

Integração de aplicações *multicast* num sistema de *e-learning* com QoS adaptativa

Sérgio Deusdado
sergioid@ipb.pt
Escola Superior Agrária
Secção de Informática
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança-Portugal
Tel. 351 273 303 267

Paulo Carvalho
paulo@uminho.pt
Escola de Engenharia
Departamento de Informática
Universidade do Minho
Braga-Portugal
Tel. 351 253 604 432

Resumo

Este artigo descreve a implementação e o funcionamento de um sistema de ensino à distância (EAD) baseado em tecnologia multicast, acessível via web browser, que incorpora soluções de adaptabilidade pró-activa por forma a otimizar a utilização dos recursos disponíveis. A arquitectura do sistema desenvolvido inclui middleware provedor de adaptabilidade, que configura e inicia as aplicações multicast envolvidas na conferência multimédia de forma transparente, favorecendo a preservação da QoS, coadunando as necessidades específicas da aplicação e o perfil de QoS dos comunicantes. Numa primeira fase avaliam-se os recursos de interligação e processamento que suportam a ligação fim-a-fim recorrendo a indicadores como a largura de banda disponível, round-trip-time (rtt), memória disponível e ocupação do processador. Munido com os indicadores colectados, o middleware proporcionará um conjunto de pré-parametizações às aplicações de conferência áudio e vídeo multicast envolvidas, que adaptarão convenientemente os seus débitos e créditos. O objectivo é distribuir conscientemente os recursos disponíveis pelos membros interventivos do grupo multicast, assegurando QoS e sustentabilidade compatíveis com o processo comunicativo num ambiente de e-learning. Os módulos de middleware foram implementados em applets Java e Javascript embutido.

1. Introdução

A Internet, sobretudo a nova geração, perfila-se como panaceia para as exigências de comunicação digital nos mais vastos domínios. O largo espectro de aplicações envolvendo diferentes tipos de media, com requisitos de qualidade de serviço e recursos de rede distintos, tem dinamizado a comunidade científica dedicada à investigação na área das comunicações com o objectivo de melhorar o serviço que a Internet presta. Para além das recentes propostas no sentido de introduzir QoS na Internet [1], a tecnologia *multicast* IP [2], proposta por S. Deering, assume-se como fundamental na concepção de aplicações orientadas à comunicação em grupo.

Na educação, e particularmente no ensino à distância, a via da "webização" não ficou por explorar. À medida que o serviço WWW foi evoluindo, incorporaram-se ferramentas de conferência multimédia distribuída que fomentam a interactividade e as relações pró-humanas. As aplicações de comunicação em grupo são, cada vez mais, representativas no rol de aplicações que usam a Internet mas, incipientes em sustentar o seu desempenho devido a uma Qualidade de Serviço (QoS) limitada [3]. Tais aplicações, encontraram na tecnologia *multicast* uma aliada para a sua implantação e escalabilidade.

O suporte à tecnologia de difusão selectiva ou *multicast* encontra-se entre as directivas para a concepção de redes informáticas da nova geração [4]. Proporcionando uma metodologia eficiente para comunicar em grupo, o *multicast* exponenciará o desenvolvimento futuro das tecnologias de interligação e aplicacionais. Apesar do tráfego de rede decrescer, a dimensão dos grupos e a heterogeneidade da Internet podem colocar problemas de escalabilidade. Em ambientes com recursos variáveis, compete às aplicações providenciar mecanismos de preservação da qualidade dos parâmetros críticos da comunicação em grupo.

A capacidade de adaptação da QoS de uma aplicação em face dos recursos disponíveis é um factor de qualidade dessa mesma aplicação [5]. As aplicações de tempo crítico tolerantes, como as videoconferências, são potenciais beneficiárias desta inovação, no entanto, nem todas incorporam tecnologia adaptativa que lhes permita um comportamento "consciente" perante a QoS prestada pela rede e pelo sistema final [6]. A adaptação, nestes casos, pode ser lograda com recurso a uma camada de *middleware* multiplataforma, que tutelarà a adjudicação ou limitação dos recursos de processamento e interligação disponíveis para as aplicações.

2. Trabalhos Relacionados

O fenómeno CBT (*Computer Based Training*) invadiu literalmente as publicações comerciais e científicas. Por exemplo, existem mais de trezentos artigos com o assunto "ensino à distância", publicados na biblioteca IEEE/IEE de 2001 a 2003. Projectos

como o IRI (*Interactive Remote Instruction*), descrito em [7] foram percursos do ensino colaborativo baseado em comunicação interactiva de conteúdos multimédia.

Em [8, 9,10] defende-se que o ensino, sobretudo ao nível superior, pode beneficiar com a inclusão de meios telemáticos e multimediáticos para *e-learning*. Um dos preceitos apontados para garantir o sucesso das aplicações de conferência em ensino à distância, prende-se com a simplificação das suas parametrizações.

Actualmente, os investigadores procuram conciliar a profícua aplicação da tecnologia existente, com o estado evolutivo/social da humanidade. Os ambientes de aprendizagem baseados em meios telemáticos e conteúdos digitais devem adaptar-se e responder a esta diferença natural, a concepção de novas metodologias de ensino não se deve afastar da personalização apesar do processo virtual [11].

Em [12] apresentam-se soluções que apontam para a introdução de uma camada de *middleware*, que seria responsável por controlar as adaptações de QoS ao nível das aplicações. Pela assistência de uma arquitectura de *middleware*, as dinâmicas da aplicação e do sistema poderiam ser avaliadas para decidir quando, como e qual seria a extensão da adaptação a interpor.

Em [13] apresenta-se o sistema Agilos (*Agile QoS*), um *framework* baseado em *middleware*, que tomaria a responsabilidade de gerir a adjudicação dos recursos, de forma adaptada, às aplicações multimédia em tempo real distribuídas. Utilizando para tal, controlo dinâmico e a liberdade de configurar os parâmetros internos de cada aplicação tutelada.

