

UM MODELO PARA ADAPTAÇÃO DE QoS ORIENTADO AO USUÁRIO FINAL

Cristian Koliver, Jean-Marie Farines, Joni S. Fraga, Hallthmann Lima dos Reis
Departamento de Automação e Sistemas - Universidade Federal de Santa Catarina
C.P. 476, CEP. 88.040-900, Florianópolis, SC
{ckoliver farines fraga hlima}@lcmi.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho descreve uma abordagem para adaptação de QoS em aplicações multimídia distribuídas através do uso de políticas baseadas em uma função grau de qualidade. Para ambientes melhor-esforço, é introduzido um mecanismo de adaptação de QoS baseado em controladores nebuloso. Palavras-chave: multimídia, QoS, adaptação, conjuntos difusos

ABSTRACT

This paper describes an approach to adapt QoS for distributed multimedia applications by using adaptation policies based on a quality grade function. For best-effort environments, we introduce a QoS adaptation mechanism based on fuzzy controllers. Key-words: multimedia, QoS, adaptation, fuzzy sets

1 Introdução

A melhoria do desempenho das redes de comunicação, associada à queda de preços dos dispositivos multimídia e ao desenvolvimento de novas tecnologias para programação distribuída, tem motivado o crescimento do número de aplicações multimídia distribuídas. Este crescimento tem sido acompanhado, por sua vez, de um aumento do grau de exigência dos usuários em relação à qualidade dessas aplicações, que vem se expressando através de vários atributos referenciados como *parâmetros de qualidade de serviço* (ou QoS). Esses parâmetros se apresentam na forma de atributos das diversas entidades que compõem um sistema multimídia distribuído (SMD), como rede, sistema operacional, aplicativos, dispositivos de "hardware", etc., e podem ser instanciados com diferentes valores que influenciarão na qualidade final percebida pelos usuários dessas aplicações.

Alguns parâmetros de QoS - particularmente, a frequência de quadros de vídeo - podem sofrer variações bruscas e descontroladas em seus valores durante as transferências dos dados em virtude de congestionamentos da rede que causam perdas de unidades de transporte, ou durante a execução das tarefas relacionadas ao processamento desses dados nos sistemas finais, em decorrência de sobrecargas de processador que causam perdas de "deadlines". Essa degradação brusca e descontrolada na QoS face a mudanças no contexto do SMD diminui bastante o grau de satisfação do usuário. Em ambientes totalmente "best-effort", como a Internet, onde não há a possibilidade de reserva de recursos, tais oscilações podem degradar essa qualidade até um nível abaixo do mínimo tolerável pelo usuário. Assim, surge a necessidade de mecanismos que realizem uma adaptação de QoS, de forma suave e controlada, degradando ou melhorando essa qualidade frente ao contexto corrente do SMD no qual a aplicação está inserida.

exige maior largura de banda do que aquelas nas quais a replicação é baseada em características de escalabilidade intrínsecas ao algoritmo de compressão. Por outro lado, ela não é amarrada a nenhum algoritmo de compressão específico e também permite que os usuários tenham maior liberdade na escolha dos valores dos parâmetros de QoS.

Para ambientes melhor-esforço, nós propomos que o escopo global seja implementado na forma de um controlador nebuloso, devido ao fato de muitas características de um SMD (não-linearidade, dificuldade de modelagem analítica, subjetividade na análise de critérios de desempenho etc.) combinarem com as características de sistemas nos quais o uso de controladores nebulosos tem demonstrado sucesso.

Visando verificar a viabilidade do uso do conceito de grau de qualidade como variável de controle, nós implementamos controladores para atuar no controle da quantidade de dados injetados na rede e do tempo de descompressão dos quadros utilizando como aplicação-alvo uma ferramenta de videoconferência (VIC). Os experimentos conduzidos utilizando esses controladores mostraram a viabilidade do uso do grau de qualidade como condutor do processo de adaptação.

Os trabalhos futuros incluem o levantamento de dados relativos ao consumo de largura de banda e ciclos de processador para os níveis de QoS fornecidos por um algoritmo de compressão alvo (MPEG-2, provavelmente), a modelagem de um SMD e, posteriormente, a construção de um simulador deste para realização de testes visando a verificação da viabilidade do mecanismo tal qual proposto neste trabalho, tanto em sua versão nebulosa quanto naquela baseada na replicação do fluxo.

Referências

- [1] ABDELZAHER, T., AND SHIN, K. G. End-host Architecture for QoS-Adaptive Communication. In *IEEE 4th Real-Time Technology and Applications Symposium* (Denver, Colorado, USA, June 1998).
- [2] BEZDEK, J. C. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, 1981.
- [3] BOLOT, J.-C., AND TURLETTI, T. Experiences with Control Mechanisms for Packet Video in The Internet. *ACM Computer Comm. Review* 28, 1 (January 1998), 4-16.
- [4] BUSSE, L., DEFFNER, B., AND SCHULZRINNE, H. Dynamic QoS of Multimedia Applications Based on RTP. In *1st International Workshop on High Speed Networks and Open Distributed Platforms* (St. Petesburg, Rússia, May 1995).
- [5] CAMPBELL, A. T., COULSON, G., AND HUTCHISON, D. Transporting QoS Adaptive Flows. *Multimedia Systems*, 6 (1998), 167-178.
- [6] DELGROSSI, L., HALSTRICK, C., HEHMANN, D., HERRTWICH, R. G., KRONE, O., SANDVOSS, J., AND VOGT, C. Media Scaling for Audiovisual Communication with the Heidelberg Transport System. In *1st ACM International Conference on Multimedia '93* (Anaheim, California, August 1993).
- [7] ELEFThERiADIS, A., AND ANASTASSIOU, D. Meeting Arbitrary QoS Constraints Using Dynamic Rate Shaping of Coded Digital Video. In *5th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV'95)* (Durham, New Hampshire, April 1995), pp. 95-106.

através da troca de mensagens entre o cliente e o servidor, usando RTCP sobre UDP. Essa abordagem possui dois problemas: o primeiro é (novamente) o uso de parâmetros da camada de comunicação como variável de controle e o segundo é que, devido ao fato do caminho de degradação ser criado, direta ou indiretamente, pelo usuário (detalhes de sua construção não são endereçados no trabalho), provavelmente o mecanismo trabalha com poucos níveis de QoS, o que implica em uma alteração brusca de qualidade.

Em [1] é descrito um modelo de comunicação de tempo real projetado para aplicações multimídia distribuídas também baseado em um contrato entre as partes (sistemas finais emissor e receptor) que especifica os requisitos de QoS através de níveis de QoS, representados por três parâmetros: o período das tarefas (considerado como sendo o inverso da frequência de emissão), tamanho de “buffer” e o tamanho da unidade de dado que será processada a cada período. O contrato especifica uma *penalidade* (“penalty”) para o caso do mais baixo nível de QoS não poder ser mantido e também, para cada nível, uma *recompensa* (“reward”). O objetivo do mecanismo de adaptação é maximizar as recompensas agregadas ao fornecedor do serviço. O processo de adaptação é realizado através de uma *heurística* - referenciada como *algoritmo de otimização de recompensas* - que procura maximizar o uso do processador através da combinação dos vários níveis de QoS das sessões. Apenas um parâmetro de QoS, a taxa de perdas de “deadlines” (camada de sistema), é usado como variável de controle (novamente, o controle é executado a partir do valor de um parâmetro de QoS “distante” do usuário final).

