (2008). Design and implementation of a qos-included wimax module for ns-2 simulator. page 28.
- [Ben-Othman and Mokdad 2011] Ben-Othman, J. and Mokdad, L. (2011). Improving qos for ugs, rtps, nrtps, be in wimax networks. In *Communications and Information Technology (ICCIT), 2011 International Conference on*, pages 23–27. IEEE.
- [Castro 2001] Castro, F.C.C; Castro, M. (2001). Codificação de sinais. In *Capítulo V - Introdução ao sistema MPEG de Codificação de Vídeo*, pages 01–19. PUCRS - Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Eletrica.
- [Chen et al. 2006] Chen, W., Er, M., and Wu, S. (2006). Illumination compensation and normalization for robust face recognition using discrete cosine transform in logarithm domain. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 36(2):458–466.
- [Chikkerur et al. 2011] Chikkerur, S., Sundaram, V., Reisslein, M., and Karam, L. (2011). Objective video quality assessment methods: A classification, review, and performance comparison. *Broadcasting, IEEE Transactions on*, (99):1–1.
- [Costa et al. 2011] Costa, A., Quadros, C., Melo, A., Cerqueira, E., Abelém, A., Neto, A., Monteiro, E., and Rodrigues, D. (2011). Qoe-based packet dropper controllers for multimedia streaming in wimax networks. In *Proceedings of the 6th Latin America Networking Conference*, pages 12–19. ACM.
- [Dosselmann and Yang 2011] Dosselmann, R. and Yang, X. (2011). A comprehensive assessment of the structural similarity index. *Signal, Image and Video Processing*, 5(1):81–91.

- [Etemad et al. 2010] Etemad, K., Lee, J., and Chang, Y. (2010). Overview of wimax network architecture and evolution. *WiMAX Technology and Network Evolution*, pages 147–177.
- [etmp4 2012] etmp4 (2012). The multimedia packager available in gpac is called etmp4. Available at: http://read.pudn.com/downloads75/sourcecode/internet/278462/evalvid-2.0.1/etmp4.c__.htm and access at 19 Jan. 2012.
- [Farhadi et al. 2011] Farhadi, R., Vakili, V., and Moghadam, S. (2011). A comparative study of scheduling algorithms for ofdma-based wimax networks. In *Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on*, pages 355–359. IEEE.
- [FFMPEG 2012] FFMPEG (2012). Site ffmpeg. Available at: <http://ffmpeg.org/index.html> and access at 19 Jan. 2012.
- [Gelonch et al. 2010] Gelonch, A., Revés, X., Marojevic, V., Nasreddine, J., Pérez-Romero, J., and Sallent, O. (2010). A real time emulator demonstrating advanced resource management solutions. *Wireless personal communications*, 54(1):123–136.
- [Gomes et al. 2010] Gomes, R., Junior, W., Cerqueira, E., and Abelém, A. (2010). Using fuzzy link cost and dynamic choice of link quality metrics to achieve qos and qoe in wireless mesh networks. *Journal of Network and Computer Applications*.
- [Gomide. J and A. 2009] Gomide. J, V, B. and A., A. A. (2009). Visual effects, an approach from digital image processing. *Magazine of theoretical and Applied Informatics*, (1):100.
- [Greengrass et al. 2009a] Greengrass, J., Evans, J., and Begen, A. (2009a). Not all packets are equal, part 1: Streaming video coding and sla requirements. *Internet Computing, IEEE*, 13(1):70–75.
- [Greengrass et al. 2009b] Greengrass, J., Evans, J., and Begen, A. (2009b). Not all packets are equal, part 2: The impact of network packet loss on video quality. *Internet Computing, IEEE*, 13(2):74–82.
- [Huang et al. 2007] Huang, C., Juan, H., Lin, M., and Chang, C. (2007). Radio resource management of heterogeneous services in mobile wimax systems [radio resource management and protocol engineering for ieee 802.16]. *Wireless Communications, IEEE*, 14(1):20–26.

- [Ismail and Ashour 2011] Ismail, H. and Ashour, M. (2011). Analysis and design of ieee 802.16 uplink scheduling algorithms and proposing the ira algorithm for rtps qos class. In *Proceedings of the 6th ACM workshop on Wireless multimedia networking and computing*, pages 49–54. ACM.
- [ITU 2001] ITU, T. (2001). Rec. G, 810:1996–2003.
- [Jha et al. 2011] Jha, R., Dalal, U., Limkar, S., and Zoherbhai, B. (2011). Performance of location based wimax network for qos with optimal base stations (bs). In *Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICE-TECT), 2011 International Conference on*, pages 857–863. IEEE.
- [Jin and Guo 2011] Jin, H. and Guo, L. (2011). Optimization of wireless broadband (wimax) systems. *Wireless Network Design*, pages 295–319.
- [Kadir and Ismail 2009] Kadir, T. and Ismail, K. (2009). Analysis of initialized lms equalizer for frequency selective mimo channels using single carrier ieee 802.16-2004 phy. *IEICE transactions on communications*, 92(7):2413–2419.
- [Koumaras et al. 2009] Koumaras, H., Kourtis, A., Lin, C., and Shieh, C. (2009). End-to-end prediction model of video quality and decodable frame rate for mpeg broadcasting services. *International Journal On Advances in Networks and Services*, 1(1):19–29.
- [Kovács et al. 2010] Kovács, Á., Gódor, I., Rácz, S., and Borsos, T. (2010). Cross-layer quality-based resource reservation for scalable multimedia. *Computer Communications*, 33(3):283–292.
- [Kubota et al. 2011] Kubota, F., Borin, J., and da Fonseca, N. (2011). Opportunistic cross-layer uplink scheduler for the ieee 802.16 standard. In *Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- [Kwon et al. 2006] Kwon, S., Tamhankar, A., and Rao, K. (2006). Overview of h. 264/mpeg-4 part 10. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 17(2):186–216.
- [Leu and Lin 2011] Leu, J. and Lin, C. (2011). On utilization efficiency of backbone bandwidth for a heterogeneous wireless network operator. *Wireless Networks*, 17(7):1595–1604.
- [Li and Bovik 2010] Li, C. and Bovik, A. (2010). Content-weighted video quality assessment using a three-component image model. *Journal of Electronic Imaging*, 19:011003.

- [Lin et al. 2010] Lin, T., Shin, J., and Cosman, P. (2010). Packet dropping for widely varying bit reduction rates using a network-based packet loss visibility model. In *Data Compression Conference (DCC), 2010*, pages 445–454. IEEE.
- [Loza et al. 2011] Loza, A., Wang, F., Yang, J., and Mihaylova, L. (2011). Video object tracking with differential structural similarity index. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1405–1408. IEEE.
- [Majumda et al. 2002] Majumda, A., Sachs, D., Kozintsev, I., Ramchandran, K., and Yeung, M. (2002). Multicast and unicast real-time video streaming over wireless lans. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 12(6):524–534.
- [MEMSIC 2011] MEMSIC (2011). Micaz datasheet. <http://memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks>.
- [Migliorini et al. 2010] Migliorini, D., Mingozi, E., and Vallati, C. (2010). Qoe-oriented performance evaluation of video streaming over wimax. *Wired/Wireless Internet Communications*, pages 240–251.
- [Moh et al. 2010] Moh, M., Moh, T., and Chellappan, B. (2010). Supporting multiple quality-of-service classes in ieee 802.16 e handoff. *Quality of Service Architectures for Wireless Networks: Performance Metrics and Management*, page 280.
- [Moorthy et al. 2010] Moorthy, A., Seshadrinathan, K., Soundararajan, R., and Bovik, A. (2010). Wireless video quality assessment: A study of subjective scores and objective algorithms. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 20(4):587–599.
- [Moorthy et al. 2011] Moorthy, A., Wang, Z., and Bovik, A. (2011). Visual perception and quality assessment. *Optical and Digital Image Processing*, pages 419–439.
- [MP4Box 2012] MP4Box (2012). The multimedia packager available in gpac is called mp4box. Available at: <http://gpac.wp.institut-telecom.fr/mp4box/> and access at 19 Jan. 2012.
- [MP4trace 2012] MP4trace (2012). The multimedia packager available in gpac is called mp4trace. Available at: <http://code.google.com/p/evalsvc/source/browse/trunk/etmp4/mp4trace.c?r=149> and access at 19 Jan. 2012.

- [Nasser et al. 2011] Nasser, N., Miller, R., Esmailpour, A., and Taha, A. (2011). Utility optimized bandwidth allocation in wimax networks. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International*, pages 540–545. IEEE.
- [Ohm and Sullivan 2011] Ohm, J. and Sullivan, G. (2011). Mpeg video compression advances. *The MPEG Representation of Digital Media*, pages 39–68.
- [Ono et al. 2009] Ono, M., Mikamo, Y., Ohtou, K., Hata, M., and Tomisato, S. (2009). Experimental study of bwa system applied in an intermediate and mountainous area. In *TENCON 2009-2009 IEEE Region 10 Conference*, pages 1–5. IEEE.
- [Perez and Garcia 2011] Perez, P. and Garcia, N. (2011). Lightweight multimedia packet prioritization model for unequal error protection. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 57(1):132–138.
- [Pitic et al. 2010] Pitic, R., Serrelli, F., Redana, S., and Capone, A. (2010). Performance evaluation of utility-based scheduling schemes with qos guarantees in ieee 802.16/wimax systems. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 10(7):912–931.
- [Ponomarenko et al. 2011a] Ponomarenko, N., Ieremeiev, O., Lukin, V., Egiazarian, K., and Carli, M. (2011a). Modified image visual quality metrics for contrast change and mean shift accounting. In *CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2011 11th International Conference The Experience of Designing and Application of*, pages 305–311. IEEE.
- [Ponomarenko et al. 2011b] Ponomarenko, N., Lukin, V., and Egiazarian, K. (2011b). Hvs-metric-based performance analysis of image denoising algorithms. In *Visual Information Processing (EUVIP), 2011 3rd European Workshop on*, pages 156–161. IEEE.
- [Porter et al. 2007] Porter, J., Kepler, J., Krauss, T., Vook, F., Blankenship, T., Desai, V., Schooler, A., and Thomas, J. (2007). An experimental adaptive beamforming system for the ieee 802.16 e-2005 ofdma downlink. In *Radio and Wireless Symposium, 2007 IEEE*, pages 475–478. IEEE.
- [Rao] Rao, K. Structural similarity index.
- [Richardson 2003] Richardson, I. (2003). *H. 264 and MPEG-4 video compression*, volume 20. Wiley Online Library.

- [Riker et al. 2011] Riker, A., Quadros, C., Aguiar, E., Abelem, A., and Cerqueira, E. (2011). Etxmult: A routing metric for multimedia applications in wireless mesh networks. In *Communications (LATINCOM), 2011 IEEE Latin American Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [Rouil 2007] Rouil, R. (2007). The network simulator ns-2 nist add-on-ieee 802.16 model (mac+ phy). *Maryland, USA: National Institute of Standards and Technology*.
- [Sabir et al. 2009] Sabir, M., Heath, R., and Bovik, A. (2009). Joint source-channel distortion modeling for mpeg-4 video. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 18(1):90–105.
- [Schulzrinne et al. 1998] Schulzrinne, H., Rao, A., and Lanphier, R. (1998). Rtp: real time streaming protocol. *IETF RFC2326, April*.
- [Serral-Gracià et al. 2010] Serral-Gracià, R., Cerqueira, E., Curado, M., Yannuzzi, M., Monteiro, E., and Masip-Bruin, X. (2010). An overview of quality of experience measurement challenges for video applications in ip networks. *Wired/Wireless Internet Communications*, pages 252–263.
- [Seshadrinathan and Bovik 2007] Seshadrinathan, K. and Bovik, A. (2007). A structural similarity metric for video based on motion models. In *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference on*, volume 1, pages I–869. IEEE.
- [Seshadrinathan and Bovik 2009] Seshadrinathan, K. and Bovik, A. (2009). Motion-based perceptual quality assessment of video. In *Proc. SPIE-Human Vision and Electronic Imaging*. Citeseer.
- [Seshadrinathan et al. 2010] Seshadrinathan, K., Soundararajan, R., Bovik, A., and Cormack, L. (2010). Study of subjective and objective quality assessment of video. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 19(6):1427–1441.
- [Shastry et al. 2008] Shastry, P., Sheorey, S., and Kolla, S. (2008). Variable length coding algorithm for multiple coding modes. US Patent 7,345,601.
- [Simó Reigadas et al. 2011] Simó Reigadas, F., Rey Moreno, C., and Martínez Fernández, A. (2011). Wimax, an uncertain promise for bridging the digital divide.
- [Simulator-N2(isi.edu) 2009] Simulator-N2(isi.edu), N. (2009). The network simulator-ns-2. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

- [Theckedath and Thomas 2011] Theckedath, D. and Thomas, T. (2011). Rural broadband deployment.
- [Thomas et al. 2011] Thomas, W., Ansari, R., and Daruwala, R. (2011). Adaptive coded modulation in physical layer of wimax. *Thinkquest 2010*, pages 62–66.
- [Trajkovic 2011] Trajkovic, L. (2011). Analysis of video surveillance over wimax networks.
- [Uppal et al. 2011] Uppal, R., Singh, J., et al. (2011). Wimax with different modulation techniques and code rates. *International Journal of Information and Telecommunication Technology (ISSN: 0976-5972)*, 3(1).
- [Van Der Schaar et al. 2005] Van Der Schaar, M. et al. (2005). Cross-layer wireless multimedia transmission: challenges, principles, and new paradigms. *Wireless Communications, IEEE*, 12(4):50–58.
- [Vatolin et al. 2012] Vatolin, D., Moskvina, A., and Petrov, O. (2012). Msu video quality measurement tool 3.00.
- [Vercammen et al. 2008] Vercammen, N., Staelens, N., Rombaut, A., Vermeulen, B., and Demeester, P. (2008). Extensive video quality evaluation: a scalable video testing platform. In *Computer and Information Technology, 2008. ICCIT 2008. 11th International Conference on*, pages 91–97. Ieee.
- [Vishwanath et al. 2010] Vishwanath, A., Dutta, P., Chetlu, M., Gupta, P., Kalyanaraman, S., and Ghosh, A. (2010). Perspectives on quality of experience for video streaming over wimax. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 13(4):15–25.
- [Wang et al. 2010] Wang, Y., Lin, T., and Cosman, P. (2010). Packet dropping for h. 264 videos considering both coding and packet-loss artifacts. In *Packet Video Workshop (PV), 2010 18th International*, pages 165–172. IEEE.
- [Wang and Li 2007] Wang, Z. and Li, Q. (2007). Video quality assessment using a statistical model of human visual speed perception. *JOSA A*, 24(12):B61–B69.
- [Wang et al. 2004] Wang, Z., Lu, L., and Bovik, A. (2004). Video quality assessment based on structural distortion measurement. *Signal processing: Image communication*, 19(2):121–132.
- [Watkinson 2004] Watkinson, J. (2004). *The MPEG handbook: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4*. Focal Press.

- [Yang and Wang 2009] Yang, E. and Wang, L. (2009). Full rate distortion optimization of mpeg-2 video coding. In *Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on*, pages 605–608. IEEE.
- [You et al. 2010] You, J., Korhonen, J., and Perkis, A. (2010). Spatial and temporal pooling of image quality metrics for perceptual video quality assessment on packet loss streams. In *Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010 IEEE International Conference on*, pages 1002–1005. IEEE.

Apendices

A.1 Codigos de Simulação no Network Simulation-2 (TCL)

```
1 #####
2 # Args #
3 #####
4
5 lappend args(--videos)
6 lappend args(--videos-bitrate)
7 lappend args(--voips)
8 lappend args(--congestions)
9 lappend args(--congestions-prio)
10 lappend args(--systemload)
11 lappend args(--mode)
12
13 for {set i_argv 0} {$i_argv < [llength $argv]} {incr i_argv} {
14
15     set c_argv [lindex $argv $i_argv];
16
17     switch -regexp -- $c_argv {
18         --.* { set i_args $c_argv }
19         default {lappend args($i_args) $c_argv}
20     }
21
22 }
23
```

```

24 proc usage { } {
25     puts "usage: ns --videos vi1 vi2 \[--videos-bitrate vibr1 vibr2
        --systemload systemload\] \[--voips vp1 vp2\] \[--congestions
        cg1 cg2 --congestions-prio cp1 cp2\] --mode mode"
26     exit 1
27 }
28
29 if { [llength $args(--videos)] < 1 || [llength $args(--mode)] != 1 } {
30     usage
31 }
32
33
34 if { [llength $args(--systemload)] != 0 && ( [llength $args(--systemload)]
        != 1 || [llength $args(--videos)] != [llength $args(--videos-bitrate)] )
        } {
35     usage
36 }
37
38 if { [llength $args(--congestions)] != [llength $args(--congestions-prio)]
        } {
39     usage
40 }
41
42 puts "videos: $args(--videos) "
43 puts "videos-bitrate: $args(--videos-bitrate) "
44 puts "voips: $args(--voips) "
45 puts "systemload: $args(--systemload) "
46 puts "congestions: $args(--congestions) "
47 puts "congestions-prio: $args(--congestions-prio) "
48 puts "mode: $args(--mode) "
49
50 set list_videos_filename $args(--videos)
51 set list_videos_bitrate $args(--videos-bitrate)
52 set list_voips_filename $args(--voips)
53 set list_congestions_filename $args(--congestions)
54 set list_congestions_prio $args(--congestions-prio)
55
56 set in_mode [lindex $args(--mode) 0]
57
58 set drop_first 0
59 set drop_dependent 0
60 set drop_always_dependent 0
61 set drop_minimize_dependent 0
62 set split_flow 0
63
64 if { $in_mode == "normal" } {
65 } elseif { $in_mode == "dropfirst" } {

```

```

66     set drop_first 1
67 } elseif { $in_mode == "dropdependent" } {
68     set drop_dependent 1
69 } elseif { $in_mode == "dropalwaysdep" } {
70     set drop_always_dependent 1
71 } elseif { $in_mode == "dropminimize" } {
72     set drop_minimize_dependent 1
73 } elseif { $in_mode == "splitflow" } {
74     set split_flow 1
75 } else {
76     puts "Invalid mode"
77     exit 1
78 }
79
80 set total_flow_rate 0
81
82 foreach flow_rate $list_videos_bitrate {
83     set total_flow_rate [expr $total_flow_rate + $flow_rate]
84 }
85
86 foreach flow_rate $list_voips_filename {
87     set total_flow_rate [expr $total_flow_rate + 8]
88 }
89
90 set congestions_packet_size 1024
91
92 lappend list_congestions_interval
93 lappend list_congestions_bitrate
94 foreach congestions_filename $list_congestions_filename {
95     set congestion_kbps [ expr $total_flow_rate * 1]
96     lappend list_congestions_bitrate $congestion_kbps
97     lappend list_congestions_interval [expr 1.0/(( $congestion_kbps*1000)/(
98         $congestions_packet_size*8.0))]
99 }
100 if { [llength $args(--systemload)] == 1 } {
101
102     set systemload [lindex $args(--systemload) 0]
103     set total_flow_rate 0
104
105     foreach flow_rate $list_videos_bitrate {
106         set total_flow_rate [expr $total_flow_rate + $flow_rate]
107         puts "Video rate: $flow_rate"
108     }
109
110     foreach flow_rate $list_voips_filename {
111         set total_flow_rate [expr $total_flow_rate + 8]