Em [14] o objectivo foi monitorar e prever a disponibilidade de largura de banda para os *sites* dos clientes, e com base nessa computação otimizar a distribuição de material pedagógico pela Internet. Desta forma procurava-se dar garantias de QoS, baseando as entregas em métodos de priorização, ordenando a informação com base nas medições efectuadas e concomitantemente com as preferências manifestadas pelo utilizador.

3. Metodologias

As metodologias usadas neste trabalho podem dividir-se pelas áreas de investigação abordadas, nomeadamente as comunicações por computador usando a tecnologia *multicast* e a manutenção da QoS através da adaptabilidade das aplicações no sistema final. Paralelamente, o trabalho foi balizado pelo estado da arte em matéria de ensino à distância mediado pelo serviço WWW.

O sistema de ensino à distância deverá ser baseado em interface *web*, recorrendo a *middleware*

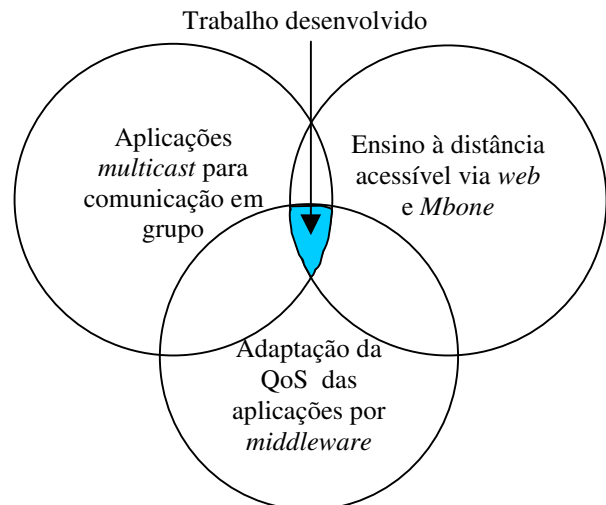


Figura 1 - Enquadramento do trabalho.

(módulos em *java* e *javascript*) sempre que as funcionalidades requeridas o exijam. A Internet é uma plataforma de acesso global e democrático, onde a comunidade de e-alunos se encontra em potência, e já experimentou eventualmente sistemas similares. A infoperícia não deverá ser factor de exclusão, pois os objectivos passam também por tornar trivial o acesso aos conteúdos, e realizar de forma transparente a adaptação e execução das aplicações que lidam com os conteúdos média, mesmo os de natureza síncrona, mormente as conferências multimédia.

Na concepção do sistema privilegiou-se o conceito de "serviço" em detrimento do conceito de "curso", particularmente serviços de média em tempo real para comunicação em grupo, com melhoramento de eficiência e alguma garantia de QoS. Como requisitos incontornáveis, pontificarão a usabilidade e a acessibilidade dos conteúdos didáctico-pedagógicos, evitando criar um sistema que mimetize o sistema de ensino convencional, mas antes que o complemente.

A adaptabilidade deverá ser gerida pelo servidor mas, exercida no *site* do cliente, sendo que cada utilizador reúne um conjunto próprio de definições, será no seu sistema que a sua configuração otimizada será computada, baseando tal computação nas directivas do *middleware*, que importa do servidor como cliente *web*.

A solução no tocante às aplicações, deverá ser a da utilização de ferramentas *multicast* de domínio público, gratuitas e já com alguma difusão. Como se sabe, tais aplicações não se adaptam a condições de transmissão variáveis. Como dotá-las de adaptabilidade de forma independente das ferramentas *multicast* usadas? A resposta inclui a incorporação de algum *middleware* a montante. Precedendo a sessão interactiva e por forma a adaptar a parametrização, prévia ao lançamento automático e transparente das aplicações *multicast* de média em tempo real, computar-se-ão indicadores

sobre as condições de transmissão e os recursos de processamento disponíveis para cada novo membro interventivo.

4. Aplicações Envolvidas

Neste trabalho usaram-se ferramentas para CMM-Conferência Multimédia Multicast de domínio público, fruto de programas de desenvolvimento do Mbone, produzidas na University College of London e nos Laboratórios da Universidade da Califórnia em Berkeley.

As aplicações que normalmente constituem a base de uma sessão no Mbone são as seguintes:

- *rat* [15] (*robust audio tool*) - audioconferência;
- *vic* [16] (*videoconferencing tool*) - videoconferência ;
- *wb* (*whiteboard*) - conferência gráfica;
- *nte* (*network text editor*) texto-conferência.

Mais recentemente, o JMF [17] - *Java Media Framework*, deu um contributo interessante para o desenvolvimento da difusão selectiva de media na Internet. Embora o JMF não proporcione a pré-parametrização, essencial para este trabalho, pode perfeitamente ser utilizado como servidor de media e podem igualmente incluir-se, no sistema de EAD, os *plug-ins* provenientes da sua plataforma para aceder aos media directamente via *browser*.

De entre as aplicações que integram o sistema de EAD, a adaptabilidade aplica-se somente às aplicações de voz e vídeo interactivo, pois são aquelas que apresentam maior necessidade de QoS, e mais afectam os recursos disponíveis.

A forma de modelar os parâmetros de QoS das aplicações envolvidas neste trabalho resultou da conjugação dos resultados obtidos experimentalmente e das referências científicas nesta matéria. Por exemplo, os utilizadores de videoconferências, tipicamente requerem melhor qualidade de áudio que de vídeo [18]. O sucesso da comunicação numa videoconferência também pode depender de factores como, a cadência de *frames*, a qualidade da imagem, a resolução, o tamanho e a iluminação [19, 20, 21].