A replicação do fluxo multimídia como arcabouço do processo de adaptação de QoS também tem sido proposta em diversos trabalhos, sendo esse processo geralmente realizado através da exploração de características específicas do algoritmo de compressão, como resolução hierarquizada [3] [5], [13] [10] [20] ou diferenças interquadros [6]. A vantagem da exploração dessas características é o pequeno acréscimo em relação à transmissão de um único fluxo; a desvantagem é o número restrito de níveis de QoS transmitido (geralmente três).

6 Conclusões

Neste trabalho, nós apresentamos um modelo genérico de adaptação de QoS baseado em sistemas de controle. Tal modelo é dividido em dois escopos, um global e outro local. O primeiro é responsável pela adaptação da taxa de transmissão da aplicação à largura de banda da rede; o segundo é responsável pela adaptação da taxa de uso de processador da aplicação à carga da UCP. Assim, diferentemente de outros modelos propostos na literatura que tratam de problemas decorrentes de congestionamento de rede ou sobrecarga de processador, a proposta apresentada é voltada para esses dois tipos de problemas.

Os escopos local e global seguem políticas de adaptação centradas no usuário final por utilizarem a função grau de qualidade, que abrange todos os parâmetros da camada de aplicação, tanto no monitoramento quanto na adaptação. Isso difere de outras propostas nas quais os parâmetros monitorados pertencem à camada de comunicação ou sistema da arquitetura do SMD e o mecanismo de adaptação realiza ações apenas sobre um único parâmetro.

O escopo global, para ambientes que fornecem algum tipo de garantia de QoS, é baseado na replicação do fluxo em cópias com diferentes graus de qualidade. Essa abordagem

trole poderia ser realizada com justiça nos nós intermediários da rede, fazendo com que o emissor já receba \overline{QoS} , diminuindo, assim, a possibilidade da ocorrência de implosão de realimentação.

5 Trabalhos Relacionados

Existem vários trabalhos descrevendo modelos para adaptação de QoS que são baseados, de forma explícita ou implícita, em sistemas de controle. Contudo, a maior parte deles é dirigido para a adaptação à carga da rede ou à carga do processador, realiza a adaptação de um único parâmetro de QoS, a variável de estado é distante da perspectiva do usuário final, a adaptação atua sobre um único parâmetro de QoS e o mecanismo de adaptação é amarrado a tecnologias específicas (em termos de algoritmo de compressão, sistema operacional, protocolo de comunicação, rede etc.)

Em [19] e [4] são apresentados mecanismos nos quais a adaptação representa um controle da quantidade de dados injetados na rede visando adequar o fluxo ao seu estado a partir do monitoramento da taxa de perdas de unidades de transporte fornecida pelo protocolo RTCP. Contudo, em ambas abordagens e em outras análogas, o problema da adaptação é endereçado do ponto de vista da rede, através do uso de parâmetros da camada de comunicação, como taxa de perdas de unidades de transporte, taxa de transmissão por conexão, atraso e taxa de ocupação de "buffers" como variáveis de controle. Tais parâmetros, todavia, não refletem a qualidade que está realmente sendo percebida pelo usuário. Além disso, a taxa de transmissão é alterada de forma proporcional à variável monitorada, a despeito do fato do grau de qualidade *não ser* linear em relação à taxa de transmissão (a relação entre esses dois parâmetros é muito subjetiva). Ambos mecanismos de controle foram implementados sobre o VIC, sem que fosse, no entanto, demonstrado o impacto da redução da taxa de transmissão sobre parâmetros da camada de aplicação.

Em [14] são descritos experimentos envolvendo a transmissão de vídeos nos formatos M-JPEG onde a frequência de transmissão do emissor é superior à capacidade de processamento do receptor, o que conduz a uma degradação da imagem. Nos testes, o emissor possui uma placa dedicada para compressão de vídeo no formato M-JPEG que permite uma frequência de até 30 fps. O receptor, por outro lado, armazena os quadros em um "buffer" e realiza a descompressão via "software" não conseguindo, assim, acompanhar a frequência de emissão. A adaptação é feita no emissor através da redução da frequência de quadros a partir de mensagens enviadas pelo receptor informando a taxa de ocupação do "buffer". Nessa estratégia, somente um parâmetro relacionado à qualidade da imagem é alvo da adaptação.

O uso de funções para nortear o processo de adaptação, semelhantes à função *QoS* proposta neste trabalho, tem sido endereçado em alguns modelos de adaptação de QoS. Em [21] e [8], a descrição dos limites e prioridades de degradação é feita através de um *caminho de degradação* criado a partir das preferências do usuário em relação aos parâmetros resolução da imagem, frequência dos quadros, algoritmo de compressão e exigências em termos de taxa de transmissão. O caminho nada mais é que uma tabela na qual cada entrada representa um nível de QoS. Quando a taxa de transmissão não permite a manutenção do nível de QoS corrente (taxa de perdas de unidades de transporte ultrapassa 10%) o mecanismo de adaptação de QoS é disparado, alterando o nível de QoS corrente para aquele imediatamente abaixo no caminho de degradação. Isso é feito

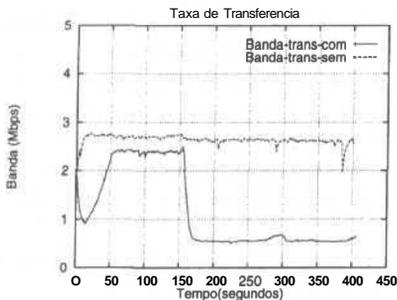


Figura 9: Taxa de transmissão com e sem adaptação de QoS.

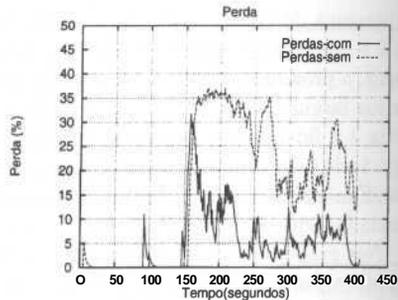


Figura 10: Taxa de perdas de pacotes com e sem adaptação de QoS.

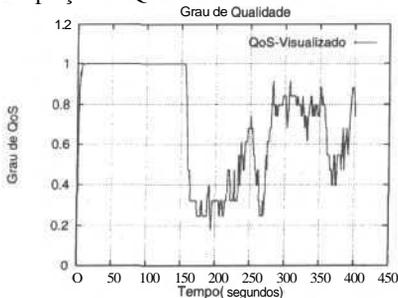


Figura 11: Grau de qualidade de visualização sem controle de QoS.