```

```
112     puts "VoIP rate: 8"
113 }
114
115 foreach flow_rate $list_congestions_bitrate {
116     set total_flow_rate [expr $total_flow_rate + $flow_rate]
117     puts "Congestion rate: $flow_rate"
118 }
119
120 set bandwidth [expr $total_flow_rate / ($systemload/100.0)]
121 } else {
122     set bandwidth "11000"
123 }
124
125 set bandwidth "${bandwidth}kb"
126 puts "Bandwidth $bandwidth"
127
128 #####
129 # Files #
130 #####
131 set trace_ns_filename "simulation-results-out.tr"
132 file delete $trace_ns_filename
133
134 set trace_nam_filename "simulation-results-out.nam"
135 file delete $trace_nam_filename
136
137 foreach videos_filename $list_videos_filename {
138
139     set sender_video_trace_filename($videos_filename) "simulation-${
140         videos_filename}-sender.trace"
141
142     set sender_video_dat_filename($videos_filename) "simulation-${
143         videos_filename}-sender.dat"
144     file delete $sender_video_dat_filename($videos_filename)
145
146     set sender_video_dump_filename($videos_filename) "simulation-${
147         videos_filename}-sender.dump"
148     file delete $sender_video_dump_filename($videos_filename)
149
150     set sender_video_frames_filename($videos_filename) "simulation-${
151         videos_filename}-sender.frames"
152     file delete $sender_video_frames_filename($videos_filename)
153
154     set receiver_video_dump_filename($videos_filename) "simulation-${
155         videos_filename}-receiver.dump"
156     file delete $receiver_video_dump_filename($videos_filename)
157 }
158 }
```

```

154 foreach voips_filename $list_voips_filename {
155
156     set sender_voip_bit_filename($voips_filename) "simulation-${
        voips_filename}-sender.bit"
157
158     set sender_voip_vuv_filename($voips_filename) "simulation-${
        voips_filename}-sender.vuv"
159
160     set sender_voip_trace_filename($voips_filename) "simulation-${
        voips_filename}-sender.trace"
161     file delete $sender_voip_trace_filename($voips_filename)
162
163     set receiver_voip_trace_filename($voips_filename) "simulation-${
        voips_filename}-receiver.trace"
164     file delete $receiver_voip_trace_filename($voips_filename)
165 }
166
167 #####
168 # Wireless parameters #
169 #####
170
171 set val(chan)           Channel/WirelessChannel    ;# channel type
172 set val(prop)          Propagation/TwoRayGround  ;# radio-propagation
    model
173 set val(netif)         Phy/WirelessPhy           ;# network interface
    type
174 set val(mac)           Mac/802_11e               ;# MAC type
175 set val(ifq)           Queue/DTail/MyPriQ       ;# interface queue type
176 set val(ll)            LL                        ;# link layer type
177 set val(ant)           Antenna/OmniAntenna      ;# antenna model
178 set val(ifqlen)        50                       ;# max packet in ifq
179 set val(nn)            2                         ;# number of mobilenodes
180 set val(rp)            AODV                     ;# routing protocol
181 set val(x)             300                      ;# x coordinate of
    topology
182 set val(y)             300                      ;# y coordinate of
    topology
183
184 set voip_prio 0
185
186 if { !$split_flow } {
187     set video_prio_i 1
188     set video_prio_p 1
189     set video_prio_b 1
190 } else {
191     set video_prio_i 0
192     set video_prio_p 1

```

```
193     set video_prio_b 2
194 }
195
196 set congestion_prio 2
197
198 #####
199 # Video trace #
200 #####
201 foreach videos_filename $list_videos_filename {
202
203     set sender_video_trace_file [open $sender_video_trace_filename(
204         $videos_filename) r]
205
206     set sender_video_dat_file [open $sender_video_dat_filename(
207         $videos_filename) w]
208
209     set max_fragmented_size 1024
210     #add udp header(8 bytes) and IP header (20bytes)
211     set source_video_packet_size($videos_filename) [expr 1024 + 8 + 20]
212     set pre_time 0
213
214     while {[eof $sender_video_trace_file] == 0} {
215
216         gets $sender_video_trace_file current_line
217         scan $current_line "%d%s%d%f" no_frametype_ length_ tmp1_ tmp2_
218         set time [expr int(($tmp2_ - $pre_time)*1000000.0)]
219
220         if { $frametype_ == "I" } {
221             set type_v 1
222             set prio_p $video_prio_i
223         }
224
225         if { $frametype_ == "P" } {
226             set type_v 2
227             set prio_p $video_prio_p
228         }
229
230         if { $frametype_ == "B" } {
231             set type_v 3
232             set prio_p $video_prio_b
233         }
234
235         if { $frametype_ == "H" } {
236             set type_v 1
237             set prio_p $video_prio_i
238         }
239     }
240 }
```

```

237     puts $sender_video_dat_file "$time $length_ $type_v $prio_p
        $max_fragmented_size"
238     set pre_time $tmp2_
239 }
240
241 close $sender_video_trace_file
242 close $sender_video_dat_file
243 set sender_video_end_time($videos_filename) $tmp2_
244 }
245
246 #####
247 # Simulator #
248 #####
249
250 set ns [new Simulator]
251 set trace_ns_file [open $trace_ns_filename w]
252 $ns trace-all $trace_ns_file
253 $ns use-newtrace
254 set trace_nam_file [open $trace_nam_filename w]
255 $ns namtrace-all-wireless $trace_nam_file $val(x) $val(y)
256
257 set topo [new Topography]
258 $topo load_flatgrid $val(x) $val(y)
259
260 create-god $val(nn)
261
262 set chan [new $val(chan)]
263 Mac/802_11e set dataRate_ $bandwidth
264 Queue/DTail/MyPriQ set set_dependency_file 1
265 Queue/DTail/MyPriQ set set_drop_first $drop_first
266 Queue/DTail/MyPriQ set set_drop_dependent $drop_dependent
267 Queue/DTail/MyPriQ set set_drop_always_dependent $drop_always_dependent
268 Queue/DTail/MyPriQ set set_drop_minimize_dependent $drop_minimize_dependent
269
270 #####
271 # Agents #
272 #####
273
274 set video_class 1000
275
276 foreach videos_filename $list_videos_filename {
277
278     incr video_class
279
280     set source_video_udp($videos_filename) [new Agent/myUDP]
281     $source_video_udp($videos_filename) set class_ $video_class

```

```
282   $source_video_udp($videos_filename) set packetSize_  
      $source_video_packet_size($videos_filename)  
283   $source_video_udp($videos_filename) set_filename  
      $sender_video_dump_filename($videos_filename)  
284  
285   set source_video_tracefile($videos_filename) [new Tracefile]  
286   $source_video_tracefile($videos_filename) filename  
      $sender_video_dat_filename($videos_filename)  
287  
288   set source_video($videos_filename) [new Application/Traffic/myEvalvid]  
289   $source_video($videos_filename) attach-agent $source_video_udp(  
      $videos_filename)  
290   $source_video($videos_filename) attach-tracefile $source_video_tracefile  
      ($videos_filename)  
291   $source_video($videos_filename) save-all-trace  
      $sender_video_frames_filename($videos_filename)  
292  
293   set receiver_video_null($videos_filename) [new Agent/myEvalvid_Sink]  
294   $receiver_video_null($videos_filename) set_filename  
      $receiver_video_dump_filename($videos_filename)  
295  
296 }  
297  
298 set voip_class 2000  
299  
300 foreach voips_filename $list_voips_filename {  
301  
302   incr voip_class  
303  
304   set source_voip_rtp($voips_filename) [new Agent/RTPdata]  
305   $source_voip_rtp($voips_filename) set class_ $voip_class  
306   $source_voip_rtp($voips_filename) set prio_ $voip_prio  
307  
308   set source_voip($voips_filename) [new Application/Traffic/VOIP]  
309   $source_voip($voips_filename) set status_ 1  
310   $source_voip($voips_filename) set_BITFile $sender_voip_bit_filename(  
      $voips_filename)  
311   $source_voip($voips_filename) set_VUVFile $sender_voip_vuv_filename(  
      $voips_filename)  
312   $source_voip($voips_filename) set_SentFile $sender_voip_trace_filename(  
      $voips_filename)  
313   $source_voip($voips_filename) set interval_ 0.02  
314   $source_voip($voips_filename) set packetSize_ 20  
315   $source_voip($voips_filename) attach-agent $source_voip_rtp(  
      $voips_filename)  
316  
317   set receiver_voip_rtp($voips_filename) [new Agent/RTPdata]
```

```

318     $receiver_voip_rtp($voips_filename) set prio_ $voip_prio
319
320     set receiver_voip($voips_filename) [new Application/Traffic/VOIP]
321     $receiver_voip($voips_filename) set status_ 0
322     $receiver_voip($voips_filename) set_ReceivedFile
323         $receiver_voip_trace_filename($voips_filename)
324     $receiver_voip($voips_filename) set interval_ 0.02
325     $receiver_voip($voips_filename) set packetSize_ 20
326     $receiver_voip($voips_filename) attach-agent $receiver_voip_rtp(
327         $voips_filename)
328 }
329
330 set congestion_class 3000
331 set i_congestions_filename 0
332
333 foreach congestions_filename $list_congestions_filename {
334
335     incr congestion_class
336
337     set c_congestions_interval [lindex $list_congestions_interval
338         $i_congestions_filename]
339     set c_congestions_prio [lindex $list_congestions_prio
340         $i_congestions_filename]
341     incr i_congestions_filename
342
343     set source_congestion_udp($congestions_filename) [new Agent/UDP]
344     $source_congestion_udp($congestions_filename) set class_
345         $congestion_class
346     $source_congestion_udp($congestions_filename) set prio_
347         $c_congestions_prio
348
349     set source_congestion_cbr($congestions_filename) [new Application/
350         Traffic/CBR]
351     $source_congestion_cbr($congestions_filename) set packetSize_
352         $congestions_packet_size
353     $source_congestion_cbr($congestions_filename) set interval_
354         $c_congestions_interval
355     $source_congestion_cbr($congestions_filename) attach-agent
356         $source_congestion_udp($congestions_filename)
357
358     set source_congestion_null($congestions_filename) [new Agent/Null]
359 }
360
361 #####
362 # Nodes #
363 #####
364

```

```
355 $ns node-config -adhocRouting $val(rp) \  
356     -llType $val(ll) \  
357     -macType $val(mac) \  
358     -ifqType $val(ifq) \  
359     -ifqLen $val(ifqlen) \  
360     -antType $val(ant) \  
361     -propType $val(prop) \  
362     -phyType $val(netif) \  
363     -channel $chan \  
364     -topoInstance $topo \  
365     -agentTrace ON \  
366     -routerTrace ON \  
367     -macTrace OFF \  
368     -movementTrace OFF  
369  
370 set sender [$ns node]  
371 $sender random-motion 0  
372 $sender set X_ 5.0  
373 $sender set Y_ 5.0  
374 $sender set Z_ 0.0  
375 $ns initial_node_pos $sender 20  
376  
377 set receiver [$ns node]  
378 $receiver random-motion 0  
379 $receiver set X_ 55.0  
380 $receiver set Y_ 5.0  
381 $receiver set Z_ 0.0  
382 $ns initial_node_pos $receiver 20  
383  
384 foreach videos_filename $list_videos_filename {  
385  
386     $ns attach-agent $sender $source_video_udp($videos_filename)  
387     $ns attach-agent $receiver $receiver_video_null($videos_filename)  
388     $ns connect $source_video_udp($videos_filename) $receiver_video_null(  
389         $videos_filename)  
390 }  
391  
392 foreach voips_filename $list_voips_filename {  
393     $ns attach-agent $sender $source_woip_rtp($voips_filename)  
394     $ns attach-agent $receiver $receiver_woip_rtp($voips_filename)  
395     $ns connect $source_woip_rtp($voips_filename) $receiver_woip_rtp(  
396         $voips_filename)  
397 }  
398  
399 foreach congestions_filename $list_congestions_filename {  
400     $ns attach-agent $sender $source_congestion_udp($congestions_filename)
```

```
399     $ns attach-agent $receiver $source_congestion_null($congestions_filename
400     )
401     $ns connect $source_congestion_udp($congestions_filename)
402     $source_congestion_null($congestions_filename)
403 }
404 #####
405 # Finish #
406 #####
407 proc finish {} {
408
409     global ns trace_ns_file trace_nam_file
410     $ns flush-trace
411     close $trace_ns_file
412     close $trace_nam_file
413
414     exit 0
415 }
416
417 #####
418 # Run #
419 #####
420
421 set start_time 0
422
423 set start_time_video $start_time
424 set difference_start_time_video 2
425 set max_stop_time_video 0
426
427 foreach videos_filename $list_videos_filename {
428
429     set sender_video_start_time($videos_filename) $start_time_video
430     set sender_video_stop_time($videos_filename) [expr
431     $sender_video_start_time($videos_filename) + $sender_video_end_time(
432     $videos_filename)]
433
434     if { $sender_video_stop_time($videos_filename) > $max_stop_time_video }
435     {
436         set max_stop_time_video $sender_video_stop_time($videos_filename)
437     }
438
439     incr start_time_video $difference_start_time_video
440 }
441
442 set start_time_voip $start_time
443 set difference_start_time_voip 2
```

```
441 set max_stop_time_voip 0
442
443 foreach voips_filename $list_voips_filename {
444
445     set sender_voip_start_time($voips_filename) $start_time_voip
446     set sender_voip_stop_time($voips_filename) $max_stop_time_video
447
448     if { [expr $sender_voip_start_time($voips_filename) + 10] >
449         $sender_voip_stop_time($voips_filename) } {
450         set sender_voip_stop_time($voips_filename) [expr
451             $sender_voip_start_time($voips_filename) + 10]
452     }
453
454     if { $sender_voip_stop_time($voips_filename) > $max_stop_time_voip } {
455         set max_stop_time_voip $sender_voip_stop_time($voips_filename)
456     }
457
458     incr start_time_voip $difference_start_time_voip
459 }
460
461 set max_stop_time $max_stop_time_video
462
463 if { $max_stop_time < $max_stop_time_voip } {
464     set max_stop_time $max_stop_time_voip
465 }
466
467 set sender_congestion_start_time $start_time
468 set sender_congestion_stop_time $max_stop_time
469
470 puts "Stop time: $max_stop_time"
471
472 foreach videos_filename $list_videos_filename {
473     $ns at $sender_video_start_time($videos_filename) "$source_video(
474         $videos_filename) start"
475     $ns at $sender_video_stop_time($videos_filename) "$source_video(
476         $videos_filename) stop"
477 }
478
479 foreach voips_filename $list_voips_filename {
480     $ns at $sender_voip_start_time($voips_filename) "$source_voip(
481         $voips_filename) start"
482     $ns at $sender_voip_start_time($voips_filename) "$receiver_voip(
483         $voips_filename) start"
484     $ns at $sender_voip_stop_time($voips_filename) "$source_voip(
485         $voips_filename) stop"
486     $ns at $sender_voip_stop_time($voips_filename) "$receiver_voip(
487         $voips_filename) stop"
```

```

480 }
481
482 foreach congestions_filename $list_congestions_filename {
483     $ns at $sender_congestion_start_time "$source_congestion_cbr(
         $congestions_filename) start"
484     $ns at $sender_congestion_stop_time "$source_congestion_cbr(
         $congestions_filename) stop"
485 }
486
487 $ns at [expr $max_stop_time + 5.0] "$sender reset";
488 $ns at [expr $max_stop_time + 5.0] "$receiver reset";
489
490 foreach videos_filename $list_videos_filename {
491     $ns at [expr $max_stop_time + 5.0] "$receiver_video_null(
         $videos_filename) closefile"
492 }
493
494 $ns at [expr $max_stop_time + 6.0] "finish"
495
496 $ns run

```

A.2 Código para Reconstrução-Decodificação de Vídeos (bat)

```

1  rem DECODIFICACAO DOS VIDEOS
2
3  Rar.exe M -agyyymmdd_hhMMSS nstrace.rar *.tr
4  SET /p file=%1
5  SET /p gop=%2
6  SET /p bitrate=%3
7
8  FOR /F "tokens=1 delims=" %%A IN (mode.txt) DO (
9      FOR /L %%S IN (50,5,300) DO (
10         etmp4 -p -0 %file%-GOP%gop%-mode%%A-bitrate%bitrate%-sl%%
             S-sender.dump %file%-GOP%gop%-mode%%A-bitrate%bitrate%-sl%%
             S-receiver.dump %file%-GOP%gop%.trace %file%-GOP%gop%.mp4 temp-rcv
11         ffmpeg -i temp-rcv.mp4 %file%-GOP%gop%-mode%%A-bitrate%bitrate%-sl%%
             S-receiver.yuv
12         ren temp-rcv.mp4 %file%-GOP%gop%-mode%%A-bitrate%bitrate%-sl%%
             S-receiver.mp4
13         msu_metric -f %file%-GOP%gop%.yuv IYUV -yw 352 -yh 288 -f %file%-GOP%
             gop%-mode%%A-bitrate%bitrate%-sl%%S-receiver.yuv -sc1 -metr ALL
             -cc YYUV
14         del %file%-GOP%gop%-mode%%A-bitrate%bitrate%-sl%%S-receiver.yuv

```

15)
16)

A.3 Registros da Simulação



Figura A.1: Simulação no NS2 I

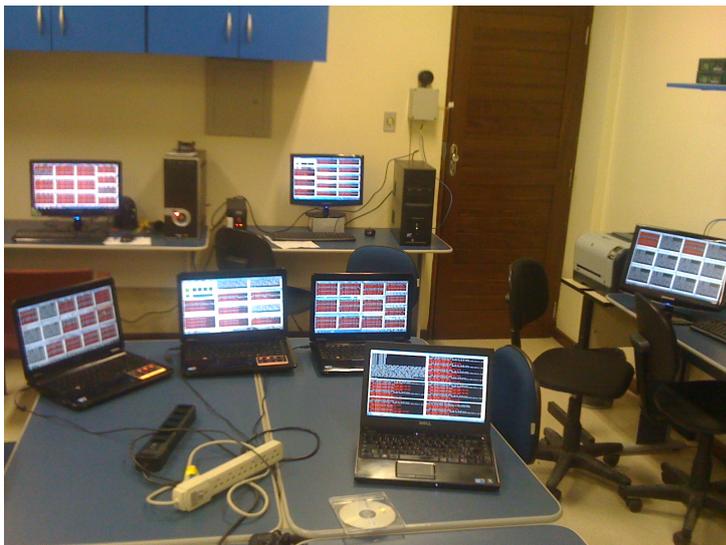


Figura A.2: Simulação no NS2 II

Anexos

B.1 Publicações Realizado pela Autor

B.1.1 Capitulo de Livro

*R*ecent Advances and Challenges in Wireless QoE-aware Multimedia Streaming Systems.

OLIVEIRA, R. S. ; Allan Douglas Costa; Eduardo Cerqueira ; ABELÉM, A. J. G ; AGUIAR, E. S. ; BEZERRA, P. H. G. ; FRANCÊS, C. R. L. ; COSTA. J. C. W. A ; Santana. Á. L.

In: Multimedia Services and Streaming for Mobile Devices: Challenges and Innovations. Croácia: INTECH, 2011, v. , p. 1-26.

Recent Advances and Challenges in Wireless QoE-aware Multimedia Streaming Systems

Rosinei Oliveira¹, Elisangela Aguiar², Paulo Bezerra², Allan Costa², Eduardo Cerqueira², Ádamo L. Santana¹, João C. W. A. Costa¹, Carlos. R. L. Frances¹ and Antônio J. G. Abelém²

¹Laboratory of High Performance Networks Planning (LPRAD)
Faculty of Electronic Engineering, Federal University of Pará - PPGEE
Augusto Corrêa Avenue, 01, Belém, Brazil
Building of the Laboratory of Electrical Engineering, Room 26
Phone: +55 913201 8112 Fax: +55 91 3201-7740

³Research Group on Computer Networks and Multimedia Communications (GERCOM)
Faculty of Computing, Federal University of Pará – PPGEE / PPGCC
Augusto Corrêa Avenue, 01, Belém, Brazil
Building of the Institute of Natural and Exact Sciences.
Phone: +55 91 3201-8000 Extension: 2101

E-mail: {nei, eaguiar, paulohgb, allan, cerqueira, adamo, jweyl, rfrances, abelem}
@ufpa.br

ABSTRACT

It is expected that multimedia applications will be the most abundant application in the Internet and thousands of new wireless and mobile users will produce and share multimedia streaming content ubiquitously. In this multimedia-aware system, it is important to assure the end-to-end quality level support for video and voice applications in wireless systems. Traditional Quality of Service (QoS) techniques assure the delivery of those services with packet differentiation assurance and indicate the impact of multimedia traffic only on the network performance, however, they do not reflect the user's perception. Recent advances in multimedia are exploring new Quality of Experience (QoE) approaches and including metrics and control schemes in wireless networking systems in order to increase the user's satisfaction and optimize network resources. QoE-based operations can be used as an indicator of how a networking environment meets the end-user's needs and new assessment and packet control approaches are still important challenges. This chapter presents an overview of the most recent advances and challenges in assessment and traffic conditioner procedures for wireless multimedia streaming systems. In addition, an intelligent packet dropper mechanism for IEEE 802.11e systems is proposed and evaluated by using the Network Simulator 2 (NS2) and Evalvid Tool.

KEYWORDS

Quality of Service, Quality of Experience, Multimedia Streaming, Wireless System

1 INTRODUCTION

Recently, advances in multimedia and mobile communications have emerged to offer a novel and comfortable living style for users. In this context, the delivery of multimedia content, such as video streaming, anytime, anywhere and with an end-to-end quality level support is a key requirement. This fact explains the increase of wireless networking standards, such as the Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.11 and 802.16 ([IEEE] 802.11, & [IEEE] 802.16, 2010), as well as the emerging new multimedia streaming applications.

With respect wireless systems, the IEEE 802.11 standard provides communication coverage limited to an area of 100m and can also operate in mesh mode, 802.11s (Akyildiz, & Wang, 2005), to increase the coverage area. The IEEE 802.16 was designed to work in outdoor scenarios, with a range of up to 50km and rates of up to 75Mbps for architectures fixed (802.16d), and coverage of up to 4km and bandwidth up to 15Mbps for mobile devices (802.16e). The wireless facility can allow the ubiquitous access of multimedia content with low operational cost. It is expected that video-based services will account for 50 percent of all consumer network traffic in 2012 and 80 percent in 2020.