A sinopse básica para executar o *rat* é a seguinte:

```
rat [options] addr/port
```

Os parâmetros que o *rat* aceita são numerosos, vão desde o *ttl* (*time-to-live*), às opções de segurança (encriptação dos dados), podem ser consultados em (<http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/rat/documents/rat-man.txt>), no entanto o único parâmetro que nos interessa para reconfiguração, é o tipo de codificação áudio empregue. Fazendo adaptação desse parâmetro consegue-se transmitir áudio com qualidade em

conformidade com as possibilidades aferidas na rede e sistema final. Eis a sintaxe e semântica do parâmetro.

```
-f c1/c2/.../cn
```

Especifica o tipo de codificação usado na transmissão áudio. A ordem é: tipo de codificação primário, secundário, etc. Os valores que representam os tipo disponíveis são: *l16*, *pcm*, *dvi*, *gsm* e *lpc*.

O modo de funcionamento da aplicação de transmissão/recepção de vídeo, o *vic*, pode ser pré-programado segundo a seguinte sintaxe:

```
vic [ -A proto ] [ -B kbps ] [ -C conference ] [ -c dither ] [ -D device ] [ -d display ] [ -f format ] [ -F fps ] [ -H ] [ -I channel ] [ -K key ] [ -M colormapFile ] [ -m mtu ] [ -N sessionname ] [ -o clipfile ] [ -P ] [ -s ] [ -t ttl ] [ -U interval ] [ -u script ] [ -V visual ] [ -X resource=value ] [ dest/port[:rport][/format/ttl/nchan,d est2/port2[:rport2]/format2/...]
```

Os parâmetros representativos para este trabalho, no aspecto da adaptabilidade, são os seguintes, vistos em detalhe:

- B** ajusta o máximo de largura de banda disponível (*kbps*).
- c** ajusta a paleta de cores, é dispensável nos casos onde abundam as condições de vídeo. *gray* - para tons de cinzento
- f** usa a codificação de vídeo desejada, uma das seguintes (as mais usadas):

h261	Intra H.261;
h263	H.263;
jpeg	Motion JPEG;
...	...
- F** ajusta o máximo de imagens por segundo (*frames per second*).

5. Trabalho Desenvolvido

A adaptabilidade da aplicação será exercida de forma independente da aplicação, introduzindo uma camada de *middleware*. Será necessário que os vários módulos (*applets* e *javascript*) que a constituem, em primeira instância, se possam inteirar das condições de QoS existentes em tempo de transmissão, bem como dos recursos à disposição (sobretudo a capacidade de

processamento e recursos de memória disponíveis) nos sistemas clientes, e actue no sentido de regular de forma pró-activa as parametrizações das aplicações *multicast* a executar.

Na Figura 2, podem observar-se os elementos constituintes da arquitectura do sistema desenvolvido para comunicação em grupo *multicast*, com adaptação da QoS por *middleware*.

Como parâmetros que serão alvo de tratamento para fornecer um comportamento adaptativo das aplicações, destacam-se os seguintes:

- no caso do sistema cliente pretender tornar-se activo na emissão de áudio/vídeo, adaptar a qualidade da imagem/som que é transmitido em função das condições verificadas ao nível de comunicações/processamento/memória;

- no caso do vídeo, adaptar a qualidade da imagem e a taxa de imagens por segundo aos recursos de largura de banda disponíveis;
- em cenário de escassez de recursos optar pelos formatos de codificação mais compactos na transmissão de áudio e vídeo bem como limitar o consumo de largura de banda;
- em suma, fornecer ao utilizador de forma transparente, o melhor serviço *multicast* que o seu sistema/ligação podem alcançar sem comprometer a rede e a comunicação com o grupo.

A camada de *middleware* é o cerne da arquitectura, praticamente todos os fluxos de controlo do sistema são originados nesse módulo. Antes de se processar a adaptabilidade é necessário recolher dados, auscultando o sistema cliente. Compete à camada de *middleware*,