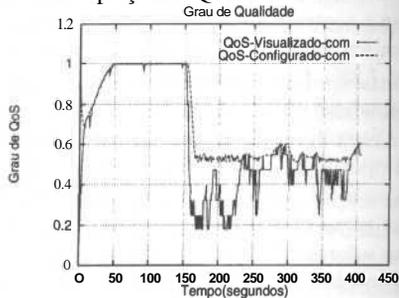


Figura 12: Grau de qualidade configurado e de visualização com controle de QoS.

valor dos seus parâmetros de QoS com aqueles determinados pelo controlador, o que é fundamental para o bom desempenho do processo de adaptação;

3. quanto mais próximas as estimativas das necessidades de largura de banda de cada nível de QoS, mais rapidamente o controlador encontrará o nível adequado para o contexto corrente da rede;
4. quanto mais parâmetros envolvidos no processo de adaptação, melhores serão os resultados, pois cada parâmetro terá que contribuir menos com esse processo;
5. o grau de qualidade de emissão pode ser aumentado mesmo que ele seja superior ao grau de qualidade de recepção médio (ou seja, mesmo na presença de um determinado percentual de perdas) como no mecanismo de controle proposto em [4] no qual a taxa de transmissão é incrementada mesmo com a ocorrência de um determinado percentual de perdas de pacotes;
6. a redução da taxa de perdas de unidades de transporte às custas da redução da taxa de transmissão não implica necessariamente em uma melhora do grau de qualidade, dependendo de como essa redução reflete-se na camada de aplicação; e
7. é desejável que a informação de realimentação seja fornecida ao controlador por algum protocolo de comunicação. Além disso, a agregação das informações de con-

a presença do controlador. Em ambas situações foi usado um contexto similar: durante os 2,5 minutos iniciais, a rede estava com carga mínima (apenas o VIC); nos 5 minutos finais, o programa gerador de carga Netperf aumentou a carga da rede para cerca de 30% de sua largura de banda. A câmera filmava sempre um ponto fixo sem movimentação em volta e a fidelidade da imagem e a frequência de quadros - os parâmetros de QoS configuráveis pela interface do VIC quando o algoritmo de compressão usado é o M-JPEG - foram inicializadas com seus valores máximos (95 e 30, respectivamente). A função *QoS* usada foi aquela mostrada na Fig. 2.

Nos gráficos das Fig. 9 e Fig. 10 são mostrados os comportamentos da taxa de transmissão e percentual de perdas de pacotes durante a sessão da aplicação sem controle de QoS e com controle de QoS. Na execução sem a presença do controlador, a taxa de transmissão não varia muito, ficando sempre em torno de 2.61 Mbps e a taxa de perdas de pacotes média durante o período em que a rede está carregada é de 24.7%. Na execução com o controlador, a taxa de transmissão foi reduzida a partir do início da carga ficando com um valor médio de 0.65 Mbps e a taxa de perdas de pacotes média ficou em apenas 7.8%. Dos resultados anteriores, percebe-se a redução da taxa de perdas quando o mecanismo de adaptação atua.

No gráfico da Fig. 11 é mostrado o comportamento do grau de qualidade de visualização no caso da execução sem o controlador. Sua média obtida durante o período de carga da rede foi de 0.57, apresentando, contudo, grandes oscilações. O grau de qualidade configurado (i. e. de referência) foi sempre 1, já que os parâmetros de QoS receberam seus valores máximos. A diferença entre o grau de qualidade de referência e de visualização *decorre basicamente das perdas ocorridas na rede*, indicando que boa parte da informação enviada perdeu-se nos nós intermediários ou receptores.

A Fig. 12 mostra o comportamento do grau de qualidade de visualização para a execução com o controlador. A média do grau de qualidade de visualização durante o período de carga da rede foi de 0.43 enquanto o grau de qualidade de referência ficou em 0.55. Nesse caso, a diferença entre os dois foi bem menor do que no caso anterior, indicando um menor "desperdício" de banda passante. Tal diferença decorreu mais de algumas dificuldades intrínsecas ao VIC do que de perdas ocorridas na rede: no VIC, a atualização dos parâmetros é feita somente a cada segundo, o que obrigou o controlador a trabalhar com um período de monitoramento relativamente longo e, conseqüentemente, com informações defasadas. Por outro lado, esse período de monitoramento longo foi insuficiente para que a aplicação passasse a gerar o fluxo com os valores dos parâmetros de QoS determinados pelo controlador, já que no VIC a coordenação entre as estruturas de dados assim como a parte gráfica são implementadas usando a linguagem interpretada Tcl/Tk, o que impede o acesso direto às variáveis do CODEC usadas para definir os valores dos parâmetros de QoS ocasionando um "overhead". As dificuldades supramencionadas impediram que o controlador permitisse que o grau de qualidade de visualização alcançasse o grau de qualidade de referência (a estabilidade deste último, mostrada no gráfico da Fig. 12, comprova, entretanto, que o controlador alcançou um grau de qualidade compatível com o estado da rede).

A partir dos experimentos descritos acima, foram tiradas algumas conclusões:

1. é aconselhável que o mecanismo de adaptação de QoS seja completamente integrado à aplicação, podendo assim manipular todas suas estruturas internas;
2. o ajuste do tempo de monitoramento é necessário para que a aplicação atualize o

se QoS_e é ÚTIMA e Ae é ZERO então $QoS_e \Rightarrow$ ÚTIMA (* Mantém QoS , *)
 se QoS_e é ÚTIMA e Ae e PEQUENO então QoS , é BOA (« Decrementa QoS , «)
 se QoS , é ÚTIMA e Ae é GRANDE então QoS_e é MÉDIA (* Decrementa QoS , «)
 se QoS , é BOA e Ae \Rightarrow ZERO então QoS , é ÚTIMA (* Incrementa QoS_e •)
 se QoS_e é BOA e Ae é PEQUENO ou GRANDE então QoS , é MÉDIA (* Decrementa QoS_e •)
 se QoS , é MÉDIA e Δf é ZERO então QoS_e é BOA (* Incrementa QoS_e *)
 se QoS_e é MÉDIA e Ae é PEQUENO ou GRANDE então QoS_e é MÉDIA (* Mantém QoS_e «)

O módulo de “desfuzificação” converte o conjunto nebuloso resultante QoS_e em um valor numérico, QoS'_e (o novo valor de QoS_e).

No módulo de pós-processamento, finalmente, o controlador global seleciona em $\Omega_{NiveisQoS}$ o novo nível de QoS de emissão L_e cujo grau de qualidade é o mais próximo de QoS_e . Os valores dos parâmetros de QoS do fluxo são, então, alterados para os valores correspondentes ao do novo L_e .