In order to keep and attract customers, wireless operators must also provide quality level assurance for multimedia applications in order to maximize the user's satisfaction and the usage of network resources, while increasing the profits of network providers. However, wireless and multimedia-aware Quality of Service (QoS) assessment and management schemes must be implemented to fulfill such important requirement.

To cope with QoS issues in Wireless Local Area Network (WLANs), the IEEE 802.11e working group was created, where the draft version brought new Media Access Control (MAC) improvements incorporated in the IEEE 802.11 standard (IEEE 802.11e, 2010). To provide QoS assurance, eight User Priorities (UPs) were defined. Each packet is assigned to an UP and mapped to an Access Category (AC). Each AC is directly mapped to a queue, where several queues have different priorities, and applications are assigned to them according to requirements, policies, content, among other parameters.

In the case of broadband access in Wireless Metropolitan Area Network (WMAN), the Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) system, aIEEE802.16 standardized architecture for all-IP networks, is the most attractive solution to last mile connectivity to Internet with quality level assurance. The WiMAX system provides differentiated levels of QoS for multimedia applications, based on the combination of a set of communication service classes, supported in both wired IP-based and wireless IEEE 802.16-based links. In the former, network elements with standard IP QoS models, such as Differentiated Services (DiffServ), can be configured to guarantee QoS support for sessions crossing wired links. In the latter, several IEEE 802.16 QoS services are defined to provide packet differentiation in the wireless interface (Andrews, Ghosh, & Muhamed, 2007).

As presented above, the current wired and wireless techniques that aim to maximize the quality level of multimedia services in a networking system are focused only on Quality of Service (QoS) aspects. QoS-based schemes define a set of network level (and packet level) measurement and control operations to guarantee the distribution of multimedia content over heterogeneous networks with an acceptable quality level (Zapter, & Bressan, 2007).

Existing QoS metrics, such as packet loss rate, packet delay rate and throughput, are typically used to indicate the impact on multimedia streaming quality level from the network's point of

view, but do not reflect the user's experience. Consequently, these QoS parameters fail in capturing subjective aspects associated with human perception (Perkis, Munkeby, & Hillestad, 2006).

In order to overcome the limitations of current QoS-aware multimedia networking schemes respect to human perception and subjective-related aspects, recent advances in multimedia-aware system, named Quality of Experience (QoE) approaches, have been introduced (Takahashi, Hands, & Barriac, 2008). Hence, new challenges in emerging networks involve the study, the creation and the validation of QoE measurements and optimization mechanisms to improve the overall quality level of multimedia streaming content and the usage of scarce wireless network resources (Mu, Cerqueira, Boavida, & Mauthe, 2009).

The QoE applicability scenarios, requirements, evaluations and assessment methodologies in multimedia systems have been investigated by several researches and working groups, such as International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector ([ITU-T], 2010), (Video Quality Experts Group [VQEG], 2010) and (European Technical Committee for Speech, Transmission, Planning and Quality of Service [ETSI STQ], 2010).

In the emerging future multimedia networks, QoE assessment solutions and metrics are needed to measure the performance of multimedia streaming applications with human-based precision. Currently, there are subjective and objective measurement approaches to evaluate the quality level of multimedia content from the user's point of view. Additionally, new network and application-sensitive mechanisms are required to optimize network resources and increase the end-to-end quality level of multimedia streaming. The results of QoE investigations can be used as an extension to the traditional QoS schemes, in the sense that QoE provides information regarding the delivered multimedia service from the user's point of view. Examples of control mechanisms that will be included in QoE support in wired and wireless systems are new routing approaches, base station selection process and traffic conditioners.

In this chapter, an overview of the most recent advances and challenges in wireless multimedia streaming systems, with focus on QoE measurements and packet control proposals will be addressed. In order to demonstrate the benefits and efficiency of QoE solutions on controlling the quality level of multimedia streaming, simulation experiments were carried out, by using the Network Simulator 2 ([NS2], 2010) and the Video Quality Evaluation Tool-set Evalvid (Klaue, J., Rathke, B., & Wolisz, 2003), verifying Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Video Quality Metric (VQM), Structural Similarity Index (SSIM) and Mean Opinion Score (MOS) of real video sequences analyzed the proposed mechanisms, in a wireless system.

The remainder of this chapter is organized as follows. Section 2 discusses a survey of main metrics of QoE. Section 3 presents the state of the art approaches used to evaluate the QoE in video streaming. The optimization approach for streaming video over wireless networks, and its main features are described in section 4. In section 5, the scenario presented is detailed, as well as the tools used. The results are presented in section 6. Section 7 addresses the key challenges that exist in Wireless QoE-aware Multimedia Streaming Systems. Finally, section 8 presents the conclusions and future work.

2. QUALITY OF EXPERIENCE METRICS

Traditional techniques that aim to maximize the quality level of multimedia streaming are based only on QoS metrics. They define a set of management operations and measurement at the

network level and packages, to control the delivery of multimedia content with an acceptable level of quality over heterogeneous networks (Zapater & Bressan, 2007). However, recent advances in multimedia system have presented the benefits of QoE metrics in assessing the quality level of applications based on the user's perspective/human perception.

There are several subjective and objective methods to measure the quality level and detect impairments (blocking, blurring and color errors) of multimedia streaming. Subjective methods are performed to acquire information about the quality level of processed video based on human opinion score schemes, while objective methods are used to estimate the performance of multimedia systems, by using models that approximate results of subjective quality assessment.

2.1 Subjective Metrics

Subjective metrics assess how audio and/or video streams are perceived by users, i.e., what is their opinion on the quality of particular audio/video sequences, as described in ITU-T recommendation BT 500 (1990). The most popular subjective metric is called Mean Option Score (MOS). The quality level of a video (or audio) sequence based on MOS model is rated on a scale from 1 to 5, with 5 being the best possible score, as presented in Table 1.

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

Table 1. Mean Option Score

The MOS values are achieved based on subjective tests and methodologies performed with a set of viewers. For instance, the Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE) test allows viewers to dynamically rate the quality of an arbitrarily long video sequence using a slider mechanism with an associated quality scale. The drawback of subjective metrics is the fact that they are neither practical nor scalable for real-time multimedia environments.

2.2 Objective Metrics

Several objective QoE metrics have been studied and developed to estimate the quality level of

multimedia streaming applications according to the user's perception. Among them, the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) is a traditional objective metric used to measure, in decibels, the video quality level based on original and processed video sequences. Typical values for the PSNR in lossy videos are between 30 dB and 50 dB, where higher is better. The PSNR of a video is defined through the Mean Square Error (MSE) metric; considering the luminance (Y) of the processed and original frames and assuming frames with MxN pixels, the MSE is obtained using Equation 1, illustrated in Table 2.

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|Y_s(i, j) - Y_d(i, j)\|^2 \quad (1)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|Y_s(i, j) - Y_d(i, j)\|^2}} \right) \quad (2)$$

Table 2. MSE and PSN Equation

In Equation 1, while $Y_s(i, j)$ designates the pixel in the position (i, j) of the original frame, the $Y_d(i, j)$ represents the pixel located in the position (i, j) of the processed frame. Based on the MSE definition and on 8bits/sample, the PSNR, in a logarithmic scale, is obtained using Equation 2

The MSE and PSNR metrics only provide an indication of the difference between the received frame and a reference signal, and do not consider any other important aspects which can strongly influence the video quality level, such as Human Visual System (HVS) characteristics. A detailed analysis of HVS can be found in Wang, Lu, & Bovik (2004). The PSNR can also be used to map MOS values as described in Table 2.

PSNR (db)	MOS
> 37	5 (Excellent)
31 – 37	4 (Good)
25 – 31	3 (Fair)
20 – 25	2 (Poor)
< 20	1 (Bad)

Table 3. PSNR to MOS conversion

The Structural Similarity Index Metric (SSIM) improves the traditional PSNR and MSE, which are inconsistent with HVS characteristics, such as human eye perception (Wang, Bovik, Sheikh, & Simoncelli, 2004). The SSIM metric is based on frame-to-frame measuring of three components (luminance similarity, contrast similarity and structural similarity) and combining them into a single value, called index. The SSIM index is a decimal value between 0 and 1, where 0 means no correlation with the original image, and 1 means the exact same image.

The Video Quality Metric (VQM) method defines a set of computational models that also have

been shown to be superior to traditional PSNR and MSE metrics (Revés, Nafisi, Ferrús, & Gelonch, 2006). The VQM method takes as input the original video and the processed video and verifies the multimedia quality level based on human eye perception and subjectivity aspects, including blurring, global noise, block distortion and color distortion. The VQM evaluation results vary from 0 to 5 values, where 0 is the best possible score.

The Moving Picture Quality Metric (MPQM) evaluates the video quality using HVS modeling characteristics (Lambrecht, & Verscheure, 1996). The input to the MPQM metric is an original video sequence and a distorted version of it. The distortion is first computed as the difference between the original and the distorted sequences. The original and the error sequences are then decomposed into perceptual channels segmented using uniform areas, textures and contours classification.

After that, HVS-based contrast sensitivity and masking parameters are considered for each perceptual channel in detection threshold calculation. Finally, data from channels are gathered to yield a single figure and to account for higher levels of perception, which is called pooling. Due to the MPQM's purely frequency-domain implementation of the spatio-temporal filtering process, this complex metric requires huge memory consumption. The final quality measure can be expressed either using a Masked PSNR (MPSNR) equation or can be mapped to MOS scale as detailed in (Lambrecht, & Verscheure, 1996).

The Perceptual Evaluation of Video Quality (PEVQ, 2010) provides MOS values of the video quality degradation as a consequence of end-to-end communication. The PEVQ approach is based on the combination of spatial and temporal artifacts measurement with human visual system behavior. PEVQ provides MOS scores of the video quality; in addition, PEVQ also provides information about the perceptual level of distortion in luminance, chrominance and temporal aspects of the evaluated video.

The previous QoE methods are based on a set of user/service information about the original and processed video. In order to reduce the system complexity and the amount of available reference information, a packet-based method, called Media Delivery Index (MDI), was proposed in IETF RFC 4445 by Welch, & Clark (2006).

The MDI metric is not the most accurate video quality level method and does not provide a good characterization of QoE, but can provide an indication of the video quality in a cost effective manner. The MDI scheme provides an indication of traffic jitter, a measure of deviation from nominal flow rates and a data loss at-a-glance measure for a particular multimedia service. According to MDI values, the overall video quality level through an end-to-end communication path can be estimated.

Regarding voice measurement, the E-Model is a non-intrusive Voice over IP (VoIP) metric based on the concept that impairments, which affect the voice call, are independent. Five factors are considered: the basic signal-to-noise ratio (R_0), which includes sources of noise as the circuit or environment, the impairments which occur more or less simultaneously with the voice signal (I_s), the impairments caused by delay (I_d), the impairments introduced by the equipment (I_{e-eff}) as losses, and the advantage factor (A) (Bandung, Machbub, Langi, & Supangkat, 2008; ITU-T G.107, 2005)). The A factor allows the compensation of impairment when there are other advantages of access to the user. A conventional wired access will have a smaller compensation compared to a wireless access in a remote area. Each parameter is calculated separately and combined to obtain the final result.

The Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ) evaluates the voice QoE by comparing the signal sent and received in analog or digital networks. PESQ evaluation includes factors of distortion due to channel/encoder, losses and jitters and is recommended for speech quality

assessment of narrow-band handset telephony and speech CODECs. Effects of loudness loss, delay, side tone, echo, and other impairments related to two-way interaction are not reflected in the scores (ITU-T P.862, 2001).

The PESQ presents values from -0.5 (lower value) to 4.5 (best value), although for most cases the output range will be a listening quality score, such as the Mean Opinion Score (MOS) scale, between 1.0 and 4.5. Although these results cannot directly be mapped to MOS, they can be approximated to it (Liang, Ke, Shieh, Hwang, &Chilamkurti, 2006).

In order to improve wireless control schemes, QoE quality metrics which have been designed and approved for video and voice quality assessment can be integrated into network/content management infrastructure, so that management operations can be proposed and selected according to user perceived quality.

3. QUALITY OF EXPERIENCE ASSESSMENT APPROACHES

Recent researches have focused on different ways of assessing the quality of video streaming considering the additional information used in the assessment process (by using subjective and objective metrics). These solutions are needed in wireless systems to measure the quality level of current and new applications, as well as, to provide input for optimization procedures in congestion situations or during failures in networking devices. The three main application-level approaches used to classify video quality assessment methods, based on reference-related video procedures are: Full Reference (FR), Reduced Reference (RR) and No Reference (NR).

The FR approach assumes unlimited access to the original video/multimedia sequence. This approach uses the video reference to predict the quality level (degradation) of the processed video, by comparing the difference of every pixel in each image of the distorted video with its corresponding pixel in the original video. As consequence, it provides, in general, superior quality assessment performance. The FR method is difficult to implement in real-time networking systems (QoE-aware equipment/monitoring agent) because it always requires the original sequence during the evaluation process (common for offline experiments). Examples of metrics based on an FR approach are PSNR, SSIM and MPQM.

For in service video quality measurements, RR and NR approaches are generally more suitable. The RR approach differs from the FR approach, whereas only selected multimedia parameters (or characteristics) are required during quality evaluation process, such as motion information. The set of reference parameters can be transmitted piggy-backed with the multimedia flow or by using a secondary channel. The objective of RR is to be as accurate as the full reference model, although using less network and processing resources. An example of an RR scheme is Video Quality Model (VQM), developed by the National Telecommunications and Information Administrative (NTIA) and reported in Pinson, & Wolf (2004).

The NR approach tries to assess the quality of a distorted multimedia service without any reference to the original content. This approach is usually, employed when the encoding method is known. NR-based metrics can be used in in-service network monitoring/diagnostic operations, when the original multimedia sequence is not available. The drawbacks of NR metrics are the following: (i) low correlation with MOS; (ii) high CPU and memory consumption; (iii) time limitation. An example of NR schemes is the V-Factor model (V-Factor, 2010) that outputs MOS. On important challenge in wireless multimedia systems is the specification and implementation of well-defined and high-performance NR schemes.

In addition to the previously application-level measurements approaches (reference-based classification), and, due to the time and processing demands, as well as feasibility issues of content based assessments, multimedia quality prediction mechanisms can be used as a manner to evaluate the quality level of video sequences in wireless networks. These schemes predict the quality level that a specific content will have after the encoding process, based on the encoding parameters, packet inspections, and network conditions. Further processing of the original data is not required, minimizing the associated complexity and resource consumption.

Implementations of prediction mechanism are the utility function models that offer a user-layer extension to existing user-aware measurement schemes to better assess the requirements of multimedia applications as detailed in Mu, Mauthe, & Garcia (2008). Impairment utility functions model the impact from each network QoS dimension (e.g., delay and packet loss) on the perceived quality. Utility values which are generated from all impairment functions are then aggregated as the application utility which quantifies the user's experience on target multimedia

streaming application. The utility value represents the impact of application requirements and network resources on the user's perception.

Network-based approaches are suitable alternatives to assessment controllers in emerging wireless systems, where they evaluate the quality of multimedia content, basically, by verifying all transmitted packets related with the application and network conditions, and no decoding processing is required. The main issue is that such approaches need to perform deep-packet inspection. They need to gather information about the current network conditions, such as packet loss rate and packet one-way delay, to be used in the evaluation process. The final quality level assessment decision can be taken based on previous information, together with information about the multimedia characteristics, such as frame-rate, Group of Picture (GoP), frame type and dependence, only available at application level. This approach is preferable for in-service (real time) multimedia applications since the computational complexity is reduced. The performance is low to medium, but the feasibility is high. For example, in a simplest scenario, quality indicators are only some QoS parameters such as packet loss ratio or bit error rate.

Finally, Hybrid Content Inspection and Network Measurement approaches have also been proposed (Romaniak, Mu, Mauthe, D'Antonio, & Leszczuk, 2008). The main reason for the development of this kind of scheme is to allow network operators to combine the benefits of the previous approaches and adjust performance, complexity and feasibility, as well as to adjust operational cost issues according to different needs, multimedia content type, networks and equipments.

4. QUALITY OF EXPERIENCE OPTIMIZATION IN WIRELESS NETWORKS

There are different QoE optimization approaches for emerging wireless networking, ranging from MAC layer improvements and channel adaptation to routing (Gomes, Junior, Cerqueira, & Abelem, 2010) and packet control mechanisms (Rodrigues, Silva, Cerqueira, & Monteiro, 2008). The last approach is very useful, optimizes the usage of network resources, maximizes the user's satisfaction and will be detailed in this section. A state-of-art analysis will be presented and a novel and efficient user-aware solution to control the quality level of multimedia applications on IEEE 802.11 wireless systems will be described. Since multimedia flows are different in terms of encoder parameters, intra-frame dependence, as well as other QoS and QoE requirements, one key challenge to keep applications with good quality levels during congestions periods is to implement an IEEE 802.11 packet controller mechanism to discard packet according to the impact of each frame on the user perception.

Recent advances in wireless networks (IEEE 802.11e) aim to provide multimedia quality level assurance and are proposed and tested in (Ngoc, Tan, Lee, & Oh, 2007). This proposal adds a second queue to Distributed Coordination Function (DCF) in order to give priority to multimedia streams, and therefore reduces their delay. However, this approach is obsolete and does not focus on the new Hybrid Coordination Function (HCF) operation mode introduced by the IEEE 802.11e draft, which already includes several classes and queues that allow different priorities. Furthermore, few details are provided about performance evaluation issues and applicability scenarios. Thus, it is impossible to know how the multimedia flows were assessed and which scenarios were used. Finally, the conclusions are only based on network performance measurements, such as delay and losses, and no user level assessments were accomplished.

Another approach uses cross-layer architecture to map packets with different priorities to different Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) queues of IEEE 802.11 (Haratcherev, Taal, Langendoen, Lagendijk, & Sips, 2006). In order to setup the importance of each packet,

flows are divided into Parameter Set Concept (PSC), Instantaneous Decoding Refresh (IDR) pictures and partitions. PSC packets contain information about each flow, such as the resolution or the encoding process. IDR packets transport intra-pictures, i.e., pictures that require no other pictures to be decoded. The remaining pictures are divided into slides and each slide is divided into partitions using H.264 Data Partitioning (DP). The DP uses 3 partitions types: A partitions include header information; B partitions have intra-predictions and C partitions inter-predictions.

Because PSC packets contain the most important information, they are mapped to the Access Category (AC) with highest priority, which is, AC3. Given the mean priority of partitions A, they are mapped to AC2. B and C partitions are placed in AC1. Finally, best-effort traffic is mapped to the category with lowest priority, i.e., AC0. However, this proposal is not in accordance with the recommendations of the IEEE 802.11 standard, as well as, additional traffic placed in AC3 may damages voice flows and no scenario related to this problem was analyzed. Moreover, the use of AC1 for video flows makes it impossible to be used for other traffic, and thus no distinction between various types of non-multimedia flows can be done. Furthermore, the mapping of packets from the same flow in different queues increases the jitter that can lead to losses in the buffer on the receiver side. Finally, simulations only take into accounting QoS metrics and no user-based measurements are performed.

Moid, & Fapojuwo (2009) present a framework for streaming of H.264 video over an IEEE 802.11-based wireless network. A proposal was based on a cross-layer mechanism that jointly adapts the video transcoding parameters at the application layer and the video transmission parameters at the data-link layer to the network conditions defined by buffer length and wireless propagation channel. The validation of the proposal made by using the NS2 and Evalvid show that the model is adaptive to change according to network conditions and also in relation to the frame size of videos, with a gain of about 3 dB compared with the simulation model implemented. But the big gap left in this work is that it only deals with the PSNR metric, which despite being widely used, has several limitations related to the Human Behavior System, as presented in section 2

As discussed above, new QoE packet controllers for multimedia wireless systems are still challenges for both academy and industry. Novel approaches are required to assure the quality level support for video streaming applications based on user perception and also in mobility situations. Furthermore, the dependency of each frame of a sequence during the adaptation must be taken into accounting evaluated. The remainder of this section will present the benefits and discuss an intelligent packet controller mechanism for IEEE 802.11.

The proposed optimization wireless mechanism is configured with different selective dropping levels (extends the MAC QoS classifier, meter and dropper with multimedia and QoE-awareness), where a percentage of discarding associated with video and non-video traffics can be assigned to be used during adaptation process. For example, in congestion situations, video traffic can be protected to be discarded last (concurrent traffic is dropped first) or the system can be configured to drop only 10% of all video packets.

This scheme has two operational modes as follows: (i) in its basic configuration, it adapts video sessions to the current network conditions, by dropping frames only according to their importance in order to keep the system as simple as possible (low processing and state stored); (ii) in its enhanced configuration, it can adapt the video quality level also taking into account the dependency of intra-frame sequences and other relevant control information, such as audience size or cost.

Since video streaming are data flow containing application-level objects with special proprieties and dependence, the QoE optimization mechanism improves the packets dropping based on the

dependency of a set of frames. The packet controller discards packets based on the importance of each frame. A typical MPEG-1/2/4 structure is presented in Figure 1, where *I* is the frame with highest priority and *B* the lowest ones.