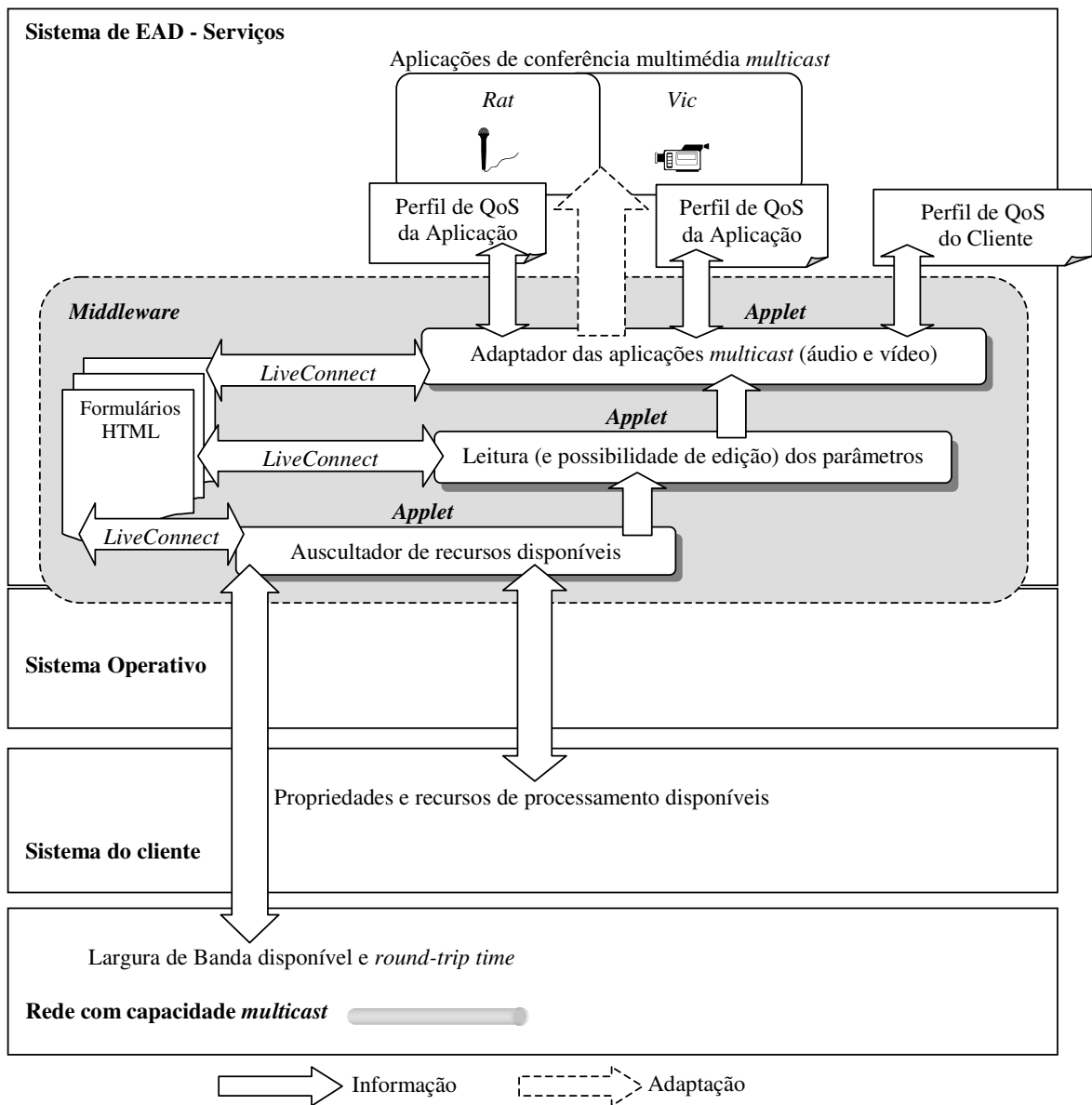


Figura 2 - Arquitectura do sistema adaptativo de comunicação *multicast* desenvolvido.

avaliar as condições de interligação e processamento. Os valores aferidos, em parâmetros de QoS da rede e do sistema considerados fundamentais, como sejam: a largura de banda disponível, o *round-trip time* (*rtt*), a carga do processador e a memória disponível; são os *inputs* para o módulo que calcula o modo de adaptação que melhor servirá o sistema de EAD e o grupo *multicast*.

5.1 Características do Sistema de EAD

O sistema desenvolvido está preparado para fornecer vários níveis de serviço:

- faculdade virtual, baseada numa interface *Web*, com usabilidade profundamente estudada e apurada, de modo a servir de ponto de partida e chegada aos conteúdos disponíveis, centralizando as demandas e organizando as respostas, conduzindo alunos e professores aos serviços disponibilizados de forma eficaz e eficiente;
- registo, autenticação e manutenção de estado dos agentes educativos, alunos e tutores momente;
- gestão/manutenção/calendarização das sessões *multicast* originadas pelo sistema de educação à distância;

- acesso a material pedagógico assincronamente, como *multicast* de gravações de aulas, apresentações diferidas, documentação multimédia, etc.;
- *multicast* em tempo real de texto, áudio e videoconferências, para grupos de utilizadores dispersos na Internet, com acesso adaptativo para qualidade de serviço diferenciada nos clientes receptores e clientes receptores/emissores;
- disponibilização de ferramentas de desenvolvimento de relações de comunidade e espaços de trabalho partilhado como sendo, *whiteboard multicast*, fóruns e *chats* (textuais e gráficos) ou apresentação de *slides*.

As funcionalidades que dependem de um sistema de informação com manutenção de bases de dados *on-line* foram desenvolvidas em MySQL/PHP (www.php.net).

Uma ilustração da interface *web* desenvolvida pode ser observada na Figura 3, o sistema on-line está acessível em versão experimental em <http://www.esa.ipb.pt/multicast>.

