Adaptação de fluxos contínuos UDP sobre redes IEEE 802.11b

Arlindo Flávio da Conceição[1] [*], Fabio Kon[1] [†]

[1]Grupo de Sistemas Distribuídos
Departamento de Ciência da Computação
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo (DCC - IME/USP)

`http://gsd.ime.usp.br`
`{arlindo,kon}@ime.usp.br`

Abstract. *This work evaluates the behavior of IEEE 802.11b networks for UDP streaming. Our approach was empirical and intend to supply a background for future design of adaptive mechanisms for video streaming over IEEE 802.11b. Also, we address specific problems, for example the interference between mobile units. We conclude with a brief argumentation about how to apply adaptive mechanisms in streaming over IEEE 802.11b.*

Resumo. *Este trabalho traz resultados sobre o comportamento do protocolo IEEE 802.11b para distribuição de fluxos contínuos UDP. Os resultados foram obtidos de maneira empírica e visam fornecer um alicerce para a construção de mecanismos adaptativos para distribuição de vídeo sobre redes IEEE 802.11b. Alguns problemas específicos são demonstrados, como por exemplo a interferência entre unidades móveis. Apresentamos também uma breve discussão sobre como mecanismos adaptativos podem ser utilizados.*

1. Introdução

A transmissão de vídeo sobre redes sem fio oferece mobilidade aos usuário de aplicações multimídia. A mobilidade agrega valor a aplicações importantes como a de vídeo-conferência. Porém, enquanto a distribuição de vídeo requer alta banda passante, as redes sem fio caracterizam-se pela menor capacidade de transmissão.

Este problema, alta demanda *versus* menor capacidade de transmissão, tem sido mitigado pela constante evolução das tecnologias de vídeo e de rede. Dentre estas tecnologias, duas tornaram-se padrões *de facto* e merecem destaque: as redes locais sem fio baseadas no protocolo IEEE 802.11b [IEEE 802.11, 2003] e o padrão de codificação MPEG [Moving Picture Experts Group, 2003].

Assim como as tecnologias isoladas, as aplicações para distribuição de vídeo também evoluíram e, em geral, adotaram protocolos construídos sobre o protocolo UDP para a transmissão de quadros de vídeo [Schulzrinne et al., 2000, Kon et al., 1998, Chen, 1997, Chen et al., 1995, Bolosky et al., 1997, McCanne and Jacobson, 1995].

A escolha de UDP, um protocolo não confiável, deve-se principalmente a dois fatores. Primeiro, UDP é mais leve do que os protocolos confiáveis, sendo mais leve permite alcançar maiores taxas de transmissão, o que é importante para aplicações de vídeo. Segundo, em fluxos contínuos de vídeo, pequenas taxas de perdas de dados são aceitáveis e podem não comprometer significativamente a exibição do vídeo.

O objetivo deste trabalho é buscar diretrizes para o projeto e desenvolvimento de algoritmos adaptativos para transmissão de vídeo sobre redes sem fio. Para isto, os esforços concentram-se em investigar a transmissão de fluxos contínuos de pacotes UDP (vídeo) sobre redes IEEE 802.11b. A abordagem seguida para encontrar tais diretrizes foi empírica.

A seguir, a Seção 2 apresenta alguns fatores importantes para o projeto de aplicações de transmissão de vídeo sobre IEEE 802.11b. A Seção 3 apresenta alguns complicadores inerentes a tais aplicações. A Seção 4 apresenta a metodologia usada nos experimentos, os experimentos são apresentados nas Seções 5 e 6. A Seção 6 também apresenta brevemente quais, onde e como os mecanismos adaptativos podem ser usados. Por fim, a Seção 7 apresenta as conclusões e o horizonte de trabalhos futuros.

2. Fatores importantes

Inúmeros fatores podem influenciar o comportamento da transmissão de pacotes UDP sobre redes IEEE 802.11b. Dentre os principais fatores estão:

Implementação da rede. O projeto de uma rede IEEE 802.11b é, obviamente, um fator importante. A capacidade

[*]Com o apoio financeiro do CNPq, processo 141415/2002-9.
[†]Com o apoio financeiro da Fapesp, processo 01/03861-0.

da rede, as áreas de sombra, o número de pontos de acesso e o número de usuários são todos fatores que compõe o projeto de rede IEEE 802.11b e influenciam o comportamento das aplicações diretamente. O modelo de utilização da rede também é importante, isto inclui, por exemplo, o modelo de mobilidade e as aplicações utilizadas.

Configuração da rede. As redes IEEE 802.11b são configuráveis. Dentre os parâmetros de configuração mais importantes para distribuição de fluxos contínuos estão:

- **Fragmentação:** os pacotes em IEEE 802.11b são divididos em pedaços menores para transmissão pela camada MAC. Estes pedaços são chamados de **quadros**. A fragmentação de pacotes em quadros (o tamanho dos quadros) é controlada pelo parâmetro *Fragmentation Threshold*, cujo valor padrão é 2346 B e o valor máximo é 4096 B. Este parâmetro influencia diretamente na taxa de perda de pacotes, pois quanto maior o seu valor, maiores serão os quadros e maior será a chance de colisões e interferências.
- **Requisição do canal de transmissão:** o parâmetro *RTS Threshold* define o tamanho máximo de um quadro que pode ser enviado sem que seja executado um mecanismo de autorização prévia. Para enviar quadros maiores do que *RTS Threshold*, a unidade transmissora envia uma mensagem *RTS* (*Request To Send*) e aguarda uma mensagem *CTS* (*Clear To Send*) para só então enviar o quadro. Este mecanismo é conhecido como *RTS/CTS* e serve para evitar colisões. O valor *default* de *RTS Threshold* é 2347 B. Quanto menor o valor de *RTS Threshold*, maior a utilização do mecanismo *RTS/CTS* e maior a troca de mensagens, o que implica sobrecargas que reduzem o aproveitamento da rede. Por outro lado, a utilização do mecanismo reduz a incidência de colisões, reduzindo a perda de pacotes.
- **Reenvio de quadros:** antes de um quadro ser dado por perdido, o IEEE 802.11b tenta reenvia-lo. O número de tentativas de reenvio é definido em função do tamanho do quadro. Existem dois limites para o número de tentativas: *short retry limit* e *long retry limit*. O primeiro se aplica a quadros menores que o *RTS Threshold*, o segundo aos maiores. Os valores usuais de *short retry limit* e de *long retry limit* são, respectivamente, 4 e 7. Resumindo, um quadro, que compõe um pacote, é reenviado pelo menos 4 vezes antes de se notificar ao protocolo de nível superior a perda do pacote.