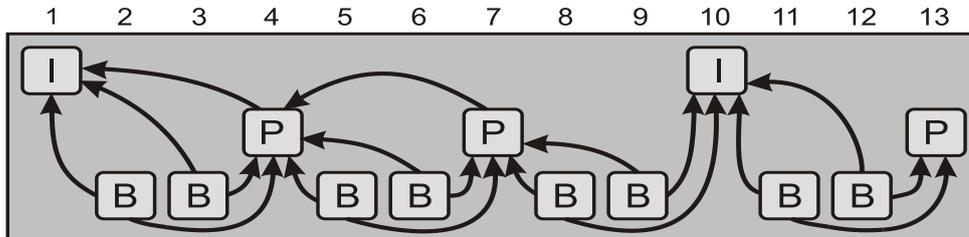


Figure1: A typical MPEG-1/2/4 structure

The QoE wireless controller includes an advanced packet drop scheme that performs its multimedia quality level management based on the importance of each frame of the CODEC. Therefore, if a packet containing an I frame is marked to be dropped (in congestion periods during failures), it will be beneficial to check whether a packet corresponding to a P or B frame is currently in the buffer. Since the number of frames that depends on a P or B frame is reduced, the loss of these frame types will have a reduced impact on the final quality and, therefore, on the user perception. The same process happens when a P frame is selected to be dropped and a B frame is in the queue. It will be beneficial to drop the B frame that is already in the buffer and enqueue the incoming P frame.

5. PERFORMANCE EVALUATION OF A QOE PACKET CONTROLLER

This section describes the benefits and impacts of the proposed QoE packet controller in IEEE 802.11e wireless networks on the user perception based on well-known assessment metrics. The evaluation was carried out by using the Network Simulator 2 (NS2). The Evalvid platform was also implemented to assess the video streaming quality delivery and configured to support MPEG I, P and B frames.

The main objectives of the simulation experiments are the following: (i) analyze the percentage of packet losses associated with frames of video streaming and non-video applications; and (ii) analyze the perceived quality of a video sequence by verifying PSNR, SSIM, VQM and MOS. Four IEEE 802.11e different configurations are implemented for the experiments, they are: Best-Effort (no traffic differentiation), Pure QoS (with traffic differentiation, but without QoE and multimedia support), QoE control (the most important frames are protected in congestion periods) and QoE control with 3% of Advanced Drop (the most important frames are protected and the percentage of non-video packets to be discarded are increased in 3%, in order to save more video packets). For each approach, 10 experiments were performed with different congestion rates (from 0 up to 200% of congestion in a system).

The Boston Representative Internet Topologies Generator ([BRITE], 2010) was used to generate a random topology with wired core nodes, wireless access points and users for the evaluation. Figure 2 illustrates the evaluated scenario, which is composed of 4 wireless nodes (2 sources and 2 receivers), 4 access points and 21 core routers. The wireless and core links have a bandwidth of 11Mb/s and 100Mb/s, respectively. The propagation delay of each link was assigned according to the distance between the edges of each link. Each source sends a real video sequence with average rate of 350Kb/s and a CBR traffic, in order to congest the links. The video sequence, denominated "News" (Evalvid,2010), consists of 300 frames (30 frame/s) with YUV format, sampling 4:2:0 and dimension 352x288. The video sequence was compressed with a MPEG-4 CODEC. The GOP of the sequence is composed of 30 frames, using two B frames for each P frame. Frames are then fragmented in blocs with 1024B.

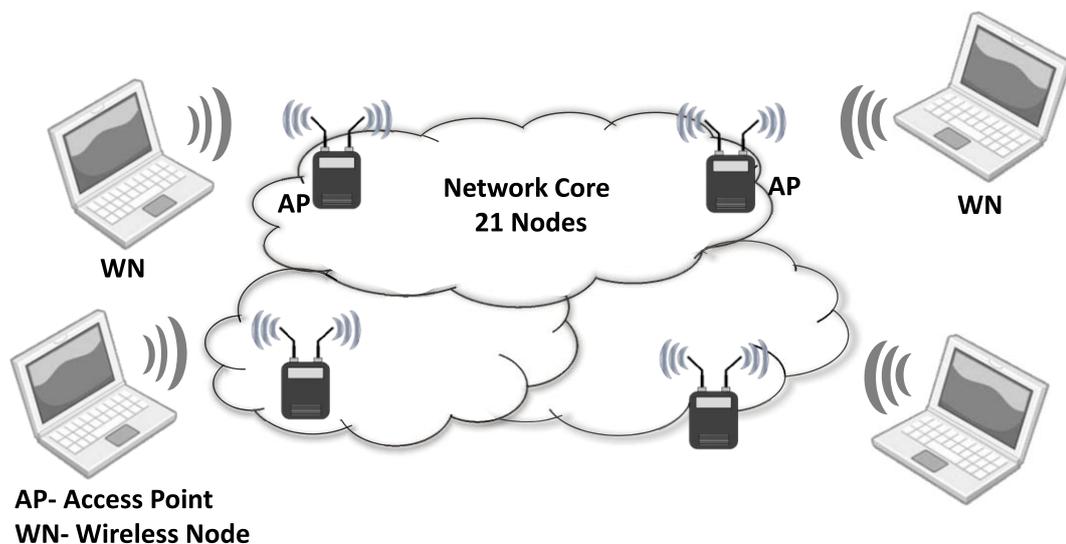


Figure 2: Evaluated Wireless QoE-aware Scenario

6. RESULTS

6.1 Frame Losses

This Section measures the percentage of frame losses (I, P, B and other frames/CBR) for different congestion rates when a system is configured with Best-Effort, Pure QoS, QoE Control and QoEAdv mechanisms.

As presented in Figure 3 (a), when the system is implemented only with the Best-Effort approach, packets are discarded randomly. Hence, as the network's congestion increases, the percentage of packet losses is proportionally increased for all frame types (including packets associated with the CBR traffic).

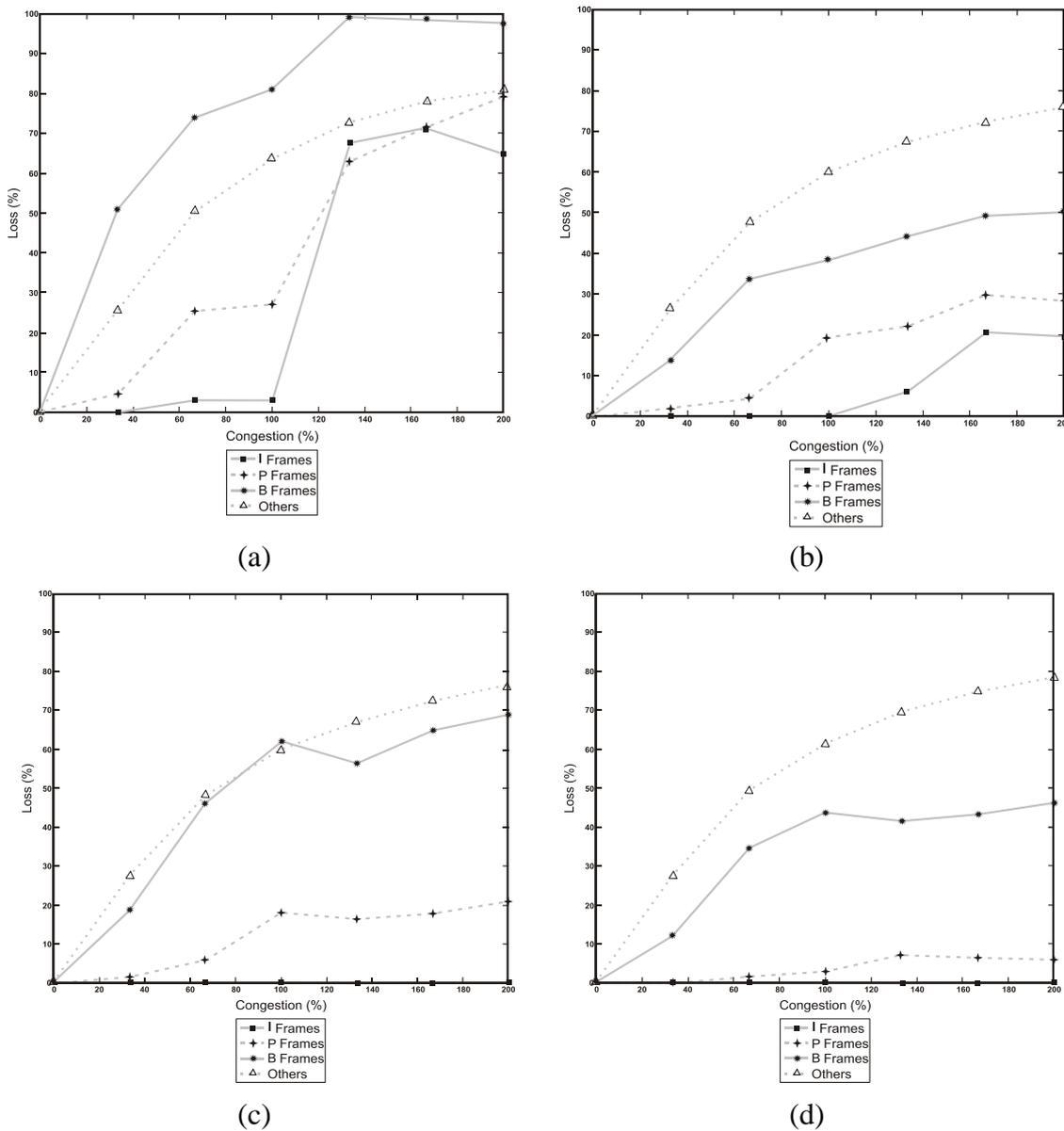


Figure 3 : Frame lost for each mechanisms

Figure 3 (b) describes the system behavior when the pure QoS approach is being used. The results reveal that it provides packet differentiation and protect the discard of video packets (compared to the Best-Effort class), because they are accommodated in a most important class. However, all video packets are dropped in a random “black-box” way (without frame type differentiation).

The benefits of the QoE control proposal on the video quality level are depicted in Figure 4 (c). By adapting the video content according to the importance of each frame, the QoE controller aims to protect most important video frames in congestion periods. Hence, B frames are dropped first and I frames are discarded last, increasing the user’s experience. Compared to Best-Effort and pure QoS approaches, the QoE solution reduces the percentage of P frame loss in 60% and 23% respectively, when the system overload is 100%.

Due to its frame protection schemes, I frames are not discarded during simulations when the QoE and QoEAdv approaches are configured. However, compared to a system with only QoE support, the percentage of P and B frame loss is decreased in 66% and 30% respectively, while the percentage of CBR packet loss is increased to a mere 3%, as presented in Figure 4 (d). Notice that there are more CBR packets than video packets in the system and, consequently, more non-video packets are discarded during congestion periods.

6.2 Peak Signal to Noise

Since packet loss rate does not indicate the real impact on the video quality level, PSNR values of the video sequences in different congestion periods were analyzed. Figure 4 shows the average PSNR for the videos with different approaches.

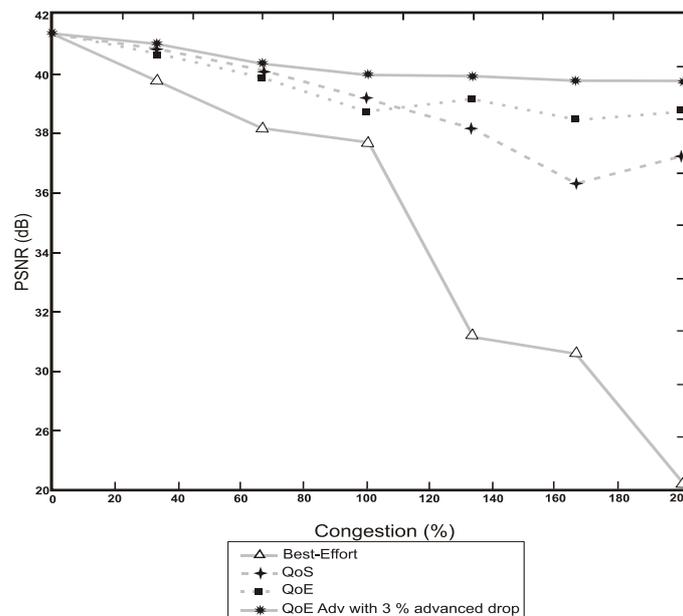


Figure 4: PSNR for each approach and congestion rates

The results reveal that when the Best-Effort approach is being used, the PSNR of the videos

decreases as fast as the traffic increases, attaining a minimum value of 27dB. When the system is configured with only QoS, the PSNR of the videos is maximized in comparison with the Best-Effort (e.g., the PSNR is increased in 3% when the network is overloaded by 80%). Compared to the pure QoS approach, the QoE control increases the quality level of video sequences in 3% and 6% when the system is overloaded in 130% and 150%, respectively.

6.3 Structural Similarity Index

The SSIM results give more detail about the video quality level taking human perception into account. Figure 5 illustrates the average SSIM of the video sequences when the system is configured with Best-Effort, QoS, QoE and QoEAdv drop approaches.

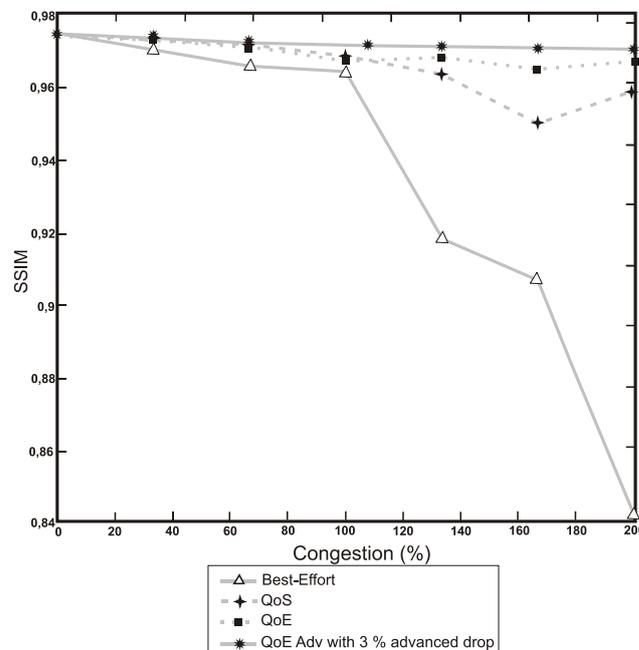


Figure 5. SSIM for each approach and congestion rates

The results reveal that, when the Best-Effort approach is configured, the correlation between the original and the received video is poor after a congestion of 100%. Compared to the pure QoS, the QoE controller increases the SSIM of video sequences in 3% when the system is overloaded in 200%. On average, the QoEAdv approach increases in 0.5% the video SSIM for all experiments, when compared with simulations based only on the QoE configuration.

6.4 Video Quality Metric

VQM is an important metric to verify the video quality level based on human eye perception and subjectivity. Figure 6 presents the average VQM results for each approach when the system has different congestion levels.

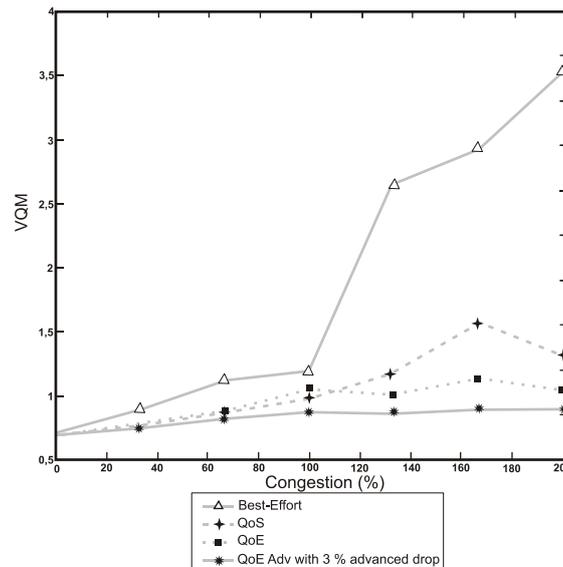


Figure 6. VQM for each approach and congestion rates

Due to its packet differentiation scheme, the pure QoS approach increases the video VQM in 18% (compared to the Best-Effort) when the system load is 80%. Additionally, during a congestion period of 100%, QoE control increases the video VQM in 43% and 70%, when the system is configured with the QoS and Best-Effort approaches, respectively. Compared to a system with the QoE, the QoEAdv approach maximized the video VQM, on average, by 15%, when the system is overloaded in 120%.

6.5 Mean Opinion Score

In order to present the user experience for each approach during congestion periods, the MOS was evaluated using Table 1 and illustrated in Figure 7.

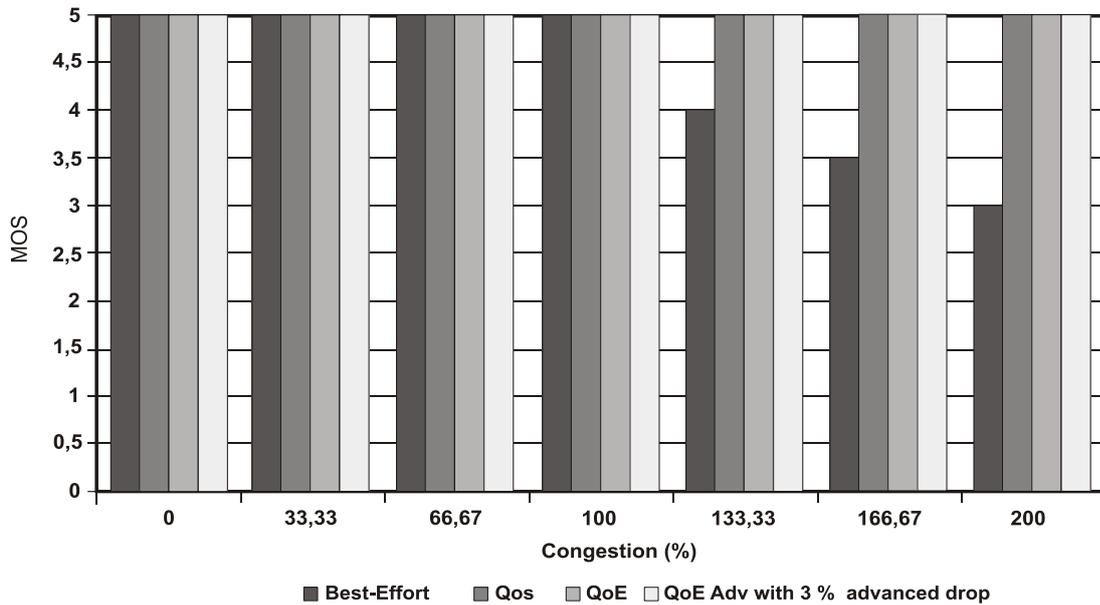


Figure 7. MOS variation when network load increase

The results revealed that, according to the MOS metric, the QoE and QoEAdv approaches kept videos with an excellent quality level during all congestion periods. In order to show the impact of the QoE control (compared to the pure IEEE 802.11e QoS controller mechanism) from the user point of view when the wireless system is experiencing 15% of congestion, some frames of the real video sequence, named News, were captured (Table 4). The benefits of the QoE adaptation process are visible in the frames of the video, particularly in the ballet dancer.

Mechanism	Frame Number [293]	Frame Number [294]	Frame Number [295]
<i>QoEAdv</i>			
<i>Pure QoS</i>			

Table 4. Some frames of “News” with different packet control mechanisms

7 CHALLENGES IN QOE-AWARE WIRELESS MULTIMEDIA SYSTEMS

Recently, solutions have been presented regarding multimedia measurement and optimization over heterogeneous wireless networks. However, there are still many important challenges that need to be addressed in future multimedia networks in several areas. It is not the goal of this chapter to propose an integrated solution for QoE management, but rather to identify the main issues from application to network layers.

Packet/network inspection-based (or even hybrid approaches) can be used to predict and measure video quality based on information gathered from packet and network conditions without accessing the decoded video streaming. The results of these approaches are useful for pricing/billing, management and optimization operations in future wireless multimedia systems.

In addition, new QoE-based application, transport and network level optimization mechanisms (whether a cross-layer approach is used or not) are still required in a near future, such as routing, inter/intra-session adaptation, resource reservation, traffic controller, seamless multimedia mobility and base station selection/user experience schemes. Moreover, the multi-homing capability of current devices can also provide an improved performance for multimedia streaming applications by taking advantage of the multiple connectivity levels from each wireless device.

8. CONCLUSIONS

Research in wireless multimedia area is envisioned to continue with various challenges emerging as a result of new applications, approaches, technologies, operational costs, changing user and terminal requirements, and highly heterogeneous networking infrastructures and devices. This chapter is intended to highlight some of the important topics in wireless and multimedia areas that need attention to address some of the most pressing challenges associated with them. The chapter is focused on two key areas, where the first one was on the assessment schemes and the second was on packet controller optimization schemes, including performance evaluation results.