Conforme [16], o uso de controladores nebulosos (CN's) apresenta os seguintes atributos: (1) a fase de construção de um modelo elaborado e livre de erros do sistema a ser controlado, atividade que demanda muito tempo, é eliminada; (2) CN's contêm mecanismos adequados para representação de julgamentos humanos, geralmente vagos; e (3) o critério de desempenho a ser otimizado não necessita ser formulado de maneira explícita. O item 1 torna adequado o uso de CN's para mecanismos de adaptação de QoS em SMD's uma vez que a construção de um modelo analítico desse tipo de sistema é atividade extremamente complexa por envolver vários tipos de entidades físicas e abstratas (sistema operacional, rede, protocolos de comunicação, “hardwares”) com diferentes instâncias e configurações, e também por envolver diferentes mecanismos que atuarão em diferentes escalas de tempo; os itens 2 e 3 encaixam o uso de CN's em gerentes de QoS já que o grau de satisfação do usuário - um critério de desempenho cuja maximização é buscada por eles - é refletido na forma da qualidade final de apresentação, cuja modelagem matemática é complexa por envolver vários parâmetros cuja relação entre si é de difícil determinação. Além dessas vantagens, a implementação do mecanismo de adaptação na forma de um sistema de controle nebuloso é adequada para sistemas não lineares como é o caso dos SMD's, nos quais a relação entre os parâmetros de QoS das diferentes camadas não é linear, assim como a relação entre eles e o grau de qualidade.

4.3 Alguns Resultados

Visando testar o uso da função grau de qualidade como variável de controle, uma versão simplificada do mecanismo de adaptação global foi implementada na forma de um controlador simples para atuar sobre os parâmetros de QoS da ferramenta de videoconferência VIC. A interface de rede utilizada foi Ethernet com capacidade de 10 Mbps; os sistemas finais eram máquinas Sun Sparc com Solaris 7. Optou-se pela transmissão das informações de realimentação através de soquetes, devido unicamente à facilidade de implementação desse mecanismo de comunicação, uma vez que ele acrescenta um “overhead” que pode aumentar as perdas de “deadlines” da aplicação. Para geração do fluxo de vídeo no VIC foi usada uma placa de codificação M-JPEG; o processo de descompressão, por outro lado, foi inteiramente executado por um CODEC implementado via “software”. Para avaliação do desempenho da implementação, foram realizados testes de execução do VIC com e sem

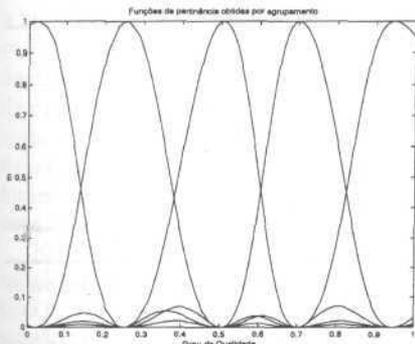


Figura 6: Conjuntos nebulosos para o domínio do grau de qualidade QoS



Figura 7: Distribuição dos níveis de QoS em relação ao QoS

de degradação é imposto (de forma difusa) pela faixa MÉDIA. As faixas POBRE e RUIM não são consideradas para adaptação. Para exemplificar, a Fig. 6 mostra o domínio de QoS dividido nos cinco conjuntos nebulosos obtidos utilizando o método de agrupamento ("clustering") "fuzzy c-means" [2] sobre o conjunto de dados mostrado na Fig. 2. A Fig. 7 mostra a distribuição (pontos de concentração) dos níveis de QoS em relação ao QoS . Cada ponto no gráfico representa um nível de QoS, numerados de 0 a 3130 (o número de elementos do conjunto $\Omega_{NiveisQoS} = \Omega_{freq} \times \Omega_{fid}$ é 3131). No eixo das ordenadas, estão marcados com 'x' os níveis de QoS que representam os pontos centrais dos agrupamentos obtidos pelo "fuzzy c-means".

Nessa abordagem, não existem mais os conceitos de contrato e referência e o controlador é implementado na forma de um controlador nebuloso cujas entradas (variáveis de estado) são QoS_e (grau de qualidade de emissão) e QoS_r (o grau de recepção médio para os N receptores; o sobrescrito i não aparece nas variáveis já que, conforme dito, há um único fluxo sendo emitido para todos os sistemas finais receptores). A Fig. 8 mostra o controlador através de um diagrama de blocos.



Figura 8: Diagrama de blocos do controlador global nebuloso

Um módulo de pré-processamento calcula o erro \mathcal{E} entre QoS_e e QoS_r , e realiza uma filtragem das transições de carga de curta duração, através do cálculo da variação do erro $\Delta\mathcal{E}$, representando as diferenças dos erros nos intervalos de monitoramento τ_{i-1} e τ_i . Um módulo de "fuzificação" converte as entradas em graus de pertinência usando as funções de pertinência μ associadas aos conjuntos nebulosos. $\Delta\mathcal{E}$ também é dividida em três conjuntos nebulosos: ZERO, PEQUENO e GRANDE. O sistema de inferência nebuloso calcula a saída (o conjunto nebuloso QoS_e) através da seguinte base de regras:

uso de informações de controle fornecidas pelo próprio suporte de comunicação - como as células RM da classe de serviço ABR da rede ATM, que servem para notificar o emissor se a rede está congestionada ou não, ou pacotes RR, do protocolo RTCP, para notificar o emissor da variação do atraso e taxa de perdas de pacotes - é uma alternativa que dispensa a criação de fluxos extra para realimentação e diminui a possibilidade de implosão desta, mas aumenta a incerteza com relação ao estado real da rede, na perspectiva do usuário final, além de amarrar o mecanismo a tecnologias específicas.

As ações de adaptação propriamente ditas para alterar o nível de QoS de emissão corrente, tanto no caso de aumento quanto degradação, serão realizadas através da alteração nos valores dos parâmetros $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ que compõem o nível de QoS de emissão L_e^i . Apesar do mecanismo, do ponto de vista conceitual, considerar níveis de QoS contemplando os n parâmetros da camada de aplicação, na prática os níveis de QoS poderão considerar apenas aqueles parâmetros que o algoritmo de compressão permite que sejam alterados dinamicamente. Algoritmos com escalabilidade nativa, como MPEG, JPEG e H.263, permitem a alteração de parâmetros de QoS como frequência de quadros, resolução, fidelidade e cor, mas geralmente impõem um domínio discreto de valores para cada um desses parâmetros. Muitos trabalhos [15] [5] [9] [7] endereçam ações de alteração dinâmica de parâmetros dos algoritmos de compressão que se refletem em mudanças nos valores de parâmetros da camada de aplicação. Neste trabalho, são consideradas as seguintes ações de adaptação: (1) alteração da fidelidade da imagem, através da alteração do fator de quantização, se o algoritmo de compressão é baseado em DCT; (2) alteração da paleta de cores, através da alteração da profundidade do pixel, se o algoritmo de compressão suporta mais de uma profundidade de pixel; (3) retirada da cor: opção considerada apenas quando todos os contratos das sessões aceitam essa possibilidade. Tal ação, contudo, só deverá ser executada se passado um tempo mínimo (a ser definido) após a última alteração, evitando a troca muito freqüente do modo colorido para tons de cinza; (4) alteração do algoritmo de compressão, através da troca direta ou através de transcodificação; (5) alteração da frequência de quadros; e (6) alteração da qualidade do som, realizada através da alteração da frequência/tamanho das amostras de áudio. A alteração da resolução é uma ação considerada apenas se ela for possível mantendo-se, através de interpolação, o tamanho da janela de resolução, uma vez que mudanças freqüentes no seu tamanho, do mesmo modo que a retirada da cor, causam um desconforto no usuário.