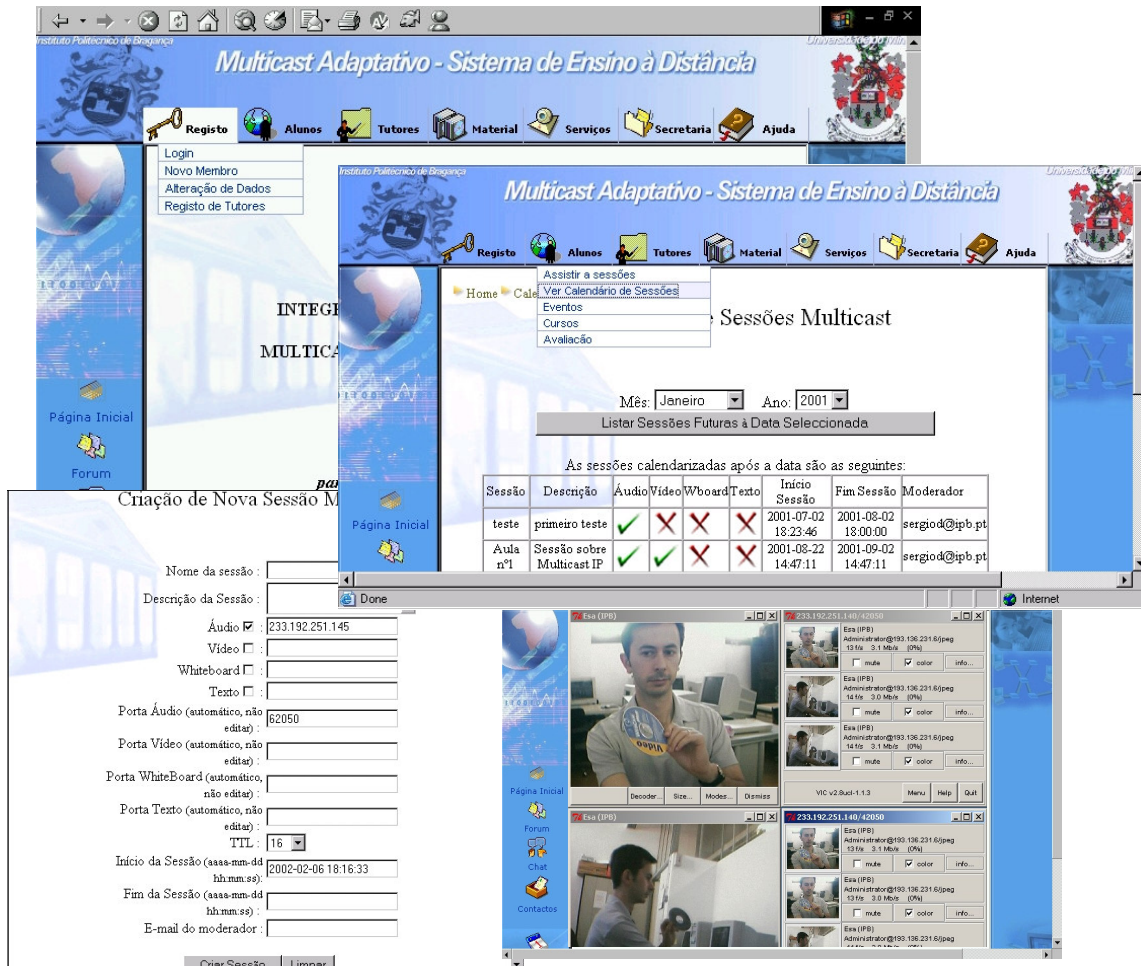


Figura 3 - Aspectos da interface *web* do sistema de EAD desenvolvido.

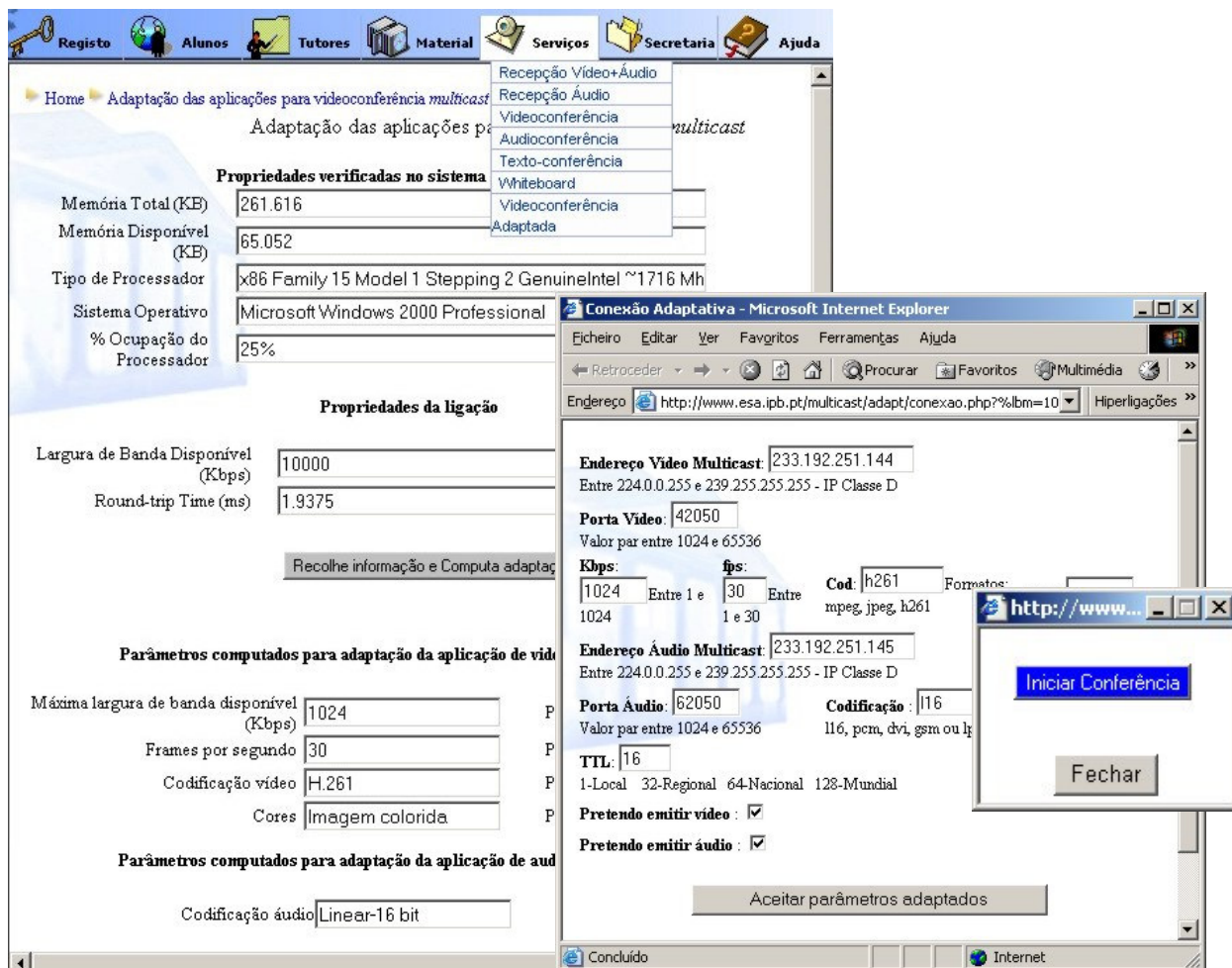


Figura 4 - Monitorização de QoS no novo emissor e computação da adaptação a empregar nas aplicações de áudio e videoconferência.

5.2 Serviço de Videoconferência *Multicast* com QoS Adaptada

No caso da participação activa, o e-aluno deverá possuir as aplicações *multicast* instaladas na sua máquina e devidamente inscritas na variável de ambiente PATH. Estas serão invocadas e parametrizadas pelo sistema de EAD aqui em exposição, tudo de forma transparente. Ainda assim, um processo mais exigente que a perspectiva passiva, pois necessita de possuir o hardware de emissão devidamente configurado e funcional sempre que queira emitir, algo que pode não ser trivial para a maioria dos participantes.