QoE, although not always quantifiable, numerically, is the most important factor in assessing the user experience through metrics and techniques that can be categorized mainly into two categories, based on the subjectivity or objectivity. In the first category, in general, a group of viewers rate the quality of media, such as through the MOS, in its three axes, V (Viewing), A (Audio), C (Interaction). The second category in turn, makes use of indexes that have qualities associated with mathematical calculations and / or measurement by specific equipment, such as PSNR, MPQM and MDI.

The benefits generated by QoE wireless optimization schemes contribute to the creation of a ubiquitous multimedia era, where the user experience is a key parameter during the development of new solutions to maximize the usage of network resources and the customer's satisfaction. QoE-aware packet controllers are examples of simple (and efficient) mechanisms to be implemented in wireless multimedia systems.

We hope that this work will help improve our understanding of the issues and challenges that lie ahead in wireless multimedia networks and will serve as a catalyst for designers, engineers, and researchers to seek innovative solutions to address and solve those challenges.

Acknowledgements

Authors would like to thank the Pará State Government (Brazil), FAPESPA, REDE TIC, Federal University of Pará and CNPq 476202/2009-4, 559994/2010-9 and 475312/2010-4.

REFERENCES

- Akyildiz, I. F., Wang, X., (2005). A survey on wireless mesh networks. *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 8, pp. 23–30.
- Andrews, J. G., Ghosh, A., & Muhamed, R., (2007). *Fundamentals of WiMAX: Understanding broadband wireless networking*. Prentice Hall.
- Bandung, Y., Machbub, C., Langi, A.Z.R., & Supangkat, S.H., (2008, September). Optimizing voice over internet protocol (VoIP) networks based-on extended e-model. In *Cybernetics and Intelligent Systems*, 2008 IEEE Conference on, pp. 801–805, Chengdu, China.
- BRITE (2010). Boston University Representative Internet Topology Generator. Accessed in May 2010, of <http://www.cs.bu.edu/brite/>
- ETSI STQ (2010). European Technical Committee for Speech, Transmission, Planning, and Quality of Service, accessed in July 2010, of <http://portal.etsi.org>
- Evalvid (2010). Accessed in May 2010, of <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/cif>
- Gomes, R.L., Junior, W.M., Cerqueira, E., Abelem, A.J., (2010, April). Using fuzzy link cost and dynamic choice of link quality metrics to achieve QoS and QoE in wireless mesh networks, *Journal of Network and Computer Applications*, ISSN 1084-8045.
- Haratcherev, L., Taal, J., Langendoen, K., Lagendijk, R., & Sips, H., (2006). Optimized video streaming over 802.11 by cross-layer signaling. *Communications Magazine*, IEEE, 44(1), pp. 115–121.
- IEEE Standard 802.11 (2010). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) Specifications, accessed in June 2010, of <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- IEEE Standard 802.11e (2010). Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service Specifications, accessed in June 2010, of http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tge_update.htm
- IEEE Standard 802.16 (2010). Working Group on Broadband Wireless Access, accessed in June 2010, of <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/>
- ITU-T (2010). International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector, accessed in July 2010 of <http://www.itu.int/ITU-T/>
- ITU-T BT-500 (1990). Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, Technical Report, accessed in July 2010 of <http://www.itu.int/ITU-T/>
- ITU-T G.107 (2005, March). The e-model: a computational model for use in transmission planning, accessed in June 2010 of <http://www.itu.int/ITU-T/>
- ITU-T P.862 (2001, February). Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs, accessed in June 2010 of <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862/>
- Klaue, J., Rathke, B., & Wolisz, A., (2003, September). EvalVid- A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation. *13th International Conference on Modelling techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, Urbana, Illinois, USA.
- Lambrech, C., & Verscheure, O., (2006, January). Perceptual Quality Measure Using a Spatio-

- Temporal Model of the Human Visual System. *In Proc. of SPIE*, Vol. 2668, San Jose, USA.
- Liang, H.M., Ke, C.H., Shieh, C.K., Hwang, W.S., & Chilamkurti, N.K., (2006, April). Performance evaluation of 802.11e EDCF in the ad-hoc mode with real audio/video traffic. *In Wireless and Optical Communications Networks*, 2006 IFIP International Conference.
- Moid, A., & Fapojuwo, A.O., (2009). A Cross-Layer Framework for Efficient Streaming of H.264 Video over IEEE 802.11 Networks. *Jornal of Computer Systems, Networks, and Communications*. Accessed in May, 2010, of <http://www.hindawi.com/journals/jcsnc/2009/682813.abs.html>
- Mu, M., Cerqueira, E., Boavida, F., & Mauthe, A., (2009, April). Quality of experience management framework for real-time multimedia applications. *International Journal Internet Protocol Technology*, 4(1): 54–64
- Mu, M., Mauthe, A., & Garcia, F., (2008, September). A Utility-based QoS Model for Emerging Multimedia Applications, *IEEE International Workshop on Future Multimedia Networking*, Cardiff, UK.
- Ngoc, D.M., Tan, P.A., Lee, J.S., & Oh, H., (2007, April). Improvement of IEEE 802.11 for multimedia traffic in wireless LAN. *In Wireless Telecommunications Symposium*, WTS 2007, pp. 1–4, Pomona, CA.
- NS2 (2010). The network simulator – ns-2, accessed in July 2010, of <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- Perkis, A., Munkeby, S., Hillestad, O.I., (2006, June). A Model for Measuring Quality of Experience. *In Signal Processing Symposium*, NORSIG. Proceedings of the 7th Nordic, pp. 198–201.
- PEVQ (2010). PEVQ Perceptual Evaluation of Video Quality, accessed in July 2010, of <http://www.pevq.org/>
- Pinson, H., & Wolf, S., (2004, September). A New Standardized Method for Objectively Measuring Video Quality, *IEEE Transaction of Broadcast*, Vol.50, issue 3.
- Revés, X., Nafisi, N., Ferrús, R., & Gelonch, A., (2006, June). User perceived Quality Evaluation in a B3G Network Testbed. *IST Mobile Summit*, Mykonos, Greece.
- Rodrigues, D., Silva, D., Cerqueira, E., & Monteiro, E., (2008). Quality of Service and Quality of Experience in Video Streaming. *International Workshop on Traffic Management and Traffic Engineering for the Future Internet (FITraMEn 08)*, Porto, Portugal.
- Romaniak, P., Mu, M., Mauthe, A., D'Antonio, & S., Leszczuk, M., (2008, May). Framework for the Integrated Video Quality Assessment. *18th ITC Specialist Seminar on Quality of Experience*, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden.
- Takahashi, A., Hands, D., & Barriac, V., (2008, February). Standardization Activities in the IUT for a QoE Assessment of IPTV. *IEEE Communication Magazine*, Vol. 46, N2.
- V-Factor (2010). V-Factor Quality of Experience Platform, accessed in July 2010, of <http://www.pevq.org/>
- VQEG (2010). Video Quality Experts Group, accessed in July, 2010, of <http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/>
- Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., & Simoncelli, E.P., (2004, April). Image Quality

Submitted to IGI Global for publication on BOOK: "Multimedia Services and Streaming for Mobile Devices: Challenges and Innovations" © Elsa M^a Macías and Alvaro Suarez. August, 20, 2010

Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.13, N. 4.

Wang, Z., Lu, L., &Bovic, A.C, (2004, January). Video Quality Assessment based on Structural Distortion Measurement. *Signal Processing: Image Communication, Special Issue on Objective Video Quality Metrics*, Vol. 19.

Welch, J., & Clark, J., (2006, April). A Proposed Media Delivery Index (MDI).IEFT RFC 4445.

Zapter, M., &Bressan, G., (2007, January).A Proposed Approach for Quality of Experience Assurance for IPTV, *In Proc. of IEEE International Conference on the Digital Society*, Guadeloupe, French Caribbean.

ADDITIONAL READINGS

Cerqueira, E. C., Veloso, L., Curado, M., Mendes, P., & Monteiro, E., (2008) . QualityLevelControl for Multi-userSessions in Future Generation Networks. *In Proceedingsof IEEE Global TelecommunicationsConference (Globecom 2008)*, USA, New Orlean, November

Cerqueira, E.C., Zeadally, S., Leszczuk, M., Curado, M., &Mauthe, A.,(2010). Recentadvances in multimedia networking. *Multimedia Tools andApplications*, v. 52, p. 1-13, 2010;

Engelke, U., &Zepernick, H, J., (2007). Perceptual-based Quality Metrics for Imageand Video Services: A Survey. *Next Generation Internet Networks*, 3rd EuroNGIConference on, pp.190-197, May 2007

Garcia, M., Canovas, A., Edo, M., &Lloret, J., (2009).AQoE Management System for Ubiquitous IPTV Devices.*Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, Third InternationalConference on, pp.147-152, 2009, UBICOMM '09

Greengrass, J., Evans, J. &Begen, A.C., (2009). Not All Packets Are Equal, Part I: *Streaming Video Coding and SLA Requirements*. IEEE Internet Computing, Vol.13 , No. 1, pp. (70 – 75)

Grega, M., Janowski, L., Leszczuk, M., Romaniak, P., &Papir, Z., (2008). Quality of Experience Evaluation for Multimedia Services, *PrzełądTelekomunikacyjnyiWiadomościTelekomunikacyjne*, nr, pp. 142-153

Jailton, J. J., Dias, K. L., Cerqueira, E. C., Cavalcanti, & Dave, C., (2009). SeamlesshandoverandQoSprovisioning for mobile videoapplications in anintegrated WiMAX/MIP/MPLS architecture. *InternationalJournalofAdvanced Media and Communication*, v. 3, p. 404, 2009

Jain, R., (2004).*Quality of experience.IEEE Multimedia*, Vol. 11, No.1, 2004, pp. (95- 96)

Ke, C., &Chilamkurti, N., (2008). A new framework for MPEG video delivery over heterogeneous networks, *Elseiver Computer Communications*, Volume 31, Issue 11

Kishigami, Jay (2007). The Role of QoE on IPTV Services style, *Ninth IEEEInternational Symposium*, pp. 11-13, Taichung

Monteiro, J, M., Nunes, M. S., (2007).A Subjective Quality Estimation Tool for the Evaluation of Video Communication Systems.*Computers and Communications*, ISCC 2007, 12th IEEE Symposium on, p. MW - 75 - MW – 80

MSU MSU Video Quality Measurement Tool.accessed in August 2010, of

http://compression.ru/video/quality_measure/index_en.html

Parker, A., (2006). Addressing the cost and performance challenges of digital media content delivery., *P2P Media Summit*, Santa Monica, CA, October.

Pinson, H., & Wolf, S., (2004). A New Standardized Method for Objectively Measuring Video Quality", *IEEE Transaction of Broadcast*, Vol. 50, Issue 3, September

Schwarz, H., & Marpe, H., (2008). Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard, *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, September, pp. 135-141

Siller, M., & Woods, J., (2003) Improving Quality of Experience for Multimedia Services by QoS arbitration on QoE Framework. *Proceedings of the 13th Packed Video Workshop 2003*, Nantes, France

Video Traces Research Group, "YUV 4:2:0 Video Sequences," (<http://trace.eas.asu.edu/yuv/qcif.html>), Arizona State University, October 2008

Yamada, H., Fukumoto, N., Isomura, M., Uemura, S., & Hayashi, M., (2007). A QoE based service control scheme for RACF in IP-based FMC networks. *E-Commerce Technology and the 4th IEEE International Conference on Enterprise Computing, E-Commerce, and E-Services, CEC/EEE*, pp. 611-618

Zhao, H., Ansari, N., & Shi, Y., (2005). Layered MPEG video transmission over IP DiffServ, *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05)*

B.1.2 Anais publicados em conferência

QoE-based Packet Dropper Controllers for Multimedia Streaming in WiMAX Networks.

Allan Douglas Costa, A. Gomes Abelém, Eduardo Cerqueira, Quadros, C., Melo, A. Neto, A. Monteiro, E. Rodrigues,

LANC2011, 6th IFIP/ACM - Latin America Networking Conference, 2011.

QoE-based Packet Dropper Controllers for Multimedia Streaming in WiMAX Networks

Allan Costa
Carlos Quadros
Adalberto Melo

Eduardo Cerqueira
Antônio Abelém

Federal University of Para.
66075-110 - Belem, PA - Brazil

{allan, cqj, amelo, cerqueira,
abelem}@ufpa.br

Augusto Neto
Federal University of Ceara
Campus do Pici, Parquelândia

60755-640 – Fortaleza, CE - Brasil.
augusto.deti@ufc.br

Edmundo Monteiro
David Rodrigues
University of Coimbra

DEI – Pinhal de Marrocos
3030-029 - Coimbra - Portugal.
edmundo@dei.uc.pt

drod@student.dei.uc.pt

ABSTRACT

The proliferation of broadband wireless facilities, together with the demand for multimedia applications, are creating a wireless multimedia era. In this scenario, the key requirement is the delivery of multimedia content with Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) support for thousands of users (and access networks) in broadband in the wireless systems of the next generation. . This paper sets out new QoE-aware packet controller mechanisms to keep video streaming applications at an acceptable level of quality in Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) networks. In periods of congestion, intelligent packet dropper mechanisms for IEEE 802.16 systems are triggered to drop packets in accordance with their impact on user perception, intra-frame dependence, Group of Pictures (GoP) and available wireless resources in service classes. The simulation results show that the proposed solutions reduce the impact of multimedia flows on the user's experience and optimize wireless network resources in periods of congestion. . The benefits of the proposed schemes were evaluated in a simulated WiMAX QoS/QoE environment, by using the following well-known QoE metrics: Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Video Quality Metric (VQM), Structural Similarity Index (SSIM) and Mean Option Score (MOS).

Keywords

Quality of Service, Quality of Experience, Multimedia, IEEE 802.16.

1. INTRODUCTION

The demand for broadband wireless services and real-time video streaming is growing and paving the way for the widespread deployment of bandwidth-intensive multimedia content for thousands of wireless users (including backhaul). In the context of broadband wireless networks, Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) technology is based on the IEEE 802.16 standard and aims at enabling wireless broadband services to be provided in an ubiquitous manner [1 and 2]. WiMAX represents a new era in wireless access, and allows fixed, nomadic, and mobile devices to connect at speeds previously only possible over wireline networks.

In this multimedia broadband wireless scenario, the delivery of real-time multimedia content can be expected at any time, anywhere and at an acceptable level of quality. It is also

anticipated that thousands of new users and access networks will be connected to WiMAX links and be able to distribute content from/to the Internet. However, owing to the lack of Quality of Service (QoS), Quality of Experience (QoE) and multimedia-aware packet controller mechanisms in WiMAX networks, new approaches are required.

The IEEE 802.16 working group was set up to meet the needs of QoS and packet differentiation in the WiMAX wireless link, where the draft version [2], incorporated in the standard version in 2006, brought new MAC optimization. . The IEEE 802.16-2004 standard defines four classes of service: Unsolicited Grant Service (UGS), Real-Time Polling Service (rtPS), Non-Real Time Polling Service (nrtPS) and Best Effort (BE). The IEEE 802.16e-2005 extends the classes of service which are supported by introducing the Extended Real-Time Polling Service (ertPS) class of service. Incoming packets (service flows) are mapped to a queue of a service class, where each has different priorities, sizes and dropper policies. In periods of congestion, packets are discarded in a random and "black-box" manner, without any account being taken of their impact on user experience.

QoE-aware packet dropper mechanisms could be used in IEEE 802.16 links to provide quality level assurance for video streaming flows based on human perception. Thus, in congestion periods, packets would be dropped in accordance with their degree of importance, Coder-Decoders (CODECs), frame type, inter-dependence and other video characteristics, such as complexity. In the future, this procedure will aim to keep multimedia applications at acceptable quality levels, while optimizing the usage of wireless resources.

Regarding the question of multimedia video and voice encoding, several CODECs have been developed to reduce the bandwidth required to distribute multimedia content. The Moving Picture Experts Group (MPEG) codifier is widely used and employs a structure composed of 3 frame types, designated *I*, *P* and *B*, as shown in Figure 2 [3]. *I* frames (intra coded frames) are encoded by means of spatial compression and without any reference to other frames in the sequence. To achieve temporal compression, *P* frames (predicted frames) are reconstructed with the aid of motion prediction from the last *I* or *P* frames. As a result, *P* frames have a better compression ratio than *I* frames but this depends on the amount of motion present in the sequence. *B* frames (bidirectional frames) file the better compression ratio by

using prediction from the last and next I or P frame. The sequence of frames that depends on an I frame is called GOP.

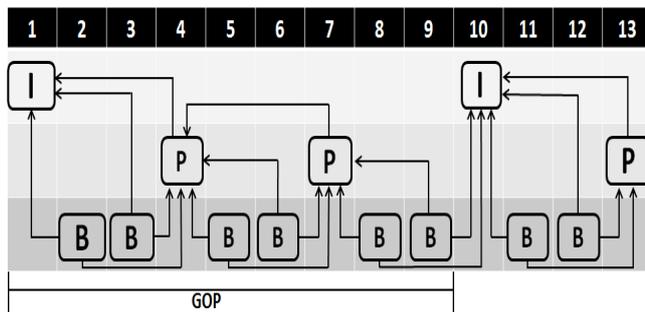


Figure 1. MPEG GoP structure

To increase user satisfaction and save wireless network resources in WiMAX networks, packet dropper controllers must be used to select which, how and what packets should be discarded in congestion periods, while taking into consideration factors such as user perception, multimedia-awareness and enqueued packets (not in a black-box manner as undertaken by current dropper mechanisms).

This paper presents and evaluates new QoE-based multimedia packet control mechanisms for WiMAX systems (IEEE 802.16 links). The proposed schemes have been designed to take account of the impact of multimedia flows on human perception, where packets are discarded on the basis of their importance, intra-dependence, GOP size and user experience, as well as the need to optimize the usage of wireless network resources. Performance evaluations were carried out in a simulated WiMAX/IEEE 802.16 environment to demonstrate the impact and benefits of QoE-aware packet dropper decisions. These were conducted in accordance with the user's perception, by analysing the following well-known QoE metrics: Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)[4], Video Quality Metric (VQM) [5], Structural Similarity Index (SSIM) [6] and Mean Opinion Score (MOS) [7].

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 provides an overview QoE metrics. Section 3 examines relevant related work. The proposed QoE-aware dropper mechanisms are described in Section 4. Section 5 analyzes the evaluation of the performance. Finally, conclusions and suggestions for future work are summarized in Section 6.

2. RELATED WORK

There have been extensive studies of QoE-based quality level controllers for video streaming services in both wired and wireless networks. This section discusses most of the important works that manage/control the quality level of multimedia content by adapting video packets to the current network conditions.

A QoE-control proposal to drop packets for various packet loss rates is outlined in [8]. A network-based packet loss visibility model is used to evaluate the visual importance of each H.264 packet inside the network. In congestion periods, by drawing on the estimated loss visibility of each packet, the proposed mechanism drops the least visible frames and/or the least visible packets until the required bit reduction rate is achieved. However, the proposed solution does not take into account the frame-dependence, WiMAX systems or the GOP size during the adaptation process.

In [9] the authors introduced a simulation study to evaluate the QoE of users (using PSNR as the representative metric) when a video is streamed from a source to a Mobile Station (MS) via a WiMAX Base Station (BS). However, PSNR measurements alone are not enough to provide a good relationship between the packet drop and QoE.

In [10], a framework for MPEG video delivery over heterogeneous networks is analyzed. This system, called Two Markers System (TMS), comprises an application-level source marker and an Enhanced Token Bucket Three Color Marker (ETBCM) based on a Two Rate Three Color Marker (TRTCM) and Single Rate Three Color Marker (SRTCMT) of DiffServ. The application-level source pre-marks the packets before they are transmitted. If the packets transport I or P frames, they are marked with 10. If the packets transport B frames, the 01 value will be assigned. Two other bits are used to determine the drop probability with the aid of three colors: 00 for green, 01 for yellow and 10 for red. Packets with a green color have the lowest drop probability. When the number of packets begins to exceed the network limits, the packets containing I or P frames are marked with a medium drop probability (yellow) and B frames with a high drop probability (red). However, the proposed solution only uses QoS metrics and PSNR in the evaluation process and no HVS-based metrics are measured.

Another approach that employs MPEG encoding parameters and user perception, was adopted in [11]. This study defines optimal encoder settings for loss-based network scenarios. It suggests using 2 B frames between each P frame, or a lower number in case of delay constraints. A high value of B frames reduces the quality of these frames and causes a longer delay, since the next I or P frames are needed for the decoding. Regarding the number of P frames, it must be equal to or less than 5, since a large number of P frames can lead to problems of interactivity. Moreover, a large number of P frames does not lead to significant gains. However, this approach can be extended to incorporate adaptation mechanisms to control the quality level of multimedia applications and ensure that they comply with to the current network conditions and user requirements.