4.2 Suporte de Comunicação sem Garantias de QoS

Neste trabalho, é proposto que o mecanismo de adaptação global para um ambiente "best-effort" atue sobre o fluxo multimídia através de uma adaptação dirigida por *faixas nebulosas de graus de qualidade* representadas através de conjuntos nebulosos⁵ de graus de qualidade.

Visando manter uma associação entre os conjuntos e as cinco escalas de qualidade subjetiva para aplicações multimídia propostas pela ITU-T, o domínio de *QoS* é dividido em cinco conjuntos nebulosos: ÓTIMO, BOM, MÉDIO, POBRE e RUIM. O limite máximo

⁵Formalmente, um conjunto nebuloso \tilde{A} do universo de discurso X é definido por uma função de pertinência $\mu_{\tilde{A}} : X \mapsto [0, 1]$. Essa função $\mu_{\tilde{A}}$ ("membership function" ou *função de pertinência*) associa a cada elemento x e X um grau de compatibilidade com o conceito expresso por A : se $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$, x é completamente compatível com A ; se $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$, x é completamente incompatível com A ; se $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$, x é parcialmente compatível com A , com um grau $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

da taxa de transmissão. O modelo do controlador global é mostrado na Fig. 5. A decisão de adaptação é tomada pelo controlador a partir dos valores dos graus de qualidade de recepção $Q\hat{\delta}S_r^i$ ($j = 1, 2, \dots, k$) enviados pelos k_i receptores associados à i -ésima réplica.

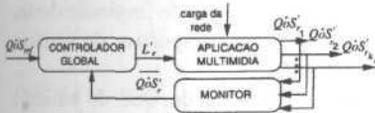


Figura 5: Mecanismo de adaptação global da i -ésima réplica

A cada réplica i é associado um grau de qualidade de referência $Q\hat{\delta}S_{ref}^i$ e um subconjunto $\Omega_{NiveisQoS}^i \subset \Omega_{NiveisQoS}$ contendo todos os k níveis de QoS com um grau de qualidade $Q\hat{\delta}S_j^i$ tal que $Q\hat{\delta}S_j^i \in [Q\hat{\delta}S_{e_{min}}^i, Q\hat{\delta}S_{e_{max}}^i]$, $j = 1, 2, \dots, k$, onde $Q\hat{\delta}S_{e_{min}}^i = Q\hat{\delta}S_{ref}^i - \sigma^i$ é o grau de qualidade de emissão mínimo, $Q\hat{\delta}S_{e_{max}}^i = Q\hat{\delta}S_{ref}^i + \sigma^i$ é o grau de qualidade de emissão máximo e σ^i representa uma tolerância na variação da referência da réplica i . O valor de σ^i é dado pela Equação 1:

$$\sigma^i = (Q\hat{\delta}S_{ref}^i)^2 \times \psi, \psi \in [0, 1]. \quad (1)$$

A equação acima determina que a tolerância irá variar de 0 (quando $Q\hat{\delta}S_{ref}^i = 0$) a ψ^2 (quando $Q\hat{\delta}S_{ref}^i = 1$). Isso reflete a noção intuitiva de que quanto maior a qualidade, maior será a tolerância (na percepção) do usuário às alterações nela. O real valor de ψ dependerá de análises de opiniões de usuários relacionadas à percepção da mudança de níveis de QoS.

O conjunto $\Omega_{NiveisQoS}^i$ contém todos os níveis de QoS candidatos a serem L_e^i (nível de QoS de emissão da i -ésima réplica) e $Q\hat{\delta}S_e^i$ pode receber apenas os valores dos graus de qualidade associados a esses níveis de QoS, ou seja, L_e^i é fixado se $Q\hat{\delta}S_e^i < Q\hat{\delta}S_e^i < Q\hat{\delta}S_{e_{max}}^i$.

Cada nova sessão u de contrato $Q\hat{\delta}S_{cu}$ será associada à réplica i do fluxo tal que $Q\hat{\delta}S_{cu} \in [Q\hat{\delta}S_{e_{min}}^i, Q\hat{\delta}S_{e_{max}}^i]$.

Periodicamente, o i -ésimo monitor global recebe k_i mensagens dos receptores associados à réplica i informando os graus de qualidade recebidos por eles, ou seja, $Q\hat{\delta}S_{r_1}^i, Q\hat{\delta}S_{r_2}^i, \dots, Q\hat{\delta}S_{r_k}^i$ e calcula o grau de qualidade de recepção médio $\overline{Q\hat{\delta}S}_r^i$, dado, por exemplo, pela média harmônica de $Q\hat{\delta}S_{r_j}^i$, $j = 1, 2, \dots, k_i$. Isso garante que as decisões do controlador levarão em conta o estado da maior parte dos receptores evitando que umas poucas sessões de usuário com qualidade muito baixa determinem um valor baixo para $Q\hat{\delta}S_e^i$.

De posse de $\overline{Q\hat{\delta}S}_r^i$, o i -ésimo controlador global verifica se $\overline{Q\hat{\delta}S}_r^i < Q\hat{\delta}S_{e_{min}}^i$. Se essa condição é verdadeira, o controlador seleciona em $\Omega_{NiveisQoS}^i$ o nível de QoS com menor necessidade de largura de banda e $Q\hat{\delta}S_e^i$ recebe o valor do grau de qualidade desse nível. Se a condição é falsa, o controlador seleciona em $\Omega_{NiveisQoS}^i$ o nível de QoS cujo grau de qualidade tem o valor imediatamente superior a $Q\hat{\delta}S_e^i$. Esse nível de QoS passa a ser o novo nível de QoS de emissão da i -ésima réplica, L_e^i .

Esta estratégia de controle tem as seguintes vantagens: (1) ela utiliza uma variável de controle (o grau de qualidade) que mantém relação direta com parâmetros percebidos pelo usuário (e não parâmetros da camada de comunicação); (2) ela permite, através das réplicas, a diferenciação da qualidade e, conseqüentemente, a imputação de custos diferenciados para usuários; e (3) ela garante justiça ("fairness") nas ações do controlador ao tomar decisões baseadas nos estados de todos os receptores da réplica. O item (1), por outro lado, exige fluxos adicionais para a condução das informações de realimentação. O

Quando o suporte de comunicação não oferece garantias de QoS, o escopo global é representado por um único controlador global posicionado no sistema final emissor e sua política de adaptação define um limite de degradação impreciso em termos de grau de qualidade para QoS_e . Abaixo desse limite, o controlador global não age, deixando que os graus de qualidade de recepção QoS_{r_k} melhorem através da redução da carga do SMD. Neste contexto, o controlador global é implementado como um controlador nebuloso⁴.