Outros parâmetros podem ser consultados no capítulo 17 de [Gast, 2002] ou nas especificações do protocolo.

Características dos fluxos. Na transmissão de fluxos contínuos existem dois fatores fundamentais e fortemente relacionados: o tamanho dos pacotes e o intervalo entre pacotes (freqüência com que estes pacotes são injetados na rede). Como em IEEE 802.11b os pacotes são fragmentados em quadros, pacotes grandes implicam maior número de quadros ou quadros maiores, aumentando a probabilidade de erro. Por outro lado, pacotes pequenos aumentam a sobrecarga dos cabeçalhos. Intervalos entre pacotes muito grandes implicam pacotes grandes e intervalos pequenos sobrecarregam as atividades de envio e recepção. É preciso, portanto, encontrar uma relação satisfatória entre este dois parâmetros da transmissão.

3. Complicadores

Nas aplicações para distribuição de vídeo sobre redes sem fio, existem, grosso modo, dois grandes grupos de problemas: os inerentes à rede e os inerentes às aplicações de vídeo. Sem subestimar a importância e dificuldade dos problemas intrínsicos à distribuição de vídeo, como por exemplo os requisitos de tempo real, este artigo concentra-se nos problemas de rede.

Dentre os principais complicadores para a transmissão de UDP sobre redes IEEE 802.11b estão:

Perda de pacotes. As redes sem fio apresentam taxas maiores de perdas de pacotes do que as redes com fio. Isto deve-se principalmente a maior taxa de desvanecimento do sinal e a maior susceptibilidade do canal a interferências [Schiller, 2000].

Áreas de sombra. As redes sem fio, infra-estruturadas ou *ad hoc*, estão sujeitas a áreas mal cobertas pela rede: as áreas de sombra. Nestas áreas, as taxas de transferência são inferiores às obtidas em áreas bem cobertas, como será visto na Seção 5.1.

Ausência de mecanismos de controle. O protocolo mais utilizado em redes locais sem fio é o TCP, que possui rígidos mecanismos de controle de congestionamento. Ao usar UDP, um protocolo não confiável e sem mecanismos de controle de congestionamento, é possível levar a rede ao colapso (tornando-a inoperante), como será mostrado na Seção 5.2.

Compartilhamento do canal. Em redes IEEE 802.11b as unidades móveis compartilham as faixas de freqüência. Deste modo, uma unidade móvel que faça mal uso da rede pode afetar, e irá afetar, a qualidade do serviço ofertado aos outros usuários, como será observado na Seção 5.2.

Diferentes implementações. O comportamento das redes IEEE 802.11b pode variar significativamente em função do fabricante da interface de rede e da máquina utilizada. Este aspecto é explorado na Seção 5.3.

Variabilidade. Execuções distintas de transmissões UDP sobre IEEE 802.11b podem apresentar grandes variações de comportamento. Redes IEEE 802.11b são de difícil previsibilidade, talvez devido à característica aleatória da colisão de pacotes, como será visto na Seção 5.4.

Os últimos quatro complicadores não são exclusivos das redes sem fio, mas são potencializados pelas características das redes IEEE 802.11b e da computação móvel. Existem ainda outros aspectos que precisam ser levados em conta. Qual o impacto da utilização de mecanismos seguros na transmissão? Como é o comportamento dos fluxos UDP durante operações de *handoff*? Mas o estudo destes tópicos, entre outros que representam uma extensão deste trabalho, será tema de trabalhos futuros.

4. Experimentos

Os experimentos foram realizados usando um gerador de fluxos contínuos [da Conceição, 2003] escrito na linguagem Java. O gerador de fluxos implementa o modelo cliente/servidor, onde o servidor envia pacotes UDP a taxa constante para as unidades móveis. O servidor de pacotes UDP foi conectado à mesma subrede do ponto de acesso, por cabeamento Ethernet de 100 Mbps, e as unidades móveis foram conectadas ao ponto de acesso por cartões PCMCIA IEEE 802.11b.

O servidor usado foi um Dual-Pentium III, com 2 processadores de 1 GHz e 512 MB de memória. Sistema operacional Linux, distribuição Debian. As unidades móveis usadas foram computadores portáteis Compaq. Foram usados três unidades móveis:

- Unidade móvel A. Pentium III, 800 MHz e 128 MB de memória. Sistema operacional Windows 98
- Unidade móvel B. Pentium III, 1 GHz e 256 MB de memória. Sistema operacional Windows 2000
- Unidade móvel C. Idêntico ao computador B

Os modelos de cartões PCMCIA utilizados foram: Samsung MagicLAN (modelo SWL-2100N), Lucent WaveLAN (modelo PC24E-H-FC) e 3Com PC Card (modelo 3CRWE62092B). O ponto de acesso usado foi de fabricação Samsung, modelo SWL-4000 AP.

Além do gerador de fluxos escrito em Java, foi usado o *benchmark* Netperf [Hewlett-Packard Staff, 2003], ele foi desenvolvido em C nos laboratórios da HP e permite dimensionar vários aspectos de redes e protocolos. O Netperf foi escolhido por ser simples, bastante utilizado pela comunidade de rede e estar sendo incorporado à distribuição Debian do Linux.

Um dos principais usos do Netperf foi na validação dos resultados obtidos com o gerador de fluxos escrito em Java. O fato de ambos apresentarem resultados muito similares eliminou dúvidas ainda latentes sobre a implementação feita por Java das interfaces de programação de rede. Tanto no servidor, quanto nos clientes, foi usada a distribuição de Java 1.4.1 fornecida pela Sun.

As taxas de transmissão mencionadas nos experimentos sempre referem-se às taxas de transmissão de carga útil, ou seja, não incluem os cabeçalhos UDP/IP. No ambiente de testes e durante os experimentos a maior taxa de transmissão alcançada pelas ferramentas (Netperf e o gerador de fluxos) foi de aproximadamente 5,6 Mbps. Ou seja, a carga útil máxima é de aproximadamente 5,6 Mbps.

Cada experimento foi executado pelo menos 5 vezes. Tomou-se o cuidado de apresentar apenas resultados consistentes, ou seja, aqueles experimentos que, mesmo com alta variação, foram coerentes em todas as execuções. Os experimentos apresentados foram escolhidos entre o grupo de execuções por melhor representar o caso médio das medições ou por apresentar alguma anomalia relevante.