Other schemes seek to provide QoE-aware assessment in wireless systems for video and voice applications [12-14]. However, they are focused on fixed or/and wired scenarios, and fail to take account of intra-frame dependence, different GoP sizes or IEEE 802.16 environments in their approaches.

The analysis of the related work has shown that QoE is a key requirement for the success of emerging wireless systems, but that current packet control approaches do not assure quality level support based on user perception in IEEE 802.16 networks or take account of different GoP sizes. Furthermore, the dependency of each frame on a sequence during the period of adaptation, has rarely been addressed. Existing solutions also fail to take note of the QoE metrics during the evaluation processes.

3. QUALITY OF EXPERIENCE METRICS

Traditional QoS metrics, such as packet loss rate and packet delay, are generally used to indicate the impact of network performance on the delivery of applications. However, conventional QoS metrics only give information about the network condition (network/packet level). New metrics, known as QoE metrics have now emerged to enhance network information with user perception and multimedia-awareness. QoE metrics allow control and assessment systems to know how the user is

perceiving the service and are divided into objective metrics [15 and 16].

The PSNR is a traditional objective metric used to measure the level of video quality, in *decibels (dB)*, and are based on original and processed video sequences. Typical values for the PSNR in lossy videos are between 30 dB and 50 dB, where the higher value is better. The PSNR of a video is defined through the *Mean Square Error (MSE)* metric; by noting the luminance (Y) of the processed and original frames and assuming frames with $M \times N$ pixels, the MSE is obtained by applying Equation 1.

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|Y_s(i, j) - Y_d(i, j)\|^2 \quad (Eq. 1)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|Y_s(i, j) - Y_d(i, j)\|^2}} \right) \quad (Eq. 2)$$

In Equation 1, while $Y_s(i, j)$ designates the pixel in the position (i, j) of the original frame, the $Y_d(i, j)$ represents the pixel located in the position (i, j) of the processed frame. Based on the MSE definition and on 8bits per sample, the PSNR can be calculated in a logarithmic scale, by using Equation 2. The PSNR can also be used to map the MOS values, as described in Table 1.

Table 1. PSNR to MOS conversion

PSNR (db)	MOS
> 37	5 (Excellent)
31 – 37	4 (Good)
25 – 31	3 (Fair)
20 – 25	2 (Poor)
< 20	1 (Bad)

To make a comparison that takes into account the structure of objects and provides a better evaluation, the Structural Similarity Index (SSIM) metric decomposes the sent and received images into three HVS components: luminance, contrast and structural distortions. The SSIM evaluation is based on a frame-by-frame comparison that involves several steps. The first step is the comparison with the luminance signal. A standard deviation is then used to remove the mean intensity from the signal and estimate the signal contrast. Moreover, the signal is normalized by its own standard deviation so that it can conduct the structural comparison. A final result, that combines the three components, is then computed to output the video quality level, ranging from 0 (worst) to 1 (best).

The Video Quality Metric (VQM) measures the perceptual effects of video impairments that arise from the Human Visual System (HVS) characteristics, by analysing blurring, jerky/unnatural motion, global noise, block distortion and colour distortion, and combining them into one single metric. VQM gets values between 0 (best) and 5 (worst).

4. Intelligent QoE Dropper Controllers for WiMAX Systems

Intelligent QoE dropper controllers for IEEE 802.16 systems are essential to keep multimedia applications at an acceptable level of quality and improve the usage of wireless network resources in congestion situations. The mechanisms must be implemented in a way that takes into account the impact of multimedia flows on the end-user perception. In addition, the adaptation process must comply with the current network conditions (e.g., queue availability), and be aware of factors such as GoP size, user experience, importance of each frame and intra-frame dependence.

This section introduces three QoE-based mechanisms to optimize the quality of real-time video streaming services for IEEE 802.16 networks, by extending the current scheduler/dropping schemes with multimedia and user-awareness. The two mechanisms focus on advanced drop solutions based on intra-flow packet control.

4.1 PRiority Mechanism (PRM)

As depicted in Figure 1, the MPEG encoding structure is composed of frames with different priorities. In this context, all the frames in a GOP depend on an I frame and this is the most important one from the perspective of the user. P frames are also important, since a part of the GOP depends on them. Finally, B frames can be dropped with a minimal impact on the other frames or on the user perception.

In view of the importance of each video frame, the Priority Mechanism (PRM) seeks to control the quality level of the video sequences; this process is also based on the importance of each frame of a GoP. An I frame discard will only occur if no P and B packets/frames are currently in the buffer. Since the number of frames that depends on P or B frames is reduced, the loss of these frames will have a reduced impact on the user perception. The same process occurs when a P frame is marked to be dropped and a B frame is in the queue. From the standpoint of the user, it is better to drop a B frame than a P frame.

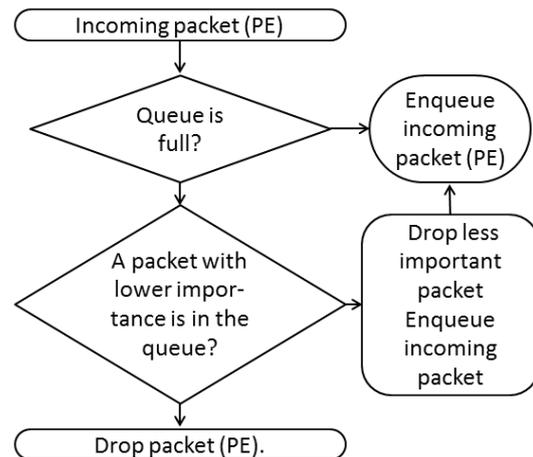


Figure 2. Flowchart of the PRN operation mode

The mechanism operation mode is illustrated in Figure 2 and its packet control process (simplified pseudo code) is described in Algorithm 1.

Algorithm 1 - Simplified pseudo-code for PRN

```
01 if queue.is_not_full():
```

```

02 queue.enqueue(packet)
03 else:
04     if packet.is_frame_type('I') or packet.is_frame_type('P'):
05         packet_to_remove = queue.get_frame_type('B')
06         if not packet_to_remove and packet.is_frame_type('I'):
07             packet_to_remove = queue.get_frame_type('P')
08         if packet_to_remove:
09             queue.drop(packet_to_remove)
10         queue.enqueue(packet)
11     else: drop(packet)
    
```

4.2 Broken Dependency Mechanism (BDM)

The Broken Dependency Mechanism (BDM) enhances the drop packet procedures by including the intra-frame dependency during the discarding of the packets. Hence, it aims to improve the usage of wireless network resources and increase the user perception. BDM recovers a packet marked to be discarded if there is a packet in the queue containing a frame with broken dependencies, that is, a frame that cannot be completely reconstructed on the receiver side, as shown in Figure 3.

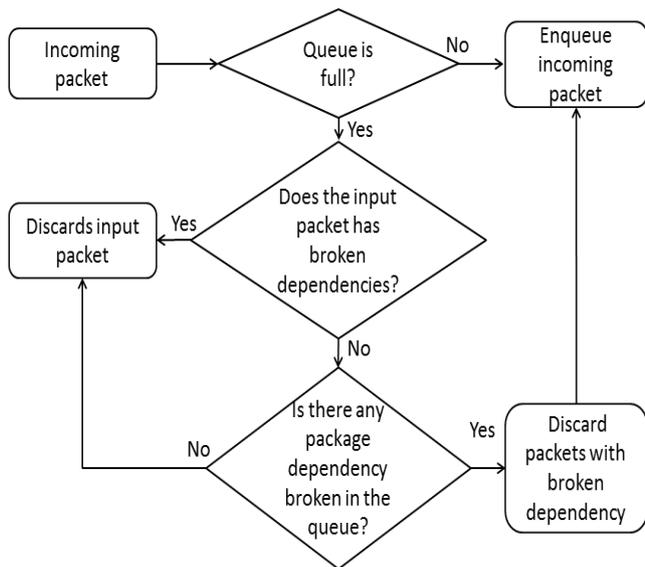


Figure 3. Operation mode in BDM

As displayed in Figure 4, if the *P2* frame is lost, then *B3*, *B4*, *B5* and *B6* cannot be completely reconstructed by the receiver and will waste scarce wireless network resources. In view of this, if the *P3* frame is assigned to be discarded and the *P2* frame has been dropped before, it is advisable to check if there is a packet in the queue that contains a *B2*, *B3*, *B4*, *B5* or *B6* frame to be discarded and enqueue the incoming packet with the *P3* frame.

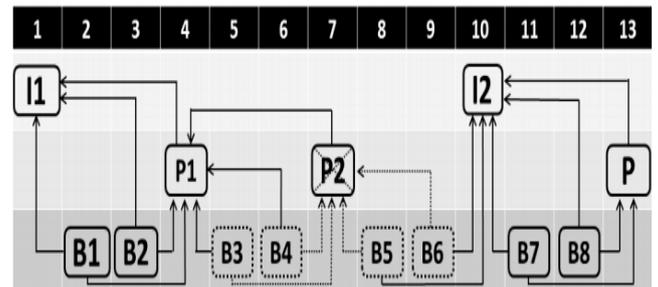


Figure 4. MPEG Structure with broken dependencies

The BDM algorithm improves the packet dropping process, by also including intra-frame dependency in the drop decision. When a packet is assigned to be dropped, BDM checks if it has broken dependencies. A frame is only discarded if no dependency is found. Algorithm 2 describes the BDM pseudo-code.

Algorithm 2 - Simplified pseudo-code for BDM

```

01 if queue.is_not_full():
02     queue.enqueue(packet)
03 else:
04     if has_broken_dependencies(packet):
05         drop(packet)
06     else:
07         packet_to_remove =
08         queue.get_frame_with_broken_dependencies()
09         if packet_to_remove:
10             queue.drop(packet_to_remove)
11             queue.enqueue(packet)
12     else: drop(packet)
    
```

4.3 Priority and Broken Dependency Mechanism (PBDM)

The Priority and Broken Dependency Mechanism (PBDM) is the union of the two previous ones. The PBDM takes intra-frame dependence and frame priority into account to carry out the dropping process, as shown in Figure 5.

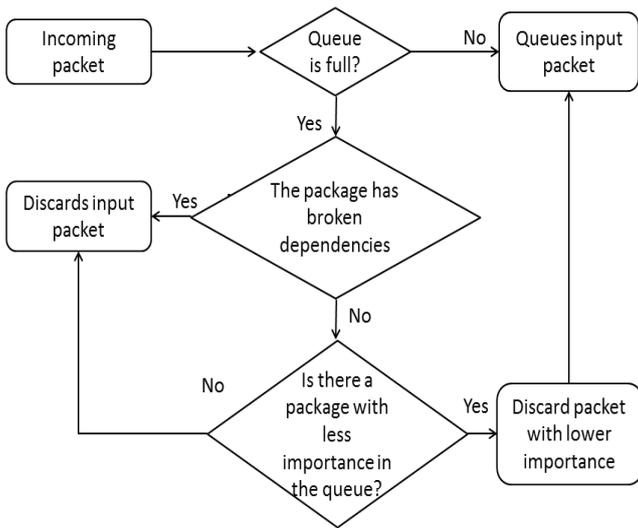


Figure 5. Operation mode in PBDM

5. PERFORMANCE EVALUATION

This section outlines the evaluation procedures and analyzes the results obtained in the paper. These simulations aim to show the impact and benefits of the proposed advanced dropping schemes in the WiMAX networks. Simulations were carried out to define a scenario similar to a real system, where the Network Simulator 2 (NS2)[17] with real video sequence, was used to simulate an IEEE 802.16 WiMAX environment with QoS/QoE assurance. The WiMAX NIST module was extended to support QoE and adapted to multimedia-aware dropping procedures [18]. The Evalvid framework [19] was implemented to add real video sequence to the simulation environment, while The Video Quality Measurement Tool (VQMT) is used for objective video quality assessment [20]. Objective (PSNR, VQM and SSIM) and subjective (MOS) QoE metrics were used to assess the levels of video quality when the system is configured with each of the dropping mechanisms and with different GoP sizes.

A well-known Common Intermediate Format (CIF) video sequence, called Akiyo, was used with 30 frames per second (fps), 2 B frames between each P frames, a bitrate of 512 kbps and different GoP sizes (from 4 to 30). The WiMAX topology is composed of one Connectivity Service Network (CSN), one Access Service Network – Gateway (ASN-GW), with BS and one SS (using a point-to-multipoint communication). The video flows are mapped to the rtPS QoS class and FTP traffic is used as background. In order to simplify the experiment, only downstream communication is analysed together with the congestions (up to 50%) that only occur in the IEEE 802.16 interface. Figure 6 illustrates the scenario in a simplified manner.

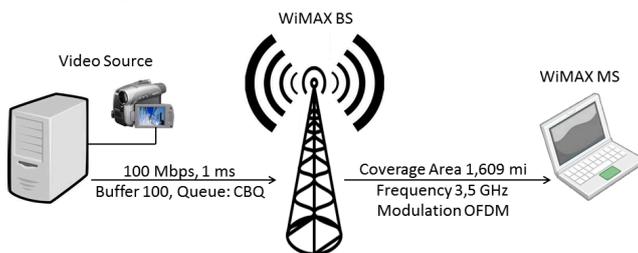


Figure 6. Simulated scenario

With regard to the PSNR, the results reveal that the pure IEEE 802.16 QoS solution is the worst scheme to assure multimedia quality level support in periods of congestion.. When the congestion is 30% and the GoP size is 4, PBDM has a PSNR value of 34 dB (considered good according to the mapping of PSNR to MOS), while the IEEE 802.11 has a PSNR of 27 dB. As Figures 7 and 8 and the GoP show, the impact of an I frame is lost, which from the standpoint of the user is terrible. When the congestion rate is 15% and the system is only configured with the IEEE 802.16 QoS scheme, the video quality level is mapped to fair (based on MOS).

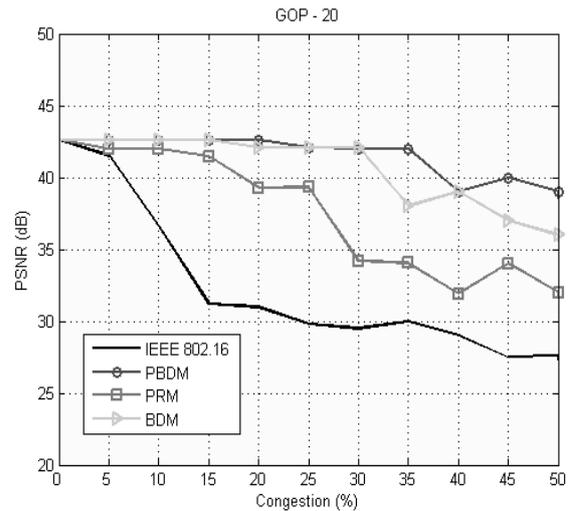


Figure 7. PSNR with a GoP size of 20

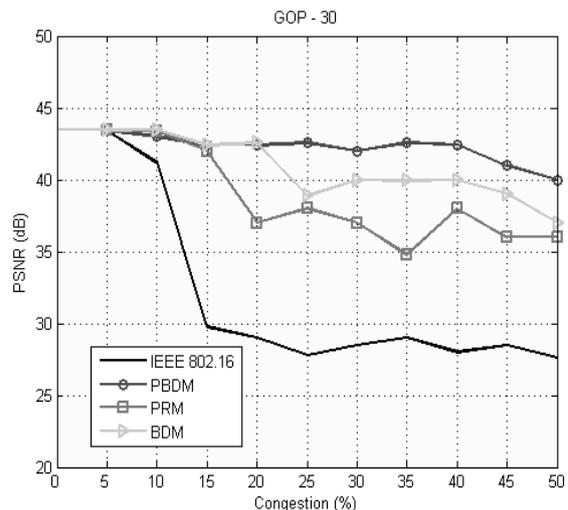


Figure 8. PSNR with a GoP size of 30

When the GoP size is 30, the PSNR values for IEEE 802.16, PRM, DBM and PBDM with a congestion of 30% are 27 dB, 37 dB, 40 dB and 42 dB respectively. This means that PBDM keeps the user experience at an excellent level of quality in the congestion periods.

Figures 9, 10 and 11 introduce the VQM results for different GoP sizes (4, 15 and 30). The IEEE 802.16 drop controller does not distinguish between the *I*, *P* and *B* frames and random values of loss exist for the different frame types. Thus, improvements in video quality can be attained if the importance of each frame type is taken into consideration (see PRM results). On average, the VQM values for GoP value of 15 and a congestion of 20% when IEEE 802.16, PRM, BDM and PBDM mechanisms are used are 1.9, 1.2, 0.7 and 0.5 respectively.

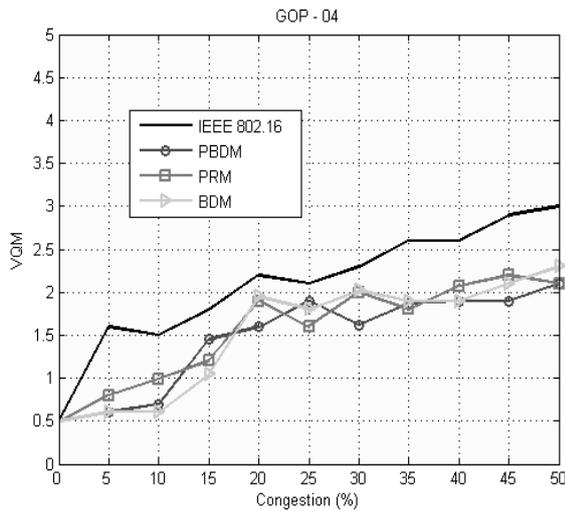


Figure 9. VQM with a GoP size of 4

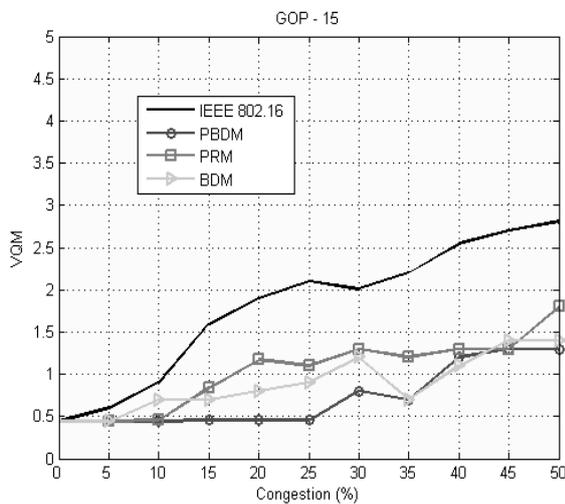


Figure 10. VQM with a GoP size of 15

When large values of GoP size are used to transmit video content, and as a result, the number of *P* and *B* frames is high in relation to the number of *I* frames, the number of dropped packets with *I* frames reaches zero. This is because the advanced drop controllers seek to protect the most important frame of a GoP.

The same results are achieved with the number of packets dropped with *P* frames. By increasing the GOP size, the number of *B* frames is increased and the drop of other frames becomes less probable. The evaluation data show that the best results for GoP

sizes are higher than 10. Since the most important frames are protected, there are fewer broken dependencies and hence the quality values remain high even for large values of GoP size.

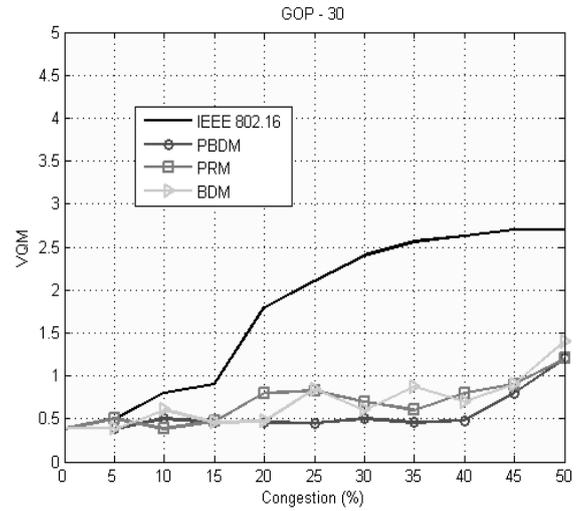


Figure 11. VQM with a GoP size of 30

Figure 12 provides the SSIM results for all the approaches when the GoP size is of 30. It can be seen that PBDM is still the best approach to configure a WiMAX system with QoE-awareness.