3.2 Escopo Local

O modelo de adaptação do escopo local consiste de um controlador local em cada receptor (Fig. 3) que, da mesma forma que no escopo global, segue o modelo básico dos sistemas de controle realimentados (Fig. 4), podendo ser implementado tanto na forma de um controlador tradicional quanto de um controlador nebuloso.

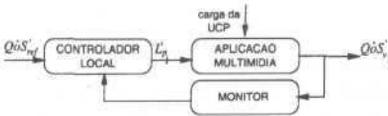


Figura 4: Mecanismo de adaptação local

O j -ésimo controlador local tenta manter o grau de visualização do receptor j associado à réplica i ($QoS_{v_i}^j$) próximo a grau de qualidade de referência QoS_{ref}^j pré-estabelecido (ou apenas tenta maximizá-lo dentro do possível, no caso de ambientes que não oferecem garantias de QoS). Esse grau de visualização é observado e enviado

para o controlador local por um monitor. De posse desse valor, o controlador local altera o nível de QoS que deverá ser obtido após a descompressão (L_p^i) visando diminuir - no caso da degradação - o tempo de processamento dessa tarefa. O conjunto de níveis de QoS candidatos a serem $L_{r_j}^i$ é

$$\Omega_{NiveisQoS_j}^i = \{ \langle \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n \rangle \in \Omega_{NiveisQoS}^i \mid \rho_q \leq \rho_{q_r_j}^i \}, \quad (q = 1, 2, \dots, n).$$

onde $\rho_{q_r_j}^i$ é o valor que chega (de recepção) do parâmetro ρ_q no sistema final receptor j enviado pela réplica i do fluxo.

Uma versão simplificada dos controladores local e global foi implementada para atuar sobre os parâmetros de QoS do VIC [12] visando testar o uso da função grau de qualidade como variável de controle. Contudo, em virtude do espaço limitado, serão apresentados na seção seguinte apenas os resultados obtidos relacionados ao controlador global.

4 Modelo de Adaptação Global

Conforme dito, o escopo global difere de acordo com o tipo de garantia de QoS oferecida pelo suporte de comunicação. A seguir, serão vistos os dois casos.

4.1 Suporte de Comunicação com Garantias de QoS

Cada instância do controlador global modifica QoS_e^i através da alteração do nível de QoS de emissão corrente da réplica i , L_e^i , o que conduz à alteração, na camada de comunicação,

⁴Os controladores nebulosos ("fuzzy") baseiam-se na teoria dos conjuntos nebulosos [23] e originaram-se das pesquisas de E. H. Mamdani [11].

decorrentes de perdas de “deadlines”.

O modelo de adaptação proposto difere quanto aos objetivos de acordo com o tipo de garantia de QoS oferecida pelo ambiente (suporte de comunicação e sistema operacional, particularmente): se não há nenhuma garantia, o objetivo do modelo é maximizar $Q\hat{o}S_{v_k}$ das N sessões de usuário dentro do permitido pelo contexto corrente do SMD; se o ambiente oferece garantias de QoS, o modelo utiliza o conceito de contratos: para cada sessão de usuário é associado um grau de qualidade contratado (ou simplesmente, contrato) $Q\hat{o}S_{c_k}$ e o objetivo do modelo é manter $Q\hat{o}S_{v_k}$ próximo a $Q\hat{o}S_{c_k}$. O contrato é obtido a partir das restrições de QoS especificadas pelo usuário.

O modelo de adaptação de QoS proposto é dividido em dois escopos, um global, responsável pela adaptação da taxa de transmissão do fluxo multimídia à largura de banda disponível para a aplicação, e outro local responsável pela adaptação da taxa de uso de processador da aplicação à carga da UCP.

3.1 Escopo Global

Quando o suporte de comunicação oferece garantias de QoS deterministas ou probabilísticas, o modelo de adaptação do escopo global consiste de M controladores concorrentes posicionados no emissor. Neste caso, a aplicação (uma ferramenta de videoconferência, por exemplo) gera um fluxo com o maior valor possível para cada um dos parâmetros de QoS, o que significa o maior nível de QoS (maior $Q\hat{o}S$) considerando as restrições impostas por parâmetros do contexto (largura de banda disponível, capacidade dos CODECS, resolução dos monitores, etc.). O fluxo é replicado pelos M controladores globais em M cópias³, cada uma com um grau de qualidade de emissão $Q\hat{o}S_e^i$ ($i = 1, 2, \dots, M$). Sessões de usuário com contratos similares são associadas a uma mesma réplica do fluxo. A replicação do fluxo deve-se ao fato do modelo de adaptação de QoS ser fundamentado, neste caso, no conceito de contrato de usuário e a transmissão de um único fluxo (ou seja, um único $Q\hat{o}S_e$) restringiria muito a abrangência dos contratos. Cada réplica i é associada a k_i receptores, de tal forma que $\sum_{i=1}^M k_i = N$. Nos receptores, o grau de qualidade de recepção é $Q\hat{o}S_r^j$ ($j = 1, 2, \dots, k_j$). A Fig. 3 mostra o modelo de adaptação proposto para o caso descrito acima.

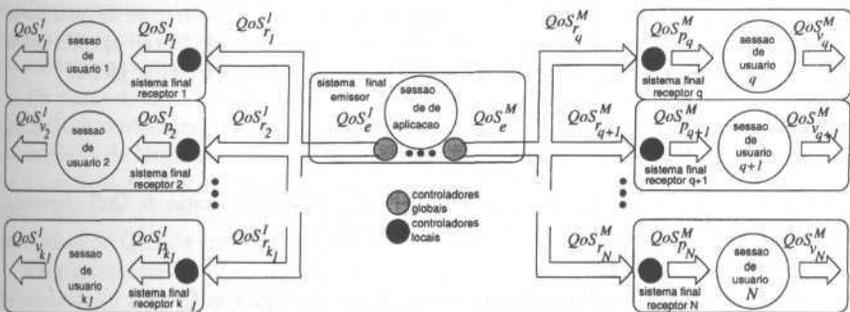


Figura 3: Modelo de Adaptação (com garantias de QoS)

³O valor de M depende da capacidade da rede e da capacidade de processamento do emissor.

a alteração do grau de qualidade quando o valor desse parâmetro é alterado, mantendo-se os outros constantes. A Premissa 4 também reflete uma noção intuitiva em relação à percepção do usuário final, para o qual a qualidade é baixa se um parâmetro de QoS tem um valor muito baixo, independentemente dos valores dos outros parâmetros. Por exemplo, se $\rho_1 \approx \rho_{1,max}$ mas $\rho_2 \ll \rho_{2,min}$ então $QoS(\rho_1, \rho_2)$ tende a fornecer um valor baixo. A Premissa 5 reflete o fato de que, para diferentes aplicações, os parâmetros de QoS terão diferentes importâncias: em uma videoconferência do tipo palestra, por exemplo, os pesos dos parâmetros relacionados à qualidade do som devem ser maiores do que os pesos dos parâmetros relacionados à qualidade da imagem.