5. Problemas

A Seção 3 enumerou alguns complicadores para transmissão de fluxos contínuos UDP sobre 802.11b, esta seção mostra problemas reais decorrentes dos complicadores.

5.1. Tamanho dos pacotes

O tamanho dos pacotes é um dos fatores de maior influência sobre a qualidade de uma transmissão. Quanto maiores os pacotes, maiores serão os quadros transmitidos pela camada MAC da rede sem fio, ou maior será o número de quadros. Em ambos os casos aumenta-se a probabilidade de perda de um pacote.

Contudo, a influência do tamanho dos pacotes na taxa de perdas só é efetivamente observada em situações limites. Em situações desejáveis, como a de rede ociosa e unidades móveis bem cobertas pelo sinal da rede sem fio, pode-se usar pacotes grandes sem experimentar elevadas taxas de erro. Nestas situações observa-se taxas de perdas de pacotes muito próximas de 0%. Porém, em situações menos confortáveis, pacotes maiores implicam taxas de perda maiores.

As Figuras 1, 2 e 3 mostram o comportamento de dois fluxos de 400 Kbps enviados do servidor para um mesmo computador móvel (computador B com cartão Samsung, vide Seção 4 para detalhes da configuração). Um dos fluxos é de 25 pacotes por segundo, onde cada pacote tem carga útil de 2000 B, e o outro é de 50 pacotes por segundo, com carga útil de 1000 B por pacote.

Em condições confortáveis, os fluxos comportam-se muito bem, ambos atingindo as taxas de transmissão desejadas, como mostra a Figura 1.

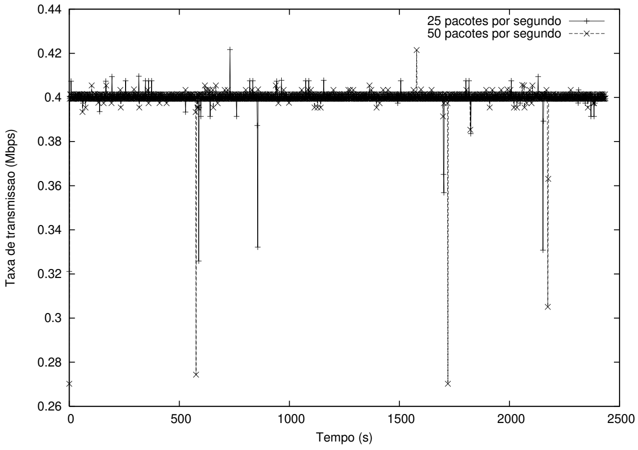

Figura 1: Fluxos em rede ociosa.

Porém, o fluxo composto por pacotes menores comporta-se melhor quando a rede esta sobrecarregada. No experimento da Figura 2, a rede é sobrecarregada por um fluxo de 5,5 Mbps em dois momentos. Os dois momentos de sobrecarga coincidem com os colapsos do fluxo de pacotes maiores. Pode-se notar claramente o melhor comportamento do fluxo composto por pacotes menores.

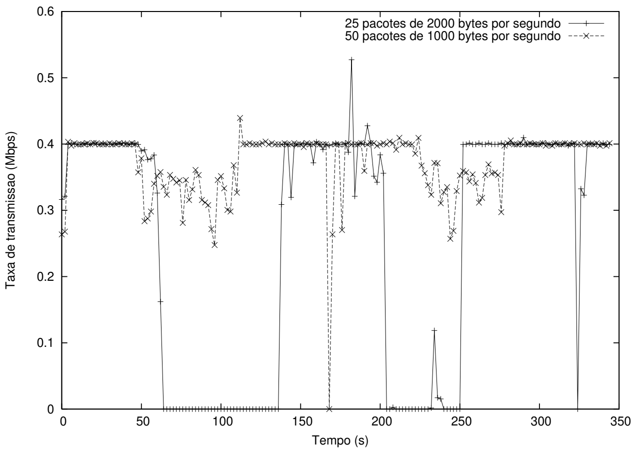

Figura 2: Fluxos em rede sobrecarregada.

Efeito semelhante ocorre quando as unidades móveis são deslocadas para áreas de sombra. A Figura 3 também mostra melhor comportamento dos fluxos de pacotes menores.

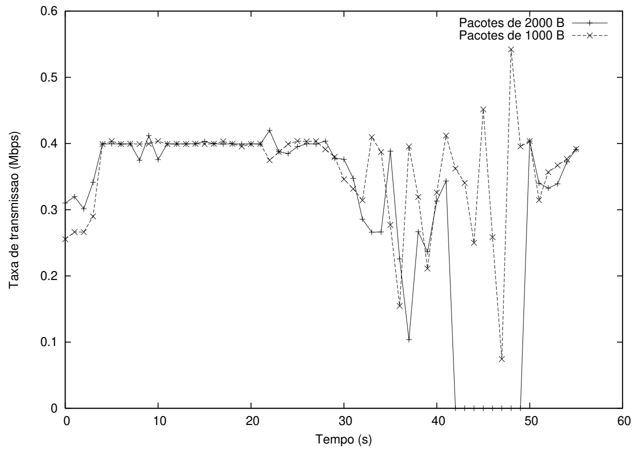

Figura 3: Fluxos em área de sombra.

Pacotes pequenos, porém, devem ser usados com cuidado. A injeção de pacotes na rede a elevadas taxas de pacotes por segundo pode levar a sérios problemas. Observamos o colapso do ponto de acesso durante alguns experimentos e também observamos o travamento do processo emissor de pacotes em várias ocasiões. Pacotes muito pequenos também reduzem a eficiência de utilização da rede, reduzindo a banda útil devido a sobrecarga dos cabeçalhos e ao trabalho extra de remontagem dos pacotes.

5.2. Baixo isolamento

Para entender os motivos do baixo isolamento entre clientes IEEE 802.11b é preciso entender como funciona o mecanismo de reenvio de quadros mencionado na Seção 2.

Os pacotes UDP são divididos em unidades de dados menores para transmissão: os quadros. Esta divisão ocorre justamente para que, na ocorrência de uma perda, apenas um quadro precise ser reenviado, não o pacote todo. Segundo a especificação, antes da camada MAC do protocolo IEEE 802.11b notificar a perda de um quadro de dados ao protocolo superior, no caso UDP, o quadro é reenviado de 4 a 7 vezes, dependendo do seu tamanho. Por padrão, quadros maiores que 2347 B são reenviados até 7 vezes e quadros menores até 4 vezes.