Módulos em *java* e *javascript*, veiculados com as páginas HTML, encarregam-se de auscultar o meio e o sistema cliente por forma a obterem a informação necessária para decidir a adaptação a aplicar casuisticamente. O processo transparente permite, no

entanto, que o utilizador visualize as fases da adaptação como se pretende representar na Figura 4.

Os *applets* usados para recolher a informação relevante visando estabelecer o perfil de QoS do cliente necessitam de privilégios de segurança adicionais, por exemplo para executar aplicações ou escrever ficheiros temporários na máquina do cliente, consequentemente será exposta uma janela para requerer a autorização explícita do utilizador que se faz acompanhar da amostragem de um certificado de segurança (que para este trabalho de investigação é de tipo teste).

A recolha dos indicadores de disponibilidade dos recursos é feita por intermédio de aplicações auxiliares, normalmente de sistema ou comandos internos, que permitem escrever em ficheiros temporários a listagem dos recursos de processamento disponíveis num determinado momento. Nesses ficheiros é possível posteriormente identificar e recolher os indicadores dotados de significado para o trabalho, como o tipo de processador a sua carga efectiva e o estado da memória. A tarefa de encetar o processo de auto-

avaliação e recolha dos indicadores é da responsabilidade do *applet Auscultador*, que obviamente necessita de ver concedidos os já aludidos privilégios adicionais de segurança.

Quanto às métricas que avaliam as condições de interligação, estas são obtidas por média móvel de medições de desempenho em transações de datagramas entre o sistema do e-aluno e do e-tutor. Especificamente no sentido de avaliar a largura de banda disponível e o *rtt*.

A adaptação das aplicações é computada em função do perfil de QoS determinado para cada novo membro *multicast* activo. O resultado da computação emanará um conjunto de pré-parametizações estratificadas por modos qualitativos (a desenvolver em 5.3) que ajustarão as aplicações para um funcionamento eficaz e eficiente no âmbito das conferências típicas do processo de ensino à distância.

O módulo de *middleware*, provedor de adaptabilidade, é constituído por cinco componentes básicos (ver como complemento a Figura 2):

1. *Applet* prospector de condições e calculador do modo de adaptação - *Auscultador.class*;
2. Formulário HTML para visualização das propriedades e recursos disponíveis no sistema;
3. *Applet* que lê os parâmetros do formulário para os passar ao *applet* (sub-módulo) seguinte - *leParametros.class*;
4. Formulário HTML para visualização/edição da parametrização adaptativa e lançamento do módulo seguinte;
5. *Applet* de iniciação das aplicações *multicast* - *IniciaApAdaptada.class*.

As transações de informação necessárias para a colaboração entre estes sub-módulos foram implementadas com recurso à tecnologia *LiveConnect*¹. A necessidade de passagem de parâmetros aos *applets* é mais notória no *applet* de iniciação das ferramentas *multicast* que, como se pode ver na Figura 4, tem a sua parametrização dependente dos resultados da monitorização de QoS. Este *applet*, que é o último da cadeia de controlo, recebe os resultados da computação de adaptação consciente e/ou as alterações *ad hoc*. Estas últimas desejavelmente introduzidas por utilizadores habilitados. Os parâmetros finais são editáveis (dentro da gama de possibilidades aceitáveis), conferindo ao utilizador o controlo na parametrização

¹ Descrita em java.sun.com

se este dispensar total ou parcialmente a adaptabilidade.

O seguinte trecho de código Java deste *applet* mostra a composição dos comandos a executar no SO do cliente. De acordo com o descrito na secção 4, relativamente à sintaxe de pré-parametização das aplicações *multicast* envolvidas, os parâmetros incluídos em cada uma das variáveis irão modelar o funcionamento da aplicação em prol dos níveis de QoS da sessão de *e-learning* que assim se inicia.

```
execcommand1 = "vic -t "+val_ttl+" -B "+val_lbm+param_cor+" -f "+val_cdv+" -F "+val_fps+" -X transmitOnStartup="+val_video+" "+val_enderecov+"/ "+val_portav;

execcommand2 = "rat -t "+val_ttl+" -f "+val_cda+"/dvi/gsm "+val_enderecoa+"/ "+val_portaa;
```

```
public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    if (
        (e.getActionCommand()).equals("Iniciar Conferência")) {
        try{
            PrivilegeManager.enablePrivilege("UniversalExecAccess"); // necessário no NN
            catch(Exception cnfe) {
                System.out.println("netscape.security.PrivilegeManager class not found");
            }
            try {
                Process procl =
                    Runtime.getRuntime().exec(execcommand1) ;
                Process proc2 =
                    Runtime.getRuntime().exec(execcommand2) ;
            }
            catch(IOException ieo) {
                System.out.println("Impossível abrir" + execcommand1 + " ou " + execcommand2);
            }
        }
    }
}
```

O sistema desenvolvido não visa adaptar-se constantemente às variações de QoS da rede, numa adaptação dinâmica *on-the-fly* [22]. Com efeito, o trabalho do *middleware* termina quando a aplicação *multicast* é iniciada. Pretende-se que a sessão de *e-learning* decorra com estabilidade e como tal, durante a emissão não há reconfigurações. No caso de as condições se alterarem substancialmente o processo de adaptação deverá ser reiniciado. Dadas as reduzidas dimensões do grupo *multicast*, alvo deste trabalho e mais comum em *e-learning*, torna-se mais importante adaptar os agentes educativos, sobretudo os novos membros interactivos (receptores+emissores) em função do seu perfil de QoS. Assim, a QoS existente para uma determinada ligação é gerida de forma a sustentar a participação dos e-alunos de uma sub-rede (um campus universitário, por exemplo) de forma satisfatória e consentânea com os requisitos da comunicação interactiva do processo de ensino.