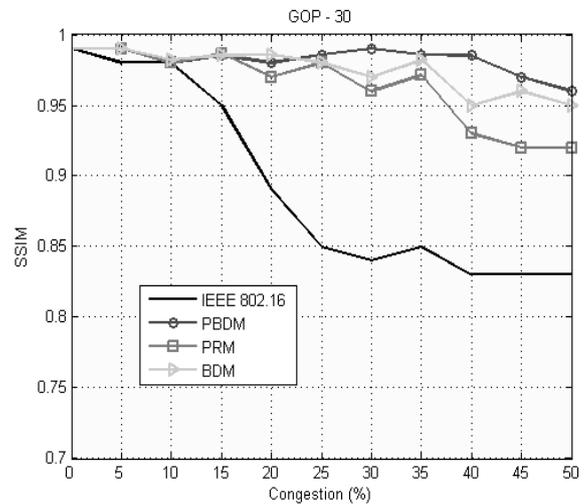
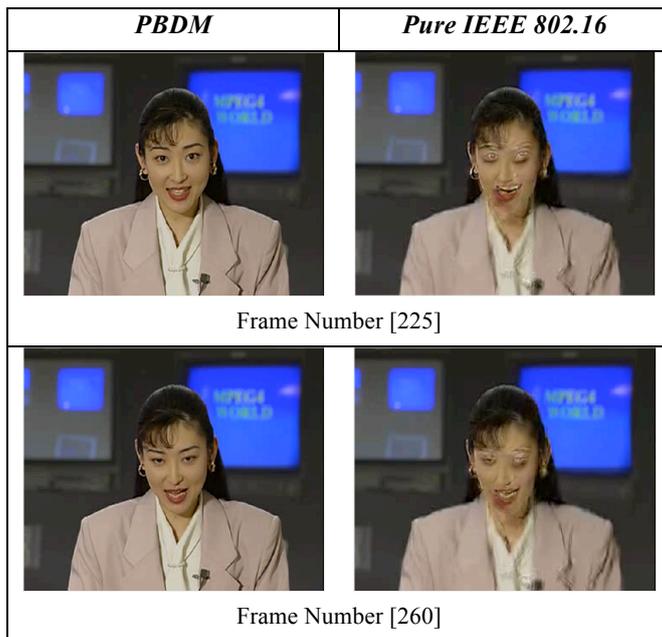


Figure 12. SSIM with a GoP size of 30

To show the impact of PBDM (compared to the pure IEEE 802.16 control mechanism) from the standpoint of the user when the system is experiencing 15% of congestion, some frames of the real video sequence, called *akiyo*, were picked up and are displayed in Table 2. The benefits of the PBDM adaptation process are visible in the frames of the video, particularly in the face of the journalist.

Table 2: Some “akiyo” frames with different packet control mechanisms

Packet Control Mechanisms



6. CONCLUSION

Integrated wireless communication and multimedia content systems will be essential for the success of next generation wireless networks, especially WiMAX for last mile access. In this context, it is necessary to provide new QoE dropping approaches to control high-quality multimedia application based on the user's experience and not on a "black box" manner, as supported by pure IEEE 802.16 packet controllers. Throughout this paper, various advanced mechanisms to improve video flows have been analyzed, compared, discussed and evaluated. It was found that the simulation results show better video experience in IEEE 802.16 systems when advanced mechanisms are used. To achieve this goal, video stream characteristics, which are not being used in current systems, were investigated and used to implement new adaptation mechanisms in a wireless system.

The results reveal that the GoP size should be taken into account during the dropping process. The proposed mechanisms aim to keep the multimedia content at acceptable levels of quality in the congestion periods. For instance, compared with the pure IEEE 802.16 QoS scheduler, the PBDM improves the SSIM by 90% when the congestion is 40% and the GoP size 30%.

In future studies, the proposed mechanisms will be enhanced to take into account video motion and complexity in the adaptation process. Subjective experiments with human viewers will also be conducted.

ACKNOWLEDGMENTS

The work is supported by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA - Para State Research Foundation) in Brazil.

REFERENCES

- [1] IEEE. 802.16-2004 Standard for local and metropolitan area networks part 16: *Air interface to fixed and mobile broadband wireless access systems*, 2004.
- [2] IEEE. 802.16-2005 Standard for local and metropolitan area networks part 16: *Air interface to fixed and mobile broadband wireless access systems*, 2005.
- [3] Venkataraman, M. and Chatterjee, M. 2011. *Effects of internet path selection on video-QoE*. Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems.
- [4] K. Nishikawa, K. Munadi, and H. Kiya. 2008. *No-Reference PSNR estimation for quality monitoring of motion JPEG2000 video over lossy packet networks*. Multimedia, IEEE Transactions on, 10(4):637–645.
- [5] Tianyi Wang, Pervez, A. and Hua Zou, 2010 *VQM-based QoS/QoE mapping for streaming video* in Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT), 2010 3rd IEEE International Conference on, pp. 807.
- [6] Chun-Ling Yang, Rong-Kun Leung, Lai-Man Po and Zhi-Yi Mai, 2009. *An SSIM-optimal H.264/AVC inter frame encoder*. In Intelligent Computing and Intelligent Systems, ICIS 2009. IEEE International Conference on.
- [7] Villapol, M.E. and Chatterjee, M. 2010. *Optimal feedback-based adaptive WiMax MAC for improving quality of video*. In Communications (LATINCOM), IEEE Latin-American Conference on, pp 1-6. Conference Proceedings.
- [8] Serral-Gracia, R., Cerqueira, E., Curado, M., Monteiro, E., Yannuzzi M., Masip-Bruin X. 2010. *An Overview of Quality of Experience Measurement Challenges for Video Applications in IP Networks*. In Proceedings of The International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010), Loule.
- [9] Hyun Jong Kim and Seong Gon Choi. 2011. *Design of video streaming service quality control system using available bandwidth information*. In Advanced Communication Technology (ICACT).
- [10] Lin, T.L. and Shin, J. and Cosman, P. 2010. *Packet dropping for widely varying bit reduction rates using a network-based packet loss visibility model*. Data Compression Conference. pages 445-454.
- [11] Vishwanath, A. and Dutta, P. and Chetlu, M. and Gupta, P. and Kalyanaraman, S. and Ghosh, A. 2010. *Perspectives on Quality of Experience for Video Streaming over WiMAX*. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 13, no. 4, pp 15-25.
- [12] Chih-Heng Ke and Naveen Chilamkurti. 2008. *A new framework for MPEG video delivery over heterogeneous networks*. Computer Communications, 31(11):2656–2668.
- [13] Huahui Wu, Mark Claypool, and Robert Kinicki. 2006. *Guidelines for selecting practical MPEG group of pictures*. In Proceedings of the 24th IASTED international conference on Internet and multimedia systems and applications, pages 61–66, Innsbruck, Austria, ACTA Press.
- [14] Pablo Ameigeiras, Juan J. Ramos-Munoz, Jorge Navarro-Ortiz, Preben Mogensen, and Juan M. Lopez-Soler. 2009. *QoE oriented cross-layer design of a resource allocation algorithm in beyond 3g systems*. Computer Communications.

- [15] Lu LIU, Wen-an ZHOU, and Jun-de SONG. 2009. *Quantitative and qualitative research on service quality evaluation system in ngn*. volume 16, pages 71–77.
- [16] Tobias Hofeldand Andreas Binzenhöfer. 2008. *Analysis of Skype VoIP traffic in UMTS: End-to-end QoS and QoE measurements*. Computer Networks, Vol 55. N 3, pages 650-666.
- [17] EvalVid - A Video Quality Evaluation Tool-set <http://140.116.72.80/~smallko/ns2/myevalvid2.htm> May 2011.
- [18] Rouil R National institute of standards and technology. The network simulator NS-2 NIST add-on-IEEE 802.16 model (MAC+PHY). http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm_seamlessandsecure.cfm. Last visited in Fev 2011
- [19] The network simulator ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Last visited in Fev 2011
- [20] MSU Graphics&Media Lab, Video Group, MSU codecs. www.compression.ru/video. Last visited in June 2011

B.1.3 Artigos Completos Publicados em Periódicos

Control of QoE based on Algorithms for the Disposal of Packets concerned with Streaming Video in Wireless Networks.

Allan Douglas Costa; BEZERRA, P. H. G.; Eduardo Cerqueira ; ABELÉM, A. J. G ; Melo, A, Quadros, C.

IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security,
VOL.12 No.2, February 2012

Control of QoE based on Algorithms for the Disposal of Packets concerned with Streaming Video in Wireless Networks

*Paulo Bezerra*¹³
paulohgb@ufpa.br

*Adalberto Melo*²³
acmelo@ufpa.br

*Allan Costa*²³
allan@ufpa.br

*Carlos Quadros*¹³
jeanqds@ufpa.br

*Antônio Abelém*²³
abelem@ufpa.br

*Eduardo Cerqueira*¹²³
cerqueira@ufpa.br

Federal University of Pará (PPGEE/UFPA), Po Box 479 - 66075-110 Belém - PA - Brazil¹
Federal University of Pará (PPGCC/UFPA), Po Box 479 - 66075-110 Belém - PA - Brazil²
Research Group on Computer Networks and Multimedia Communications (GERCOM/UFPA)³

Summary

Following decades of research, the multimedia networks remain a great challenge; however, the modern multimedia wireless networks with video streaming and Internet Protocol voice, have been attracting special attention due to factors such as mobility and heterogeneity in the devices that are used, which can influence the quality of a user's experience in a particular application or service. This article compares two algorithms for the disposal of packets in wireless networks based on the quality of the experience of the user with video applications when there is multimedia traffic congestion in the wireless networks and where the results obtained surpass those of the wireless networks which lack control of disposal.

Key words:

Algorithms for the disposal of packets; Video Streaming; Wireless Networks; Quality of Experience.

1. Introduction

In the last few years, the wireless networks have, to a great extent, evolved into Next Generation Networks (NGNs) and formed a new structure which enables there to be a convergence of data, voice and multimedia applications on a transport platform that allows applications such as IP voice, known as Voice over Internet Protocol (VoIP) to have mobile access to the Internet and video streaming.

One of the technologies used to make these services available is the Wireless Local Area Network (WLAN), which has components that are currently inexpensive enough to be used in periods of relaxation and can be used to share an Internet connection with the whole family. Developments were made in the transmission patterns of the protocol owners but at the end of the 1990s, these were replaced with patterns belonging to the various IEEE 802.11 Wi-Fi versions (Wireless Fidelity).

Currently, the Wi-Fi networks are the wireless connectivity standard for the local networks. As a proof of its success, one can cite the increasing importance of Hot Spot (the site where the Wi-Fi technology is available) and the

growing number of portable computers equipped with wireless interfaces (standard 802.11).

Based on the increasing demand for multimedia services in recent years, such as video streaming, Voice over Internet Protocol (VoIP) and Internet Protocol Television (IPTV), together with the proliferation of mobile devices, the demand by users for this type of service has been increasing owing to the ease of access provided by any device.

Mobile and modern devices such as laptops, Personal Digital Assistants (PDAs), intelligent telephones and Portable Media Players (PMPs) have evolved into powerful portable computers which have access to multimedia material. There is a steady rise in the number of users making use of mobile devices to watch videos that are transmitted through the wireless networks and which require a broader range of material of a higher standard. The forecasts for the telecommunications market show that multimedia applications will be among the main services for the networks in the next generation.

These applications usually require time for a quick response on the network and have a low rate of packet loss along their routes in order to maintain their quality at an acceptable level. However, owing to the nature of the networks based on packets, there are several kinds of wireless network failings that can cause a considerable degradation of the flow, although the effect of these failings on the requests may be trivial if they are not noticed by the end users.

At the same time, owing to the limitations of the traditional Quality of Service (QoS) metrics regarding the evaluation of multimedia applications at the level of the user, new Quality of Experience (QoE) metrics have been introduced.[3]. These metrics use a more in-depth analysis of the flows to ensure the evaluation is better; they take into account the specific features of each multimedia application such as the codifiers and decoders (CODECS) and the loss and delay tolerance.

This concept was also investigated with the aim of providing new network control functionalities and a QoE

that ensures the spreading of multimedia material through cable and wireless networks with scant resources.

In one of the works that are described, the writers describe an algorithm to calculate the required bandwidth for Variable Bit Rate (VBR) multimedia services. The calculation is based on the mapping of a QoE descriptor to calculate the anticipated amount of loss [4].

This study will investigate two algorithms that employ an intelligent way of disposing of video streaming packets in wireless networks that take account of QoE where two metrics will be used to measure the degree of quality perceived by the user: the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and the Structural Similarity Index (SSIM). Apart from this introductory section, the article comprises five other sections. In Section 2, there is an account of work related to the subject of this research. In Section 3, the QoE metrics are described and Section 4 outlines the algorithms for the planned disposal. Following this, in Section 5 a case study is examined in which simulations were carried out to verify the performance of each disposal algorithm and which took account of a group of images with 10,15 and 20 GOP (Group of Pictures) frameworks. Finally, in Section 6, there is a discussion of ideas and recommendations for further studies.

2. Related Work

Research studies have shown that the transmission of multimedia material through the Internet in real-time is becoming increasingly popular and taking up more resources of the world network of computers. At the same time, more attention is being paid to the quality observed by the end user, and an increasing amount of importance is being attached to concerns about the influence that multimedia applications in real-time can exert on other kinds of flow that travel through the Internet. However, the use of control algorithms for multimedia traffic envisages the guarantee of QoS and QoE for both fixed and mobile users in the wireless networks.

In one of the studies, the authors [04] provide an algorithm to calculate the required widthband for Multimedia Variable Bit Services (VBR). The calculation is based on the mapping of a QoE descriptor that assesses the quality perceived by the users and a QoS descriptor to calculate the anticipated amount of loss. Three metrics were used to measure the quality perceived by the user: the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index (SSIM) and the Video Quality Model (VQM).

The model for the planned system estimates the width of the band that is needed for the degree of quality required for the flow. The reservation of the band is divided into two stages. In the first stage, the method determines the amount of loss for the end user. In the second stage, the width of the band required is calculated on the basis of the

maximum loss permitted. This second procedure is designed by means of a form of alignment – Discrete Time Markov Chain – which determines the process of arrival to the video file and is based on the H.264/SVC codec. The video model outlined by the authors has not been devised to provide an exact description of the original video, but rather to allow an efficient reservation for the band.

In another study, the writers outline the techniques of Automatic Network Management (ANM) that automatize the reservation of resources in traffic engineering through the metrics of user satisfaction. Even though assessing QoE requires a set of metrics that is able to evaluate the satisfaction of the end user in an objective way, in practice the evaluation becomes a complex process because it involves a series of subjective factors. These factors are not usually related to the performance of the network but may be, for example, to do with the humour of the user or the responses of the system, as opposed to the classic assessment platforms of QoS which are based on the network. The current limitations of the systems employed for the mediation of QoS with regard to subjective factors regarding human perception, are analysed by the authors with the aim of understanding the new challenges that arise in the evaluation of QoE in the delivery of multimedia systems. This analysis is carried out to allow a more precise assessment of the degree of quality experienced by the users. The authors evaluate multimedia traffic through the network by employing QoE mechanisms which seek to define which metrics are suited to an evaluation of quality. These metrics were divided into two distinct categories, which are called Direct Metrics when they are obtained form various types of data in different layers and requiring specific information about the performance of the network. The Indirect Metrics take account of the properties that affect the multimedia experience but are not directly related to the quality of the multimedia material.

In another study, the authors [06][07] discuss tests for evaluating the impact of different time periods on the loss of packets. In practice, the loss can occur because of a temporary loss of connectivity following link failures or among those of us in the network, where the best and the worst scenarios regarding the MPEG transmission flow can be identified. The tests that were conducted show how each scenario can be used to verify the kind of artifacts displayed and the impact of QoE on the spectator. These tests were carried out in consecutive periods when there was a loss of IP packets, which vary from 10ms to 500ms for the movement of the high-resolution video and for the Standard-definition (SD) and high-definition (HD) resolutions. It was found that in the tests carried out, the same conclusions that were reached for SD, apply to HD and that there were no significant differences between SD and HD during a period equivalent to that of the packet losses.

3. QoE Metrics

At present, there is an increase in the number of studies on the Quality of Experience (QoE) although not many are centred on subjective and objective technical indicators. The relationship between the technical quality parameters and subjective indicators can be regarded as a concept that comprises both the objective side (such as, for example, the parameters related to the network) and the subjective (for example, contextual parameters concerning the user). Most of the definitions and empirical studies with regard to QoE tend to stick closely to the logic of technology and disregard the subjective experience of the user[8]. As a result, they do not interact with concepts from other areas, such as for example, Human Computer Interaction, in which the “User Experience” and “Usability” are bound up with QoE and are of great importance.

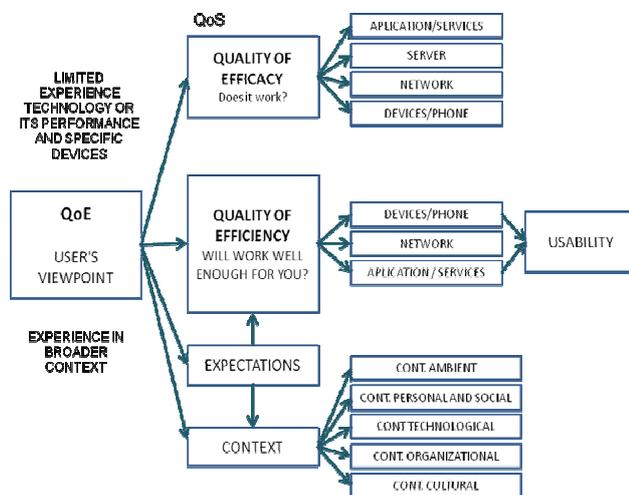


Figure 1: Diagram of the aspects and metrics of QoE[9]

The existing metrics of QoS, such as the rate of packet loss and delay, are usually used to indicate the impact of the performance of the network on the delivery of requests. However, the conventional QoS metrics only supply information about the state of the network (the level of the packet). Metrics such as the perception and awareness of the user of video traffic must be taken into account to increase the control over the information in the network. New metrics, known as QoE metrics, have appeared. The QoE metrics enable the control and evaluation systems to know how the user is selling the service and are divided into subjective and objective metrics [10][11]. In the case of subjective methods, a group of assessors who are in particular visualizing conditions, evaluate the “quality” material of video streaming. The results are handled in a statistical way to obtain a full picture of the perception of the user [12]. However, these measures are relatively slow and expensive, and cannot be used for evaluations in real

time. The objective metrics are based on mathematical models which seek to approximate to the results of the subjective metrics. Owing to overloading caused by the objective metrics in the system, some methods cannot be used in real scenarios and are mainly used for purposes of simulation with the PSNR and SSIM metrics.

The PSNR [13] is a complete set of references for metrics used in the evaluation of the video. To calculate the final quality, this metric makes use of a mean value for the difference between the values of luminosity of each pixel of the original processed moulding. Apart from the fact that it is fully utilized, owing to its low level of complexity, the PSNR metric only provides an indication of the difference between the received frame and a reference signal during the evaluation of factors such as the Human Visual System (HVS). To make a comparison that takes account of the structure of the objects and provides a better evaluation, the SSIM metric breaks down the images that have been sent and received while taking note of the three HVS components – luminosity, contrast and structural distortions [14].

4. The Projected Algorithms

Currently, the standard 802.11 wireless networks offer little QoE support for video streaming applications. In the videos that are codified in the MPEG format, the frames can be divided into 3 types. These are Type 1 frames. Type P frames and Type B frames and each kind of frame has a role of a different importance that can directly influence both the ultimate quality of the video and the evaluation of the user [15]. If this feature is observed, it becomes possible to improve the regulatory elements of the traffic by means of a configuration, without overburdening the network resources to the extent of exerting any kind of influence on the flows in operation.

When the differences between the video flows and the CODEC parameters are taken into account, as well as the interdependence of the frames and the other requirements of QoS and QoE, it becomes more apparent why there is a need for algorithms that are intelligent and different from those currently being employed to improve the quality of the transmissions of video streaming and efficiency in the use of the network resources. In this scenario, it is necessary to improve support for QoE with regard to video streaming in the wireless networks, since this technology that provides access to the network can be regarded as one of the most important among the new network technologies. These algorithms should take account of the influence of the video streaming traffic on the perception of the end user in congested networks by improving the traffic regulators in accordance with the current conditions of the network, QoE, dependencies and the importance of the frames. The algorithms must be flexible with regard to

the need to make a transition from a mobile unit (UM), from one cell to another, in a way that is sufficiently transparent for the user to allow the continuity of the services and applications being undertaken, and also with regard to the need for alterations in the network devices and terminals of the users.

Two algorithms that seek to meet the requirements referred to earlier, are discussed here: they envisage an improvement in the quality of video experience from the perspective of the user and are algorithms focused on disposal and based on the control of inter-flow packets. Although they may be beyond the scope of this work, the algorithms can be configured so that they can be used in networks with different QoS models, as well as in wireless networks and mobile technologies, such as the 802.11 and 802.16 standards for the wireless network. With regard to the question of interoperability, since the framework of packets and routers are responsible for providing the procedures required for the control of admission and congestion, they do not need to undergo extensive alterations to support the algorithms that are recommended and only minor modifications need to be carried out.

4.1 Algorithms Prioritizing Disposal (ADP)

In accordance with the MPEG codification framework, some frames are more important than others due to the fact that the number of frames depends on others that are being reconstructed. As in one GOP, all the frames are dependent on an I Frame, the I Frames are regarded as more important than the other frames. In the case of the P Frames, although their frames depend on the I Frames, they also possess frames that depend on the I Frames that will be reconstructed. Thus, these are also important although they are less important than the I Frames.