O mecanismo de reenvio mascara o impacto real da perda de um quadro. Por exemplo, se um pacote UDP de 3 KB for colocado em um quadro da camada MAC de IEEE 802.11b, a perda deste quadro implica, no melhor caso, o desperdício de 12 KB da banda disponível devido às 4 tentativas de reenvio. Mas há casos onde o desperdício se agrava. Imagine um pacote UDP de 21 KB fragmentado em 7 quadros de 3KB. O pior caso ocorre quando todos os 6 quadros iniciais são transmitidos após 7 retransmissões e o último quadro é perdido. Neste caso, gastaria-se 147 KB de banda ($7 \times 7 \times 3$ KB) e a aplicação não receberá o seu pacote de 21 KB.

Dado que a interface de rádio é compartilhada entre as unidades móveis, o mecanismo de reenvio tem impacto em todo o sistema. Se o mecanismo de reenvio implica desperdício para uns, implicará também redução de banda disponível para outros. O baixo isolamento, mais especificamente o impacto do mecanismos de reenvio nos clientes, pode levar um ponto de acesso ao congestionamento. Obviamente, este congestionamento será tão severo quanto a carga na rede.

A Figura 4 mostra duas transmissões UDP, de 200 Kbps cada. Inicialmente os computadores **B** e **C**, ambos usando cartões Samsung, estão bem cobertos pela rede sem fio em uma área próxima ao ponto de acesso. Então o computador **C** é afastado para uma região mal coberta pelo ponto de acesso. Observa-se pouca, ou nenhuma, influência entre os fluxos.

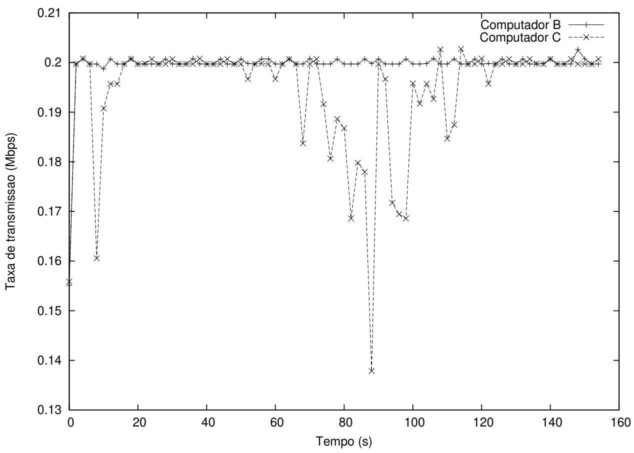

Figura 4: Interferência entre tráfegos de 200 Kbps.

A Figura 5 mostra o mesmo experimento, porém com transmissões de 1Mbps. Observa-se que o tráfego para o computador **B** é fortemente influenciado pelo movimento de **C**. Mas **B** ainda mantém a taxa média de recepção de 1Mbps.

Já na Figura 6, os fluxos são de 2 Mbps. Inicialmente ambos os computadores estão parados, então o computador **B** é afastado do ponto de acesso e trazido ao local inicial. Isto ocorre aproximadamente entre os instantes 100 s e 140 s. Retomada a condição inicial, então o computador **C** é afastado, isto aos 230 s. É importante notar que o computador imóvel também teve sua qualidade de recepção severamente prejudicada, atingindo 100% de perda de pacotes.

Portanto, a interferência entre fluxos é diretamente relacionada com a carga da rede. Isto deve-se, também, as políticas de reenvio de quadros mencionada anteriormente. No experimento da Figura 6, o fluxo de 2 Mbps consiste em pacotes de 10 KB de carga útil enviados a cada 40 ms.

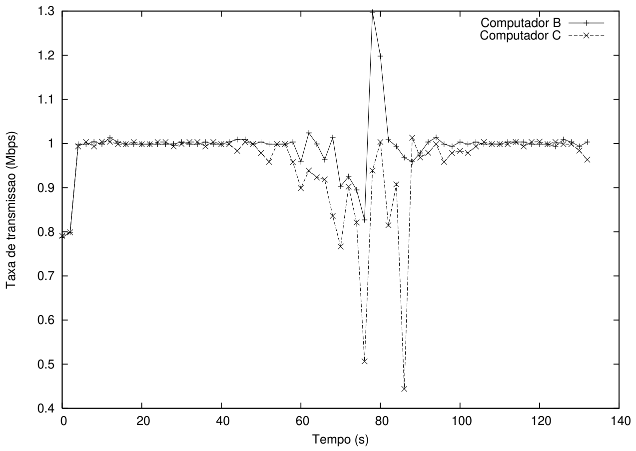

Figura 5: Interferência entre tráfegos de 1 Mbps.

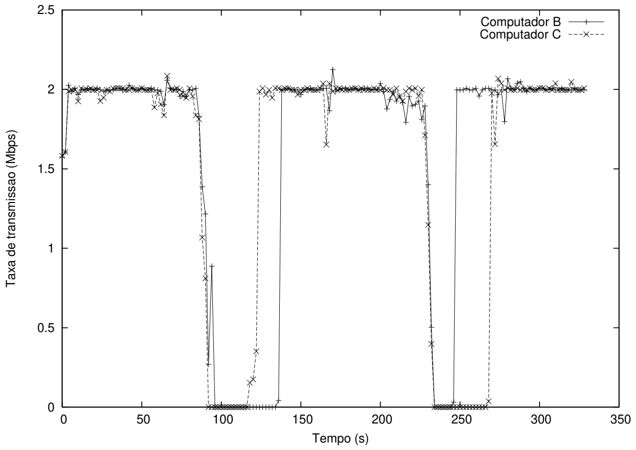

Figura 6: Interferência entre tráfegos de 2 Mbps.

A perda de um pacote implica a perda de pelo menos um quadro de aproximadamente 2,5 KB. A perda de um quadro implica em pelo menos 4 reenvios, ou seja, no melhor caso foram desperdiçados 10 KB de banda por quadro. Como a rede opera a taxa de transmissão próxima do seu limite, a situação de congestionamento é iminente.

Existem outros trabalhos que descrevem comportamentos inesperados, ou indesejáveis, do protocolo IEEE 802.11b. A maioria destes trabalhos, por exemplo [Heusse et al., 2003], concentram-se, no entanto, em redes *ad hoc*.