MODO	LARGURA DE BANDA MÁXIMA	TAXA DE FRAMES	CODEC VÍDEO	CORES	CODEC ÁUDIO
5	1 Mbps	30 fps	H.261	Sim	L16
4	512 Kbps	25 fps	H.261	Sim	PCM
3	256 Kbps	20 fps	H.261	Sim	DVI
2	128 Kbps	15 fps	H.263	Sim	GSM
1	64 Kbps	10 fps	H.263	Não	LPC

Tabela 1 - Modos de adaptação da QoS das aplicações de áudio e vídeo.

5.3 Computação da Adaptabilidade

Os parâmetros de adaptação são calculados com recurso a uma fórmula que produzirá um modo de adaptação a usar pelo novo membro *multicast* activo. Os excessos ou defeitos são integrados algoritmicamente, respectivamente nos limites superior e inferior. Eis a fórmula para o cálculo da adaptação:

$$M = (\text{int}) (B/(\text{RTT}/2) + ML/P) *K \quad (1)$$

onde:

M - Modo de ajuste seleccionado (Tabela 1);

B - Largura de banda em Kbps;

RTT - *round-trip time* em ms;

ML - Memória livre em MB;

P - Taxa de ocupação processador;

K - 1/50 - constante com o fim reduzir o resultado à escala que gradua os modos (1 a 5).

5.4 Avaliação dos Resultados

O sistema de EAD desenvolvido, baseado em aplicações *multicast* adaptadas por *middleware*, mais concretamente o protótipo testado, apresentou bons indicadores de desempenho, que permitem validar o

modelo de arquitectura seguido. As Figuras 5 e 6 demonstram a validação dos modelos de adaptação usados, os formatos de codificação usados e todos os outros parâmetros que perfazem o modo de adaptação requerem efectivamente um nível de QoS diferenciado e gradua-se adequadamente.

Os testes efectuados para avaliar a escalabilidade propiciada pelo sistema adaptativo tiveram como referência o cenário mais provável em ensino à distância, patente na Figura 5 e descrito como "Qualidade Máxima, Cena Pouco Movimentada". Assim, e para a transmissão vídeo, a mais exigente, usaram-se os valores de taxa de transmissão neste cenário, em oposição aos constantes 128 Kbps que o *vic* usa por defeito para emitir.

A concessão selectiva de recursos às aplicações *multicast* revelou-se eficaz em termos de escalabilidade e aproveitamento dos recursos disponíveis. A política seguida privilegia os membros não flutuantes, bem como aqueles que dispõem de recursos que assegurem a profícua utilização de concessão de largura de banda. Em escassez de recursos as aplicações sujeitam-se aos mínimos funcionais, em abundância beneficiam dos recursos disponíveis.

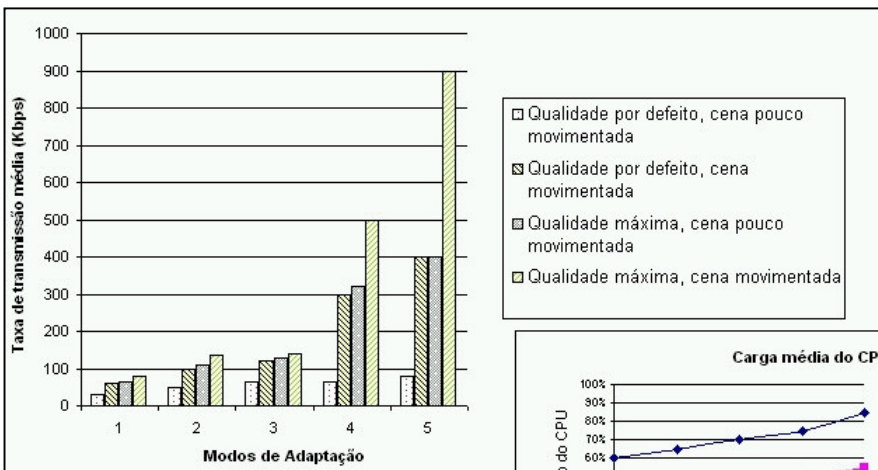


Figura 6 - Teste aos modos de adaptação em vários sistemas de processamento.

Figura 5 - Teste aos modos de adaptação em termos de largura de banda consumida vistos em diferentes cenários prováveis.

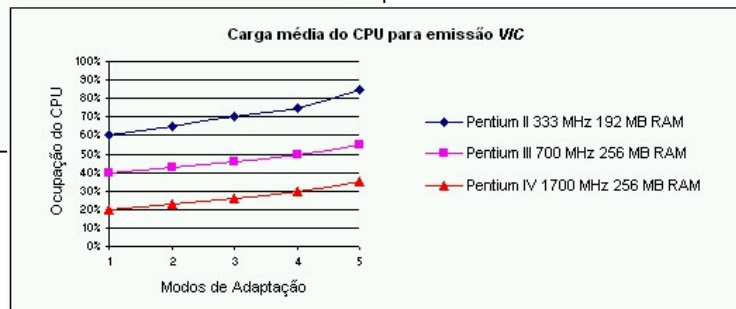


Figura 7 - Simulação de escalabilidade do grupo numa sub-rede sem aplicação de adaptabilidade.



Figura 8 - Simulação de escalabilidade do grupo na mesma sub-rede com aplicação de adaptabilidade.



Figura 9 - Modos de adaptação produzidos para cada novo membro emissor do grupo *multicast* da figura anterior.



Os resultados positivos, obtidos por simulação, em matérias como a escalabilidade dos grupos e a preservação dos recursos para os parâmetros críticos das aplicações estão evidenciados nas Figuras 7, 8 e 9.

Apesar das aplicações serem tolerantes à esporádica degradação da QoS, variando o nível de tolerância para cada media, há parâmetros de qualidade que não podem ser descontinuados, sob pena de destituir de eficácia a comunicação que é fundamental em qualquer processo de ensino. Por exemplo, 10 *fps* deverá ser o mínimo exigível para a transmissão vídeo, logo não fará sentido despendere os recursos disponíveis na obtenção da qualidade perfeita da imagem se, com isso, aniquilarmos a percepção do acompanhamento visual de uma experiência laboratorial.