Finally, since the B Frames do not possess frames dependent on it, they become frames of a type that is less important and which have less impact on the experience of the user. The Algorithm Prioritizing Disposal (ADP) accounts for the degree of importance of each type of frame from the codification framework (MPEG) and includes a system for the disposal of packets that attains a control of the level of video streaming based on the degree of importance of the type of frame. When an I Frame is marked to be rejected, a verification procedure is carried out to check if there is a packet in the waiting file that contains a Type P or B. If one exists, it is better to carry out the disposal of a packet containing an I Frame. This is because the number of dependent frames is greater than the number of frames dependent on a P or B Frame. It also makes it more important since it reduces the loss of these types of frames and as a result, has a smaller impact on the final quality of the video with regard to user perception. Thus, an exchange occurs of the rejected packet containing

a Type I frame for a packet containing Type P or B. Owing to its degree of importance, the same process takes place when a P Frame is marked to be rejected, since this time a process of verification is carried out to check if there is a packet in the waiting file containing a Type B frame. If this is the case, the B Frame is rejected instead of the P Frame. This is also due to the degree of importance and the packet containing the P Frame, which will be rejected, is entered in the waiting file, and this also reduces the impact on the final quality of the video, as is seen in Figure 2.

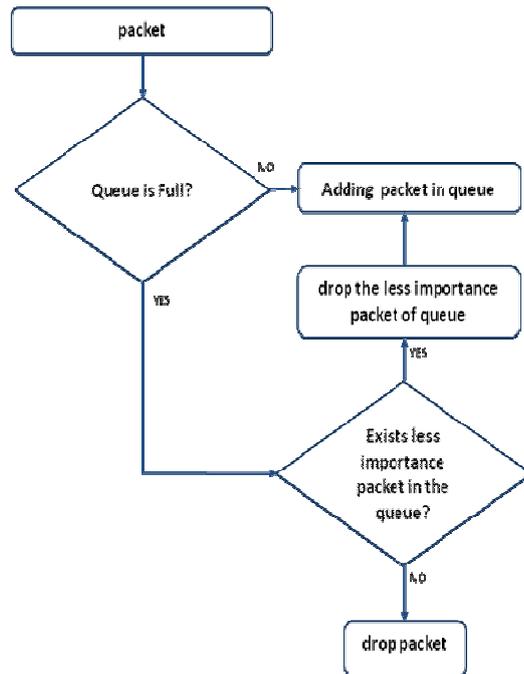


Figure 2: Flowchart of the ADP functions

Table 1 below, shows the logical pattern of the algorithm in a simplified form to highlight its functions.

TABELA 1. DISCARD ALGORITHM FOR PRIORITY (ADP)

1	<code>if queue.isNotFull():</code>
2	<code>queue.add(packet);</code>
3	<code>else:</code>
4	<code>if packet.containsFrameType('B'):</code>
5	<code>drop(packet);</code>
6	<code>else:</code>
7	<code>packetToDrop := queue.getFrameType('B');</code>
8	<code>if packetToDrop <> null:</code>
9	<code>queue.drop(packetToDrop);</code>
10	<code>queue.add(packet);</code>
11	<code>else</code>
12	<code>if packet.containsFrameType('P'):</code>

```

13 | drop(packet);
14 | else:
20 | packetToDrop :=
    | queue.getFrameType('P');
21 | if packetToDrop <> null:
22 | queue.drop(packetToDrop);
23 | queue.add(packet);
24 | else:
25 | drop(packet);
    
```

4.2 Algorithm for Breaking Disposal (ADQ)

The purpose of this rejected algorithm is to improve the management of the network resources and thus make it possible for the quality of the video streaming applications to be stabilized to a satisfactory level. The ADQ is based on the interdependence between the frames and the perception of the user. This algorithm checks when the file is full and allows the packet that is to be rejected to be retrieved by checking whether there are packets containing frames in the file with a broken dependence, or rather, ensuring that if the frames that will be reconstructed, whether they have failings or not, can be reconstructed at their terminal point, in accordance with what can be seen in Figure 3.

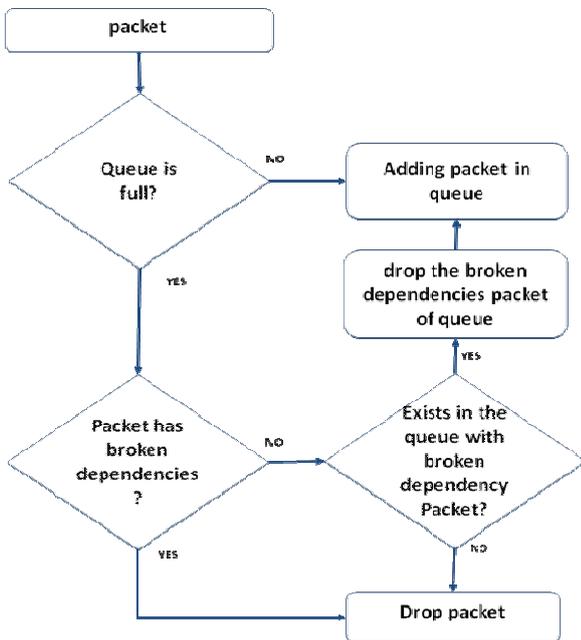


Figure 3: Flowchart of the Functions of ADQ

As shown below in Table 2, the logical pattern of the ADQ algorithm, in the case where a packet is marked to be rejected, is first checked to establish if it contains a frame

with a broken dependence in the file. If a packet is rejected, but does not have a broken dependence in the file, it is checked to determine if there are packets with a frame with a broken dependence in the file. If this is the case, the packet in the file is rejected and the entry packet is included in the file.

TABELA 2. ALGORITHM FOR DISPOSAL DUE TO BREAKAGE (ADQ)

1	if queue.isNotFull():
2	queue.add(packet);
3	else:
4	if queue.getFrameBrokenDependencies(packet):
5	drop(packet);
6	else:
7	packetToDrop := queue.getFrameBrokenDependencies();
8	if packetToDrop <> null:
9	queue.drop(packetToDrop);
10	queue.add(packet);
11	else:
12	drop(packet);

5. Results From The Adopted Algorithms

It can be observed that in our previous items, the differences have already been established between the objective and subjective QoE metric objectives and those that concern the algorithms with rejected packets in the wireless video streaming networks. It should be stressed that the factors being considered are restricted to the performance of the rejected packets and not the QoE metrics. In the light of this, this article compares the algorithms affecting the disposal of ADP and ADQ with a wireless network without any control of rejection.

5.1 Methodology

The purpose of the experiment was to simulate the performance of the algorithms rejected from the packets while including important factors in the wireless networks such as the PSNR evaluation, SSIM, the sizes of GOP and the rates of congestion in the network. To achieve this, a series of measures were undertaken by means of a simulation tool for networks called the NS-2 Network Simulator with modules for the 802.11 standard for the wireless network and multimedia traffic with the aid of the evaluation tool of the Evalvid video [17].

5.2 The Simulation Scenario

The scenario is formed of a fixed node source and a mobile receptor which is displaced from a home network to a foreign network (RE) and was used to compare the algorithms outlined in this study by analysing the performance for different values of the size of the GOP. Video flows and VoIP flows were used for all the scenarios with a better strength and density of traffic, since each flow was mapped out in a category with a different 802.11 access standard. The flows were divided into access categories as follows: VoIP for AC_VO, the video flow for AC_VI, the better strength traffic for AC_BE and the dense traffic for AC_BK. The foreman video from the Common Intermediate Format Sequences (CIF), was used with 30 frames per second (fps), between each P frame, two B frames and a bit rate of 320 kbps and different sizes of GOP.

5.3 Results

The following section shows the results of the simulations which compare the algorithms for the disposal of the packets. The algorithms were submitted to a scenario with different GOP sizes (10,15 and 20) and with different rates of congestion in the network (from 50% to 150%). The results found with regard to the video flows are shown in Figures 4 – 6 for the PSNR metrics and Figures 7-9 for the SSIM metrics for each rejected algorithm in this study and for situations when the rejection algorithms were not made use of. Figure 4 shows when the GOP possessed a frame with 10 frames; with regard to the PSNR metric, it was observed that they all equalled up to 85% of the congestion. In a range of 85-115% and of 125-135% of congestion, the ADP obtained a better evaluation. The ADQ obtained a better evaluation in a range of 115-125% of congestion.

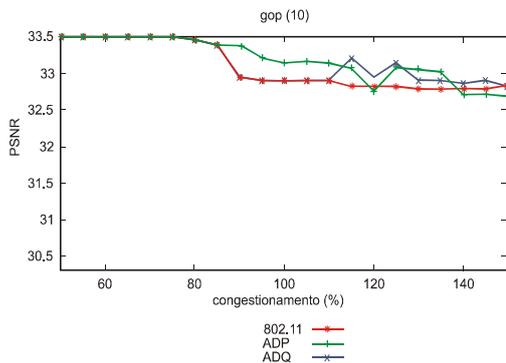


Figure 4: The PSNR Metric with GOP 10

Figure 5 shows that when the GOP has a size of 15 frames with regard to the PSNR metric, it was observed that

practically all of the frames have the same evaluation – up to 100% of congestion.

In a range of 100-135% and approximately 148-150% of congestion, the ADQ has a better evaluation. The ADP obtained the best evaluation in a range of 135-145% of congestion.

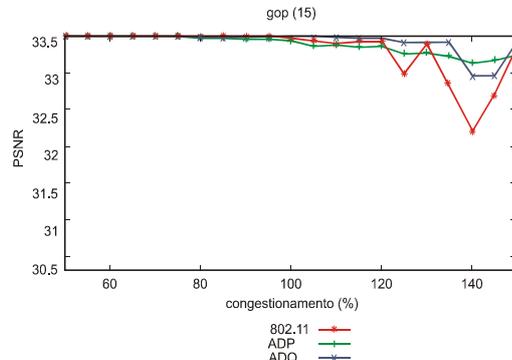


Figure 5: the PSNR metric with GOP 15

Figure 6 shows when the GOP has a size of 20 frames with regard to the PSNR metric; it was observed that all of the frames have the same evaluation of up to 105% of congestion. When the congestion is at 125%, in the range of 125-140% or when it is at 150%, the ADQ has a better evaluation. The ADP has a better evaluation when the network is at 110%, 120% and 145% of congestion.

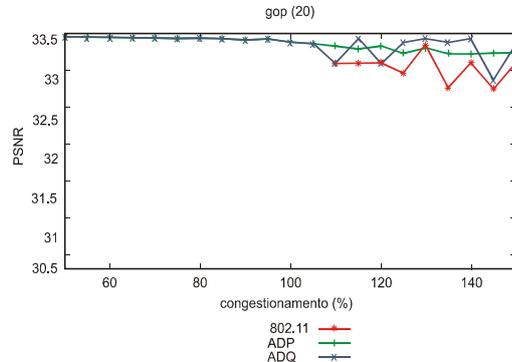


Figure 6: PSNR Metric with GOP 20

Figure 7 shows when the GOP has a size of 10 frames based on the SSIM metric; it was observed that all of the frames had the same evaluation of 50-85% of congestion and were in the range of 130-150% of congestion. When the congestion is in the range of 90-110% and when it is at 125%, the ADP has a better evaluation. The ADQ has a better evaluation when the network is at 115% of congestion.

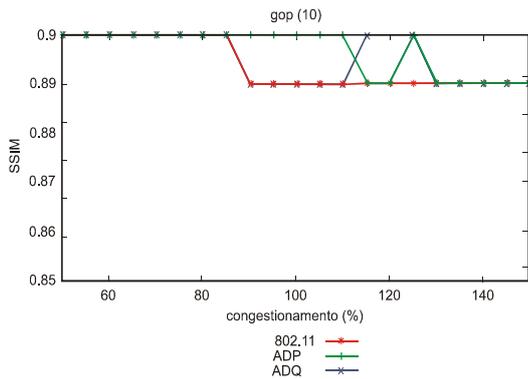


Figure 7: The SSIM Metric with GOP 10

Figure 8 shows when the GOP has a size of 15 frames based on the SSIM metric; it was observed that all of the frames had the same evaluation with almost all the rates of congestion. When the congestion is at 145% of congestion its evaluation is the same as that of standard 802.11.

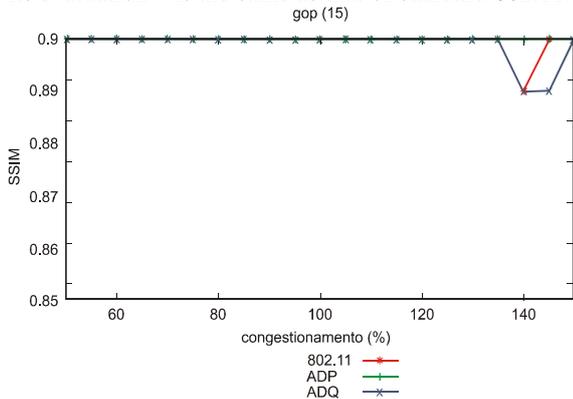


Figure 8: SSIM Metric with GOP 15

Figure 9 shows when the GOP has a size of 20 frames based on the SSIM Metric; it was observed that all of the frames had the same evaluation with almost all the rates of congestion. The ADQ and ADP have a better evaluation when the network is between 135-145% of congestion.

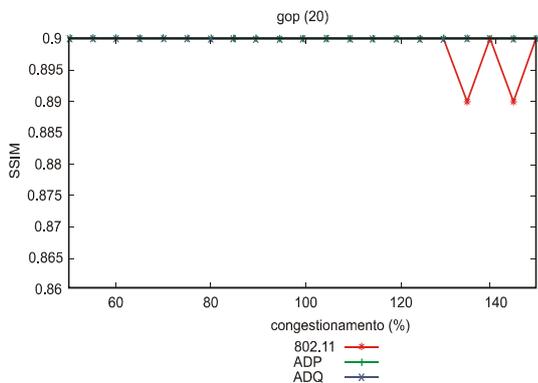


Figure 9: SSIM Metric with GOP 20

The ADP attained more stable PSNR values for all the congestion values, regardless of the size of the GOP, and better SSIM values at moderate levels of congestion when the GOP had a size of 10 and advanced levels of congestion when the GOP had a size of 15. The reason for this is that in the other levels of congestion, the ADP was equal to those of the other algorithms, where it should be noted that no packet was rejected that contained the I Frame. The ADQ showed values for the SSIM evaluation below that of ADP at some periods of the congestion and moderate PSNR values of quality although it had shown higher values for the lost frames, including the Type 1 frames, due to the fact that it had an algorithm for the disposal of packets through a breakage of dependencies.

6. Conclusion and Recommendations for further studies

The demand for new aggregated multimedia applications for mobile devices has acted as a driving-force for research to seek new wireless network standards. At the same time, it remains a challenge to improve the efficiency of the multimedia applications for both fixed and mobile users. In this article it has been possible to analyse a hypothetical scenario through the assessed results emerging from a simulation that involves the implementation of two algorithms for the disposal of packets in an intelligent way. The ADP and ADQ, which only affect video flows, do not affect the quality of other multimedia flows and maintain a quality equal to that of standard 802.11. No rejection of the packets of the VoIP flows has occurred because it is a flow of high priority and the network possesses sufficient resources. The standard 802.11 only shows a small reduction in the level of the quality of VoIP due to the increase of delay and jitter with the congested network. With regard to the standard 802.11 wireless network, without the use of algorithms for the disposal of packets, the rate of loss of packets is low. Moreover, it has high values of traffic congestion caused by dense traffic controls which had a powerful effect. The network envisages that it can guarantee support for video flows of quality and shows a good video quality for all the values of congestion. However, the regulator of the service does not distinguish between the I,P and B frames and has random values of loss for each type of frame. In this context, there could be an improvement in the quality of video if, to achieve this, the importance of each type of frame was taken into account. Future studies could be undertaken into the question of the union of two algorithms (ADP and ADQ) while it is noted that the ADQ does not take account of frames of less importance without a broken dependence on the rejected packets.

References

- [01] Seyedzadegan, M. e Othman, M. WLANs Fairness Controlling: Distributed TCP Fair Bandwidth Allocation. Ed. 1º. LAP LAMBERT Academic Publishing 2010.
- [02] Holt, A. e Chi-Yu Huang. 802.11 Wireless Networks: Security and Analysis (Computer Communications and Networks). Ed. 1º. Springer. 2010.
- [03] K. Kilkki, "Quality of experience in communications ecosystem," Journal of Universal Computer Science, vol. 14, no. 5, pp.615–624, 2008.
- [04] Kovács, A. Gódor, I. Rácz, S end Borsos, T. Cross-layer quality-based resource reservation for scalable multimedia. Computer Communications, Volume 33, Issue 3, 26 February 2010, Pages 283-292.
- [05] Serral-Gracia, R., Cerqueira, E., Curado, M.;Monteiro, E.Yannuzzi, M., X. Masip-Bruin. An Overview of Quality of Experience Measurement Challenges for Video Applications in IP Networks. In: International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010), 2010, Lule. Proceedings of The International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010), 2010.
- [06] Greengrass, J., Evans, J. e Begen, A. C. "Not all packets are equal, part I: streaming video coding and SLA requirements," IEEE Internet Comput., vol. 13/1, pp. 70-75, Jan./Feb. 2009
- [07] Greengrass, J., Evans, J. e Begen, A. C. "Not all packets are equal, part II: the impact of network packet loss on video quality," IEEE Internet Comput., vol. 13/2, pp. 74-82, Mar./Apr. 2009
- [08] K. De Moor, W. Joseph, I. Ketyko, E. Tanghe, T. Deryckere, L. Martens and L. De Marez, "Linking Users' Subjective QoE Evaluation to Signal Strength in an IEEE 802.11b/gWireless LAN Environment," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. pp. 01–12, 2010.
- [09] K. De Moor and L. De Marez, "The challenge of user- and QoE-centric research and product development in today's ICT-environment," in Innovating for and by Users, J. Pierson, E.Mante-Meijer, E. Loos, et al.,Eds., pp. 77–90,Office forOfficial Publications of the European Communities, Luxembourg, UK, 2008.
- [10] A.E. Mahdi. Voice quality measurement in modern telecommunication networks. In Systems, Signals and Image Processing, 2007 and 6th EURASIP Conference focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services. 14th International Workshop on, pages 25–32, Maribor, June 2007.
- [11] Marie Guéguin, Régine Le Bouquin-Jeannès, Valérie Gautier-Turbin, Gérard Faucon, and Vincent Barriac. On the evaluation of the conversational speech quality in telecommunications. EURASIP J. Adv. Signal Process, 8(2):1–15, 2008.
- [12] ITU-T j.140 : Subjective picture quality assessment for digital cable television systems, March 1998.
- [13] K. Nishikawa, K. Munadi, and H. Kiya. No - Reference PSNR estimation for quality monitoring of motion JPEG2000 video over lossy packet networks. Multimedia, IEEE Transactions on, 10(4):637–645, June 2008.
- [14] David M. Rouse and Sheila S. Hemami. Understanding and simplifying the structural similarity metric. In Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on, pages 1188–1191, San Diego, CA, USA, October 2008.
- [15] Gomide, J. V, B. and Araújo. A. A. Visual effects, an approach from digital image processing, Magazine of theoretical and Applied Informatics, RITA. Vol: XVI. Nº 1. 2009.
- [16] The network simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, June 2010.
- [17] EvalVid - a video quality evaluation tool-set. <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>, June 2010.



Paulo Henrique Gonçalves Bezerra. Electrical Engineer PhD. Student from Federal University of Para (UFPA). Master in Electrical Engineering from Federal University of Para (UFPA).



Adalberto Cavalcante de Melo. Student Master Program in Computer Science (UFPA). Has degree in Systems Analysis and Development with a specialization in Computer Networks and Computer Science.



Allan Douglas Bento da Costa. Electrical Engineer PhD. Student from Federal University of Para (UFPA). Master in Computer Science from Federal University of Para (UFPA).



Carlos Jean Ferreira de Quadros. Student Master in progress in Electrical Engineering with emphasis on Applied Computing at the Program in Electrical Engineering (UFPA). Graduated in Computer Engineering from the Federal University of Para (UFPA).



Antonio Jorge Gomes Abelém. Received Ph.D. degree from Catholic University of Rio de Janeiro (2003). Professor and researcher at the Federal University of Para (UFPA). Works in Computer Science, with emphasis on Computer Networks, acting on

the following topics: the future of the Internet, optical networks, wireless ad-hoc multicast communication, TCP / IP architecture, Quality of Service (QoS) quality of experience (QoE) and security.



Eduardo Coelho Cerqueira. Received Ph.D. degree from Computer Engineering from the University of Coimbra (2008). postdoctoral fellow in Computer Engineering from the University of Coimbra (2009). Professor and researcher at the Federal University of Para (UFPA). Interests are

Mobility, Multimedia Multicast, next generation networks, sensor networks, resource reservation, Quality of Service and Quality of Experience.