O conceito de grau de qualidade pode ser estendido para *grau de satisfação* através da atribuição de custos aos níveis de QoS. Neste trabalho, entretanto, será usada apenas a função grau de qualidade.

Na Fig. 2 é mostrado o comportamento da função $QoS = QoS(\text{frequência de quadros, fidelidade da imagem})$ para uma aplicação de videoconferência moldado de acordo com as premissas assumidas anteriormente ($\Omega_{freq} = \{0, 1, 2, \dots, 30\}$ e $ffid = \{0, 1, 2, \dots, 100\}$); foram atribuídos pesos iguais (0.5) para os dois parâmetros. A superfície foi construída utilizando-se uma metodologia baseada em técnicas de *interpolação* com pontos de inflexão arbitrados a partir de analogias (qualidade de videoconferência, qualidade de TV-PAL, qualidade de TV-NTSC) e dos dados levantados em [22] e [17] que mostram os níveis de qualidade típicos para intervalos de compressão (fator de quantização) usando o algoritmo de compressão JPEG.

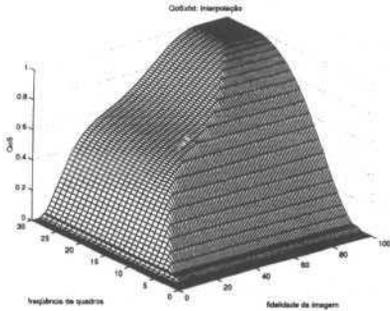
Figura 2: Grau de qualidade QoS em função da frequência de quadros e da fidelidade da imagem

de TV-PAL, qualidade de TV-NTSC) e dos dados levantados em [22] e [17] que mostram os níveis de qualidade típicos para intervalos de compressão (fator de quantização) usando o algoritmo de compressão JPEG.

3 Modelo de Adaptação de QoS

O modelo de adaptação proposto realiza uma adaptação fim-a-fim centrada na perspectiva do usuário final, para o qual a qualidade é vista como um todo e não através de parâmetros individuais da camada de aplicação. Essa adaptação orientada ao usuário é obtida através do envolvimento, neste processo, do maior número possível de parâmetros de QoS, de modo que cada um colabore um pouco para a manutenção do grau de qualidade QoS definido anteriormente dentro de um determinado intervalo.

O modelo de adaptação é dirigido para aplicações 1:N como, por exemplo, videoconferência para ensino à distância. É assumido que a UCP do emissor é dedicada à execução da aplicação multimídia e às tarefas de adaptação. O fluxo enviado pelo emissor sai com um grau de qualidade de emissão QoS_e e chega ao k -ésimo receptor com um grau de qualidade de recepção QoS_{r_k} tal que $QoS_{r_k} < QoS_e$ ($k = 1, 2, \dots, N$) já que quadros podem ter sido perdidos em virtude da perda de unidades de transporte na rede. Nos receptores, os quadros são processados para gerar um fluxo com um grau de qualidade pós-descompressão QoS_{p_k} tal que $QoS_{p_k} < QoS_{r_k}$ e é exibido com um grau de qualidade de visualização QoS_{v_k} , tal que $QoS_{v_k} < QoS_{p_k}$ em virtude de mais perdas de quadros



O domínio de um parâmetro de QoS ρ_i é um conjunto $\Omega_{\rho_i} = [\rho_{i_{\min}}, \rho_{i_{\max}}]$ ou $\Omega_{\rho_i} = \{\rho_{i_{\min}}, \rho_{i_{\min}} + 1, \dots, \rho_{i_{\max}}\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Um nível de QoS L é uma n -tupla $\langle \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n \rangle$ representando uma combinação de valores dos n parâmetros de QoS de uma determinada camada da arquitetura do SMD (neste trabalho, parâmetros da camada de aplicação).

O conjunto de todos os níveis de QoS, $\Omega_{\text{NíveisQoS}}$, é o produto cartesiano dos n domínios Ω_{ρ_i} , i.e., $\Omega_{\text{NíveisQoS}} = \Omega_{\rho_1} \times \Omega_{\rho_2} \times \dots \times \Omega_{\rho_n}$.

O grau de qualidade, QoS , é uma métrica definida arbitrariamente como incluída no domínio $[0, 1]$ e que permite diferenciar quantitativamente os níveis de QoS. O valor de QoS é obtido usando a função $QoS: \Omega_{\text{NíveisQoS}} \rightarrow [0, 1]$. Para o nível de QoS L , $QoS_L = QoS(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)$.

A função QoS é moldada de acordo com as seguintes premissas:

Premissa 1 QoS é multidimensional, considerando o maior número possível de parâmetros de QoS da camada de aplicação.

Premissa 2 QoS não é um mapeamento, ou seja, dois ou mais níveis de QoS podem ter o mesmo grau de qualidade, existindo, dentre outros, dois subconjuntos de níveis de QoS cujos elementos têm grau de qualidade 0 e grau de qualidade 1.

Premissa 3 QoS reflete a noção intuitiva de que a alteração da qualidade não é linear em relação à alteração do valor de um parâmetro ρ_i .

Premissa 4 QoS tende a fornecer um valor baixo para o grau de qualidade se um parâmetro ρ_i qualquer tende a $\rho_{i_{\min}}$ (seu valor mínimo), independentemente dos valores dos outros parâmetros².

Premissa 5 QoS deve considerar pesos para cada parâmetro atribuídos (intuitivamente ou a partir de análises) de acordo com a natureza da aplicação.



Figura 1: Tradução genérica de um parâmetro da camada de aplicação para grau de qualidade [18]

A Premissa 1 limita QoS a um fator de análise puramente qualitativa, não levando em conta a relação custo x benefício. A Premissa 2 reflete uma noção intuitiva em relação à percepção do usuário quanto à qualidade: existem subconjuntos de níveis de QoS cujos elementos, em termos de qualidade, são indistinguíveis entre si para o usuário final; um desses subconjuntos contém níveis de QoS cuja qualidade está aquém das expectativas mínimas do usuário e outro contém níveis de QoS que representam a percepção máxima de qualidade por parte do usuário final.