Através da limitação da utilização de largura de banda, pela escolha de formatos de codificação adequados às necessidades específicas das conferências para EAD, ou bem por limitação explicitada por parametrização, podem-se utilizar mais racionalmente os recursos, impedindo situações de exaustão e consequente interrupção da QoS, pondo em causa a eficácia do processo pedagógico à distância.

6. Conclusões

O trabalho desenvolvido procurou integrar, na sua forma optimizada, um conjunto de soluções conformadas num sistema de ensino à distância baseado em tecnologia *multicast* com preservação de QoS por adaptabilidade.

A adaptação por *middleware* [12, 13] é uma abordagem recente, que parece ajustar-se às características de heterogeneidade da Internet e aos requisitos das novas aplicações de comunicação em grupo. Operar em multiplataforma e ser independente das aplicações que controla são características de enaltecer. Porém, as aplicações *multicast* disponíveis, carecem de formas de minuciosa parametrização exterior que possibilite a modelação eficaz do seu funcionamento.

De acordo com os objectivos traçados inicialmente, esperava-se contribuir na implementação de práticas "ecológicas" no ambiente da Internet, i.e., utilizar de forma mais eficiente os recursos disponíveis e prevenir a sua exaustão.

As contribuições deste trabalho resumem-se a:

- integração adaptativa de aplicações *multicast* para conferência multimédia interactiva;
- melhoramento da usabilidade das aplicações *multicast*;
- desenvolvimento e promoção do ensino à distância;
- desenvolvimento de aplicações *multicast* "conscientes" da qualidade de serviço nos três quadrantes: rede, aplicação e máquina.

O sistema desenvolvido, ao integrar ferramentas de cooperação ou de espaço de trabalho partilhado, pode igualmente fomentar o espírito de colaboração e trabalho em grupo.

Referências

- [1] G. Huston, *Next Steps for the IP QoS Architecture*, IETF, RFC 2990, November 2000.
- [2] S. Deering, *Host Extensions for IP Multicasting*, IETF, RFC 1112, August 1989.
- [3] X. Xiao, L. Ni, *Internet QoS: A Big Picture*, IEEE Network Magazine, March 1999.
- [4] G. Manimaran, P. Mohapatra, *Multicasting: An Enabling Technology*, IEEE Network, vol. 17 n°1, January 2000.
- [5] S. Bhatti, G. Knight, *Enabling QoS Adaptation Decisions for Internet Applications*, Computer Science Department, University College of London, 1999.
- [6] Sérgio Deusdado, *Integração Adaptativa de Aplicações Multicast para Conferência Multimídia*, Master Thesis, Departamento de Informática, Universidade do Minho, July 2002.
- [7] K. Maly, H.A. Wahab, C.M. Overstreet, A. Gupta, M. Kumar, R. Srivatsava, *Issues in Scaling Multimedia Collaboration Tools for Remote Instruction*, Dept. of Computer Sciences, Old Dominion University, USA, November 1994.
- [8] A. Nevin, K. Smith, A Udvari-Solner, *Cooperative group learning and higher education*, In J. S. Thousand, R. A. Villa, & A. I. Nevin (Eds.), *Creativity and collaborative learning: A practical guide to empowering students and teachers* (pp. 115-127). Baltimore, MD: Paul H. Brookes Publishing Co, 1994.
- [9] C. Steeples, C. Unsworth, M. Bryson, P Goodyear, P. Riding, S. Fowell, P. Levy, C. Duffy Celia, *Technological Support for Teaching and Learning: Computer-Mediated Communications in Higher Education (CMC in HE)*, Computer & Education, 1996.
- [10] D. Skillicorn, *Using Distributed Hypermedia for Collaborative Learning in Universities*, The Computer Journal, Vol. 36, No. 6, pp. 471-482, December 1996.
- [11] M. Martinez, C.Victor Bunderson, *Foundations for Personalized Web Learning Environments*, ALN Magazine Volume 4, Issue 2, December 2000.
- [12] B. Li, D. Xu, K. Naharstedt, J. Liu, *End-to-End QoS Support for Adaptive Applications Over the Internet*, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1998.
- [13] Baochun Li, *Agilos: A middleware control architecture for application-aware quality of service adaptations*, PhD thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2000.
- [14] I. Cheng, A. Basu, L. Chen, *QoS Specification and Monitoring for Multimedia Delivery in TeleLearning*, Department of Computer Science, University of Alberta, Edmonton, Canada, 1999.
- [15] V. Hardman, M. A. Sasse & I. Kouvelas, *Successful Multi-party Audio Communication over the Internet*, Communications of the ACM, 1995.
- [16] Steve McCanne, Van Jacobson, *VIC : A Flexible Framework for Packet Video*, ACM Multimedia, November 1995.
- [17] *Java™ Media Framework API Guide*, Sun Microsystems, JMF 2.0 FCS, November 1999.
- [18] Dimitrios Miras, *Network QoS Needs of Internet2 Applications - A Survey*, I2-QoS Working Group, Computer Science Department, UCL, UK, May 2002.
- [19] J. Bolot, H. Crépin, A. Garcia, *Analysis of Audio Packet Loss in the Internet*, INRIA, France, 1995.
- [20] A. J. Ahumada, C.H. Null, *Image quality: A Multidimensional Problem*, In A. B. Watson, ed., *Digital Images and Human Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- [21] Lj. Josifovski, S. Gievaska, D. Davcev, *Frame Rate Control in a Multimedia Distance Learning System*, Faculty of Electrical Engineering , " St. Kiril&Metodji" University, Skopje, Macedonia, 1994.
- [22] O. Layaida , D. Hagimont, *Dynamic Adaptation in Distributed Multimedia Applications*, Thème 1 Réseaux et systèmes, Projet Sardes, Rapport Technique n° 0266, INRIA, August 2002.