5.3. Diferença de comportamento entre unidades móveis

O comportamento de uma transmissão sobre IEEE 802.11b pode também ser influenciado pelos componentes da transmissão. A capacidade computacional da unidade móvel, o sistema operacional e a interface de rede são exemplos de componentes que influenciam na transmissão.

A Figura 7 mostra a transmissão de 2,75 Mbps para duas unidades móveis diferentes. O computador **A** usando interface de rede Lucent e o computador **B** usando interface de rede Samsung. O fluxo total foi de 5,5 Mbps, aproximadamente a capacidade da rede.

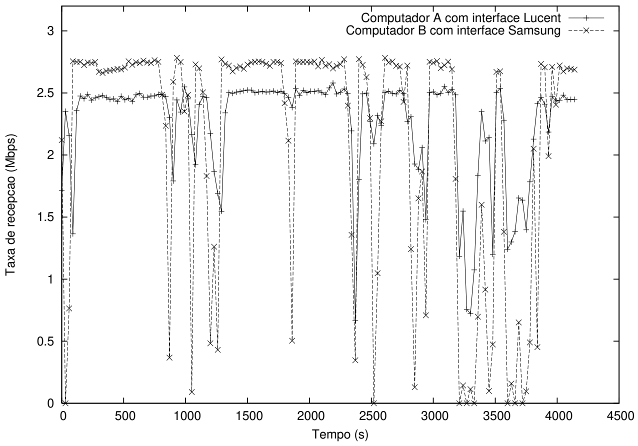

Figura 7: Diferença de comportamento.

Pode-se observar que a configuração do computador **B** atingiu taxas de transferências mais altas do que a do computador **A**. Em contrapartida, as perdas de pacotes são mais severas para o computador **B**. Nesta execução específica, apesar de atingir taxas de recebimento mais altas, o computador **B** recebeu apenas 292,10 Mbits, enquanto o computador **A** recebeu 313,78 Mbits.

Pode-se afirmar que a configuração de **A** funciona melhor na presença de perdas de pacotes, enquanto **B** comporta-se melhor em situações menos severas. A diferença observada pode ser em função de vários fatores, pode-se citar o uso de cartões de rede diferentes, a diferença de processadores ou o uso de sistemas operacionais diferentes.

Observadas as diferenças de comportamento, o experimento foi refeito usando computadores com configurações idênticas, os computadores **B** e **C** com interfaces Samsung. Como era de se esperar, ao usar configurações idênticas não ocorreram diferenças relevantes entre as execuções.

Obter resultados conclusivos sobre a influência da configuração das unidades móveis nos fluxos implicaria avaliar as diferentes, e inúmeras, combinações de configuração. Mas o importante é saber que elas existem.

5.4. Alta variabilidade

Encerrando a seção de problemas, é importante destacar a expressiva variação de comportamento entre execuções. Este foi um problema observado durante a execução dos experimentos. A alta variabilidade das transmissões sobre redes IEEE 802.11b pode ser observada tanto nos experimentos realizados com o gerador de fluxos, quanto nos testes realizados com a ferramenta Netperf. Por exemplo, a Figura 8 mostra três execuções diferentes de um mesmo experimento. Em cada execução é enviado um fluxo de 400 Kbps para a unidade móvel. Inicialmente a rede está ociosa e a unidade móvel está uma região bem coberta pela rede. Após alguns segundos, desloca-se a unidade móvel para um local afastado do ponto de acesso. Observe a grande diferença entre as execuções. A variação de comportamento também ocorre durante congestionamentos, onde é ainda mais complicado comparar execuções[1].

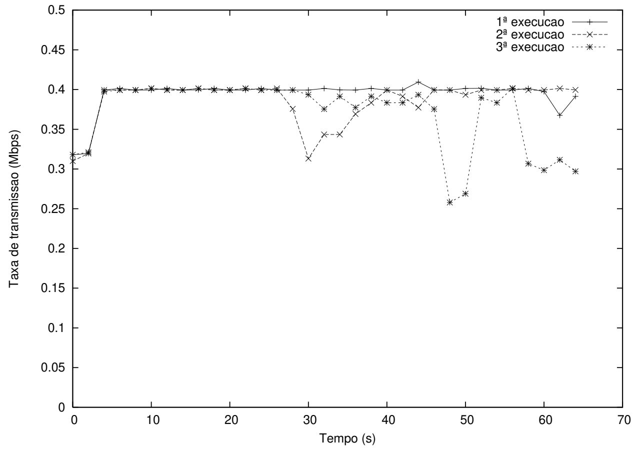

Figura 8: Diferença entre execuções de fluxos de 400 Kbps.

A grande variação entre execuções dos experimentos ocorre especialmente em condições extremas, como nas áreas de sombra e durante sobrecargas da rede. Isto pode ser explicado, fundamentalmente, pelo comportamento aleatório das colisões de quadros e pela maior susceptibilidade do canal a interferências em regiões de sombra. É interessante notar que este complicador gera um sutil paradoxo nos resultados deste trabalho. A consistência de experimentos só pode ser garantida por testes exaustivos. O projeto de algoritmos adaptativos deve, portanto, considerar a alta variabilidade de comportamento entre execuções distintas de uma transmissão.

6. Adaptação

Os complicadores e problemas apresentados justificam a utilização de mecanismos adaptativos para, quando possível, evitar que ocorram situações indesejáveis como os colapsos e os congestionamentos. Evitar tais situações é importante, pois permite manter os fluxos mais estáveis,

[1]Como gerar dois congestionamentos iguais tal que execuções diferentes possam ser comparadas?

prevenindo a interferência entre unidades móveis, melhorando o estado geral do sistema e, desta forma, melhorando a percepção de qualidade do usuário. Esta seção discute a viabilidade de aplicação de mecanismos adaptativos e dois pilares destes mecanismos: a monitoração e a alteração de comportamento.

6.1. Viabilidade

No contexto deste trabalho, a viabilidade de construção de mecanismos adaptativos justifica-se por três argumentos: capacidade de recuperação, tolerância a curtos períodos de problemas e existência de tempo hábil para adaptação.

Primeiro, a rede recupera-se do colapso rapidamente após o fim das ações que a levaram ao colapso. As Figuras 5 e 6, por exemplo, mostram que após a condição de sobrecarga da capacidade da rede os fluxos retornam ao normal.