A Fig. 1, adaptada de [18], mostra esse comportamento para uma função grau de qualidade com um único argumento contínuo p . A Premissa 3 pode ser interpretada da seguinte forma: quanto mais baixo for o valor de um parâmetro de QoS, maior será

²Aqui a expressão *valor mínimo* está sendo usada como uma referência à qualidade que o valor de um parâmetro representa e não ao seu significado absoluto. Por exemplo, a taxa de compressão - parâmetro que influencia na fidelidade da imagem - tem como valor mínimo, neste contexto, 100% (mais baixa qualidade) e valor máximo 0% (nenhuma compressão, fidelidade máxima)

Uma forma comum de realização de adaptação de QoS consiste na adaptação das necessidades da aplicação em termos de recursos (particularmente, largura de banda na rede e ciclos de processador) ao contexto corrente do SMD através da modificação dos valores de um ou mais de seus parâmetros de QoS visando diminuir a taxa de transmissão e/ou tempo de processamento da tarefa de descompressão. A simplicidade dessa solução, contudo, é apenas aparente, já que ela embute três questões fundamentais: (1) Que parâmetros degradar? (2) Quanto e até que limite degradar cada parâmetro? (3) Quando iniciar a degradação? Neste trabalho, essas questões são respondidas através da descrição de um modelo para adaptação de QoS voltada para aplicações multimídia "multicast" composto por estratégias de adaptação bem como pelos mecanismos para implementá-las.

Duas das principais características do modelo proposto são sua *generalidade e orientação ao usuário final*. A primeira característica foi obtida através da definição de um modelo: (1) que trata tanto da adaptação decorrente de congestionamento de rede quanto de sobrecarga de processador; (2) que é desvinculado de qualquer plataforma de rede, protocolo de comunicação, sistema operacional ou algoritmo de compressão específicos; (3) que atua sobre vários parâmetros de QoS; (4) que contempla tanto ambientes que oferecem garantias de QoS (particularmente, suporte de comunicação e sistema operacional) quanto ambientes totalmente "best-effort". A segunda característica foi obtida através da definição de uma *função grau de qualidade* que conduz todo o processo de adaptação. Tal função associa a combinações de valores dos n parâmetros da camada de aplicação da arquitetura do SMD (ou seja, aqueles parâmetros que são diretamente percebidos pelo usuário) uma medida arbitrária de desempenho permitindo ao modelo maximizar a qualidade oferecida *como um todo*, ou seja, como o usuário final percebe a qualidade e não através de parâmetros de QoS individuais.

O trabalho é organizado da seguinte maneira: na Seção 2 são apresentadas algumas definições utilizadas neste trabalho e é descrita a função grau de qualidade; na Seção 3 é apresentada uma visão geral do modelo de adaptação de QoS proposto; na Seção 4 é descrita a parte do modelo responsável pela adaptação da QoS ao contexto corrente da rede; na Seção 5 são descritos alguns trabalhos relacionados; na Seção 6 é apresentada uma síntese do trabalho, algumas conclusões obtidas e perspectivas de trabalhos futuros.

2 A Função Grau de Qualidade

Nos SMD's, os parâmetros de QoS - como frequência de quadros, fidelidade da imagem¹ cor e frequência de amostras de áudio - têm a capacidade de serem adaptadas à disponibilidade de largura de banda, memória ou UCP mudando seus valores correntes para outros obtidos a partir do mapeamento (empírico) desses parâmetros em termos de recursos. Entretanto, essa abordagem se revela limitada e incompleta haja visto que várias combinações de valores de parâmetros de QoS com exigências de recursos similares podem representar qualidades totalmente distintas do ponto de vista do usuário.

A definição de uma *função grau de qualidade* que associa um grau a cada combinação de valores de parâmetros de QoS permitirá disponibilizar um critério de seleção da melhor combinação diante do contexto corrente do SMD. A seguir, serão apresentados alguns conceitos e definições que permitirão construir tal função.

¹Neste trabalho, fidelidade da imagem é um parâmetro representado quantitativamente pelo fator de quantização usado pelo algoritmo de compressão e que indica quão próxima da original é a imagem digital.

- [8] FRY, M., SENEVIRATNE, A., VOGEL, A., AND WITANA, V. Delivering QoS Controlled Media on the World Wide Web. In *IFIP 4th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'96)* (Paris, March 1996).
- [9] GARCIA, F., HUTCHINSON, D., MAUTHE, A., AND YEADON, N. QoS Support for Video and Audio Multipeer Communications. Tech. rep., Lancaster University, Lancaster, England, January 1995.
- [10] Jo, S., AND CANTRELL, P. E. An Agent-Assisted Layered Multicast Architecture for Videoconferencing. In *IEEE Multimedia Technology and Applications Conference (MTAC'98)* (Anaheim, CA USA, September 1998).
- [11] MAMDANI, E. H., AND BAAKLINI, N. Prescriptive Method for Deriving Control Policy in a Fuzzy Logic Controller. *Electronic Letters* 11 (1975), 625-626.
- [12] McCANNE, S., AND JACOBSON, V. VIC: A Flexible Framework for Packet Video., In *3rd ACM International Conference on Multimedia '95* (1995).
- [13] McCANNE, S., JACOBSON, V., AND VETTERLI, M. Receiver-Driven Layered Multicast. *Computer Communications Review* 26, 4 (October 1996), 117-130.
- [14] NAHRSTEDT, K. O., HOSSAIN, A., AND KANG, S.-M. A Probe-based Algorithm for QoS Specification and Adaptation. In *IFIP 4th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'96)* (Paris, March 1996).
- [15] ORTEGA, A., AND RAMCHANDRAN, K. Forward-Adaptive Quantization with Optimal Overhead Cost for Image and Video Coding with Applications To MPEG Video Coders. In *ST/SPIEDigital Video Compression '95* (San Jose, California, February 1995).
- [16] PEDRYCZ, W. *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*. Research Studies Press LTD., 1989.
- [17] REININGER, D., RAYCHAUDHURI, D., AND OTT, M. A Dynamic Quality of Service Framework for Video in Broadband Networks. *IEEE Network* 12, 6 (November/December 1998), 22-45.
- [18] RICHARDS, A., ROGERS, G., ANTONIADES, M., AND WITANA, V. Mapping User Level QoS from a Single Parameter. In *2nd International Conference on Multimedia (MMNS'98)* (November 1998).
- [19] SISALEM, D. End-to-End QoS Control Using Adaptive Applications. In *IFIP 5th International Workshop on Quality of Service (IWQoS'97)* (New York, May 1997).
- [20] TAUBMAN, D., AND ZAKHOR, A. Multirate 3-D Subband Coding of Video. *IEEE Transactions on Image Processing* 35 (1994), 572-588.
- [21] VOGEL, A., KERHERVÉ, B., VON BOCHMANN, G., AND GECSEI, J. Distributed Multimedia Applications and Quality of service: A Survey. *IEEE MultiMedia* 2, 2 (Summer 1995), 10-19.
- [22] WALLACE, G. K. The JPEG Still-Picture Compression Standard. *Communications of the ACM* 34, 4 (April 1991), 30-44.
- [23] ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information & Control*, 8 (1965), 338-353.