Segundo, a rede IEEE 802.11b permanece operante por alguns segundos antes de entrar em colapso, isto deve-se provavelmente aos *buffers* utilizados no ponto de acesso. A Figura 9 mostra um experimento onde a capacidade da rede foi intencionalmente excedida. Neste experimento, foram gerados fluxos de 6 Mbps, sendo a capacidade da rede de aproximadamente 5,6 Mbps. As curvas representam diferentes execuções do experimento.

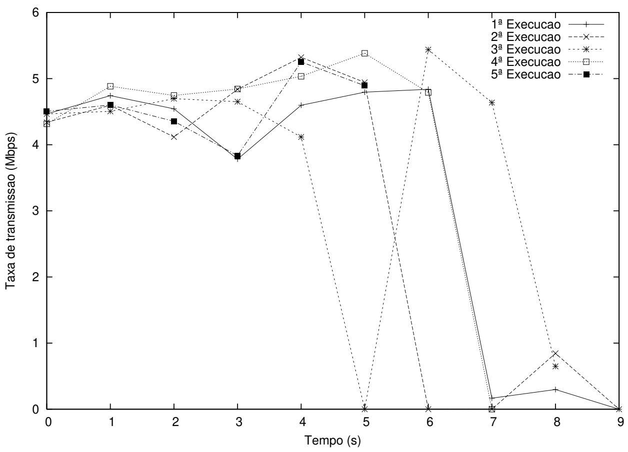

Figura 9: Comportamento mediante excesso de carga.

É importante notar que o saturamento da rede leva alguns segundos para ocorrer. A transmissão mantém-se em taxas altas por cerca de 4 segundos antes de caminhar para o colapso.

Por fim, e terceiro argumento, enquanto o tempo para o colapso da rede é da ordem de segundos, o tempo necessário para reação, ou seja, o tempo necessário para o cliente observar um problema no fluxo, notificar o servidor e observar a modificação, é da ordem de dezenas de milisegundos.

Foi realizado um experimento onde um fluxo de 6 Mbps é novamente inserido na rede. Porém, neste experimento, quando a taxa de perda de pacotes supera 30%, a aplicação cliente notifica o servidor e o fluxo é reduzido para 3 Mbps. A redução do fluxo é feita reduzindo-se à metade o tamanho dos pacotes. Este experimento foi realizado com o computador A usando cartão PCMCIA IEEE 802.11b de fabricação Lucent e validado usando o cartão 3Com. O experimento foi repetido pelo menos 8 vezes para cada configuração. O tempo de reação médio foi de 67,5 ms, sendo o pior caso de 160 ms.

Uma vez que adaptar é preciso e possível, as próximas seções abordam duas etapas fundamentais do ciclo de execução dos mecanismos adaptativos: monitoração e alteração de comportamento.

6.2. Monitoração

Dado um modelo cliente/servidor simples, sem canais para controle da transmissão, existem dois fatores observáveis na recepção de uma pacote.

- Intervalo entre pacotes.
- Perda de pacotes.

Supondo transmissões a taxas constantes (*Constant Bit Rate* ou CBR), alguns aspectos relacionados ao recebimento de pacotes podem ser observados:

- O intervalo entre pacotes está como o esperado, estável e condizente com a taxa de transmissão? Se não, a transmissão pode estar com problemas.
- A taxa de perda de pacotes está aceitável? Se não, pode-se tentar adaptar o fluxo.
- O pacote recebido é imediatamente posterior ao anterior? Se não, isto é um forte indício de perda de pacotes e pode ser conveniente requisitar a retransmissão do pacote não recebido.

Em aplicações reais também existem inúmeros outros fatores a ser monitorados como, por exemplo, o espaço disponível para *bufferização*, a utilização de memória e o uso de processamento.

A escolha dos fatores a ser monitorados e a implementação da monitoração está sujeita a uma série de complicadores. Certos fatores, como os *buffers*, devem ser observados a cada recebimento de pacote. Outros fatores, como a perda de pacotes, devem ser observados periodicamente pois não são significativos isoladamente. Enfim, a implementação de políticas de monitoração não é trivial.

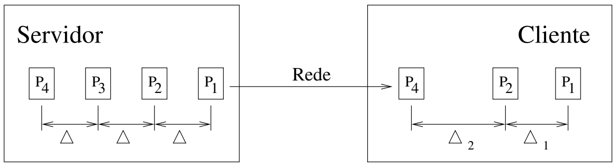

Figura 10: Mecanismo de pares de pacotes

6.2.1. Inspeção

Quando a monitoração baseada apenas em informações disponíveis no cliente não for suficiente, pode-se usar outras estratégias. Um esquema alternativo é explicitamente inspecionar a rede. Um mecanismo promissor para isto é o de pares de pacotes [Bolot, 1993, Roesler et al., 2003]. Neste mecanismo, ilustrado na Figura 10, rajadas de pacotes UDP são enviados do servidor para o cliente a fim de inferir as condições da rede. A inferência é feita em função do espaçamento de tempo entre os pacotes recebidos, ou mesmo em função da perda destes pacotes. Quanto menor o número de saltos (*hops*) na rede, melhor a precisão do resultado obtido pela técnica de pares de pacotes. Portanto, o mecanismo é promissor para inferência das condições do canal entre o ponto de acesso e a unidade móvel. Além disso, pode-se implementar rajadas de pacotes inteligentes, onde o conteúdo das rajadas de pacotes contenham pacotes úteis para a transmissão de vídeo.

6.2.2. Heurísticas

Em complemento ao monitoramento de fatores concretos e mecanismos de inspeção de rede, pode-se monitorar aspectos baseados em heurísticas. Por exemplo, em uma transmissão com problemas é interessante determinar a razão das perdas para se reagir adequadamente. Mas como distinguir a razão das perdas?

Uma alternativa é construir heurísticas baseadas no comportamento da rede em situações problemáticas, como sombras ou congestionamentos. Tais heurísticas poderiam inferir razões para perda de pacotes comparando o comportamento destas perdas com comportamentos anteriormente observados e cujas razões eram conhecidas.

Por exemplo, as Figuras 11 e 12 apresentam trechos da execução de fluxos UDP sujeitos a perdas de pacotes, respectivamente, por congestionamento e área de sombra.

As perdas originadas por congestionamentos são mais agressivas do que as decorrentes de áreas de sombra. A Figura 12 mostra momentos de recuperação de atraso, ou seja, momentos em que os pacotes atrasados são recebidos em intervalos menores, aproximando a execução com per-

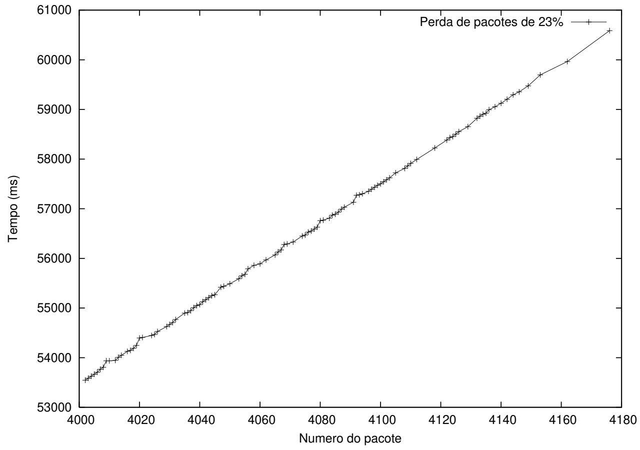

Figura 11: Comportamento de perda de pacotes na presença de congestionamento.

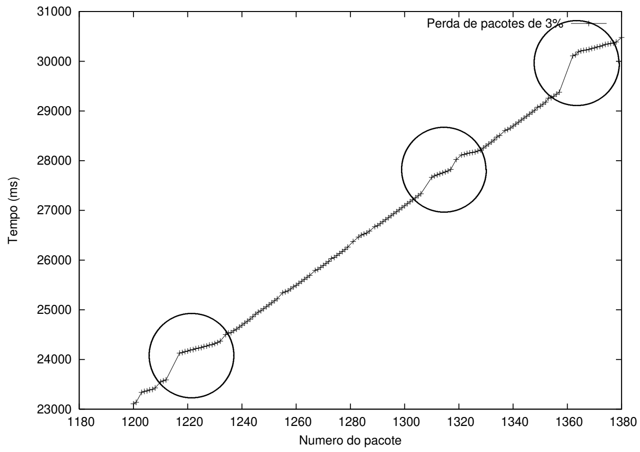

Figura 12: Comportamento de perda de pacotes em áreas de sombra.

das da execução ideal. Reconhecer estes padrões pode ser uma forma de descobrir as razões para o comportamento ruim de uma transmissão e podem ser a chave para aplicar estratégias adaptativas eficientes.

6.3. Alterações no comportamento

Se a monitoração é um dos pilares dos mecanismos adaptativos, outro pilar é a alteração de comportamento. Esta seção ilustra alguns mecanismos adaptativos e como pode-se aplicar alterações de comportamento nestes mecanismos.

6.3.1. Relação entre tamanho dos pacotes e intervalo entre pacotes

A taxa de transmissão de um fluxo UDP é determinada pelo tamanho dos pacotes enviados e pelo intervalo de tempo com que estes pacotes são inseridos na rede. O experimento apresentado na Seção 5.1 mostra que quanto menores os pacotes, menores as taxas de perdas de pacotes. Mas o uso de pacotes muito pequenos tem seu preço. Primeiro, reduz a eficiência de utilização da rede devido a relação entre carga útil e cabeçalhos. Segundo, sobrecarrega as atividades de montagem e desmontagem dos pacotes. Também influem nesta relação fatores como o número de unidades móveis e o volume de carga distribuído pelo ponto de acesso.

6.3.2. Relação entre quadros MPEG e quadros IEEE 802.11b

Pode-se distribuir quadros MPEG em quadros IEEE 802.11b de diferentes maneiras. Por exemplo, [Ikkurthy and Labrador, 2002] propõem a utilização de pacotes UDP de 750 B visando minimizar o impacto da perdas de pacotes na exibição de vídeo. Contudo, o mapeamento é fortemente dependente do vídeo em questão, sendo necessário construir mecanismos capazes de adaptar este mapeamento.

6.3.3. Políticas de *bufferização*.

Buffers são amplamente usados para suavizar os efeitos de atrasos e de falhas de comunicação, gerenciá-los significa basicamente controlar o seu tamanho e sua utilização média. *Buffers* excessivamente grandes comprometem a interatividade da aplicação, requisito importante em aplicações como a de vídeo-conferência. *Buffers* excessivamente grandes também implicam maior espaço de armazenamento temporário, recurso escasso em alguns dispositivos móveis. Por outro lado, *Buffers* pequenos são ágeis, ocupam pouco espaço, mas pouco amenizam as falhas de comunicação.

6.3.4. Retransmissão

O reenvio de pacotes é uma técnica simples e útil. Consiste em, observada a perda de um pacote, requisitar o seu reenvio. Mas o tempo total deste processo é uma limitação, pois o pacote poderá não ser mais útil se este tempo total for muito elevado.

Ao invés de utilizar a técnica de retransmissão, onde primeiro observa-se a perda de um pacote, pode-se enviar informação redundante automaticamente. Esta técnica é conhecida como *Automatic Repeat Request* ou ARQ[2].

Outra técnica para reduzir o impacto das perdas de pacotes é enviar bits de correção de erros, esta técnica é conhecida como *Forward Error Correction* ou FEC. A técnica consiste em adicionar uma seqüências de bits ao conteúdo original dos pacotes, tal que um pacote perdido possa ser reconstruído a partir dos pacotes recebidos. O objetivo da técnica é aumentar a agilidade para recuperação de perdas, para isto aumenta-se o volume de dados transmitidos. Por exemplo, [Muñoz et al., 2001] mostra ganhos de até 24,4% na taxa de transmissão efetiva com a utilização de FEC em redes IEEE 802.11b.

6.3.5. Adaptação do conteúdo.

Os algoritmos e padrões [Steinmetz and Nahrstedt, 1995, Hoang and Vitter, 2002, Union, 1996] de codificação de vídeo permitem escolher parâmetros de compressão adequados à taxa de transmissão e à capacidade de exibição da unidade móvel, deve-se portanto escolher codificações adequadas. Além disso, o descarte de pacotes pode ser feito de maneira mais inteligente priorizando os pacotes menos importantes para a exibição do vídeo [Chen et al., 1995, Tan et al., 1996, dos Santos et al., 2001]. Em vídeos codificados segundo o padrão MPEG, por exemplo, os quadros I são mais importantes do que os quadros P, que por sua vez são mais importantes do que os quadros B, para a qualidade da exibição do vídeo.

6.3.6. Parâmetros de rede.

A Seção 2 apresentou alguns parâmetros configuráveis de IEEE 802.11b que são, em geral, configurados para atender tráfegos TCP. É importante investigar o impacto destes parâmetros na transmissão de fluxos contínuos UDP, assim como seus valores ideais. A especificação em andamento de IEEE 802.11e traz avanços neste sentido. Em IEEE 802.11e utiliza-se valores diferenciados de parâmetros, como o espaço entre quadros e o tamanho da janela de contenção, em função da condição de carga da rede e dos requisitos da aplicação [Filho et al., 2003]. Resumindo, IEEE 802.11e contempla algum nível de Qualidade de Serviço (QoS), para isto torna dinâmicos alguns parâmetros estáticos de IEEE 802.11b.

Alterações de comportamento são úteis isoladamente, mas podem ser mais interessantes quando usadas em conjunto. Mas para isto é preciso também avaliar a influência de umas nas outras. Por exemplo, como a relação entre o intervalo entre pacotes e o tamanho dos pacotes influencia na política de *bufferização*? Ou ainda, qual o melhor tamanho de pacote quando usamos FEC? Além disso, restam duas perguntas importantes. Como aplicar alterações de comportamento sem desestabilizar o sistema, ou seja, sem criar um efeito *ping-pong*? Outra pergunta importante é até que ponto vale a pena onerar as aplicações com os mecanismos adaptativos?

[2] O mecanismo de reenvio de quadros de IEEE 802.11b, citado na seção 2, é um exemplo de ARQ.

7. Conclusões

Este trabalho demonstrou a viabilidade e importância do desenvolvimento de mecanismos adaptativos para transmissão de fluxos contínuos UDP sobre redes sem fio IEEE 802.11b. Mais do que isto, enumerou fatores relevantes e encontrou diretrizes para o desenvolvimento de tais mecanismos. Dentre as diretrizes mais importantes, detacam-se:

- O melhor comportamento de pacotes pequenos.
- A necessidade de prover mecanismos para o controle dos fluxos.
- A alta variabilidade entre execuções de fluxos.
- A relevância e existência de diferenças de comportamento entre unidades móveis.

A abordagem empírica foi importante por permitir a observação de detalhes que não poderiam ser detectados apenas por simulações, como por exemplo a diferença de comportamento entre interfaces de rede de diferentes fabricantes.

Além das diretrizes, foram apresentados desafios sobre monitoração de fluxos e a essência de alguns mecanismos adaptativos para distribuição de vídeo. A implementação destes mecanismos, levando em conta as diretivas apresentadas, será objeto de pesquisa futura e extensão natural deste trabalho.

Referências

Bolosky, W. J., Fitzgerald, R. P., and Douceur, J. R. (1997). Distributed Schedule Management in the Tiger Video Fileserver. In *Proceedings of the Sixteenth Symposium on Operating Systems Principles*, Saint Malo, France.

Bolot, J.-C. (1993). Characterizing end-to-end packet delay and loss in the internet. *High-Speed Networks*, December 2(3):305–323.

Chen, Z. (1997). *Coding and Transmission of Digital Video on the Internet*. PhD thesis, Computer Science Department, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Chen, Z., Tan, S.-M., Campbell, R. H., and Li, Y. (1995). Real Time Video and Audio in the World Wide Web. In *Fourth International World Wide Web Conference*, Boston. Also published in World Wide Web Journal, Volume 1 No 1, January 1996.

da Conceição, A. F. (2003). Gerador de fluxos contínuos UDP. `http://www.ime.usp.br/~arlindo/experiments/tools.htm`.

dos Santos, D. A. S., Oliveira, M., Duarte, R., Loureiro, A., Mateus, G., and Ribeiro-Neto, B. (2001). Exibição adaptativa de video MPEG para ambientes móveis. In *III Workshop de Comunicação sem Fio e Computação Móvel (WCSF)*, Recife, Brasil.

Filho, J. C. M., Rezende, J. F., and Pirmez, L. (2003). Seleção dinâmica de parâmetros de controle de qualidade de serviço em redes ieee 802.11 infra-estruturadas. In *Simposio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, Natal, Brasil.

Gast, M. S. (2002). *802.11 Wireless Networks. The definitive Guide.* O'Reilly.

Heusse, M., Rousseau, F., Berger-Sabbatel, G., and Duda, A. (2003). Performance anomaly of 802.11b. *IEEE INFOCOM*.

Hewlett-Packard Staff (2003). Netperf benchmark. `http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html`.

Hoang, D. T. and Vitter, J. S. (2002). *Efficient algorithms for MPEG video compression*. Wiley.

IEEE 802.11 (2003). Protocol specifications. `http://grouper.ieee.org/groups/802/11`.

Ikkurthy, P. and Labrador, M. A. (2002). Characterization of MPEG-4 traffic over ieee 802.11b wireless lans. In *Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)*, Tampa, Florida.

Kon, F., Campbell, R. H., Tan, S., Valdez, M., Chen, Z., and Wong, J. (1998). A Component-Based Architecture for Scalable Distributed Multimedia. In *Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Science and Technology (ICAST'98)*, pages 121–135, Lucent Technologies, Naperville.

McCanne, S. and Jacobson, V. (1995). vic: A Flexible Framework for Packet Video. In *Proceedings of ACM Multimedia*, pages 511–522, San Francisco, CA.

Moving Picture Experts Group (2003). The MPEG home page. `http://mpeg.telecomitalialab.com`.

Muñoz, L., Garcia, M., Choque, J., and Mähönen, R. A. P. (2001). Optimizing internet flows over IEEE 802.11b wireless local area networks: A performance-enhancing proxy based on forward error correction. *IEEE Communication Magazine*, pages 60–67, December.

Roesler, V., de Andrade, M., Finzsch, P. M., and Lima, V. (2003). Análise do mecanismo de pares de pacotes visando estimar a banda da rede via UDP. In *Simposio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, Natal, Brasil.

Schiller, J. (2000). *Mobile Communications*. Addison Wesley.

Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., and Jacobson, V. (2000). RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Internet Draft, revision of RFC 1889.

Steinmetz, R. and Nahrstedt, K. (1995). *Multimedia: Computing Communications and Applications*. Prentice-Hall.

Tan, S., Campbell, R., Chen, Z., Liao, W., Raila, D. K., Kon, F., and Valdez, M. (1996). Adaptation and Synchronization in Low-Bandwidth Internet Video. In *World Wide Web Consortium Workshop on Real Time Multimedia and the Web (RTMW '96)*, INRIA Sophia Antipolis, France.

Union, I. T. (1996). Video coding for low bit rate communication. ITU Recommendation ITU-T H.263.