Agregação e supressão de feedback de grupos multiponto heterogêneos

Paulo André da S. Gonçalves[1,2], Marcelo D. de Amorim[1],
José F. de Rezende[2], Otto Carlos M. B. Duarte[2] e Guy Pujolle[1]

[1] Laboratoire LIP6
Université de Paris VI
8, rue du Capitaine Scott
75015 – Paris – France

[2] GTA/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro
P.O. Box 68504 – 21945-970
Rio de Janeiro – Brasil

Resumo

Novas aplicações para sessões multiponto de dados em camadas vêm surgindo com o intuito de lidar com os requisitos distintos de qualidade de serviço dos receptores. Tais aplicações introduzem diversos mecanismos de modo a realizarem seus objetivos. Dentre esses mecanismos encontram-se estratégias contra a implosão de pacotes de controle que chegam à fonte, mecanismos de controle de qualidade de dados e mecanismos que introduzem novas semânticas para os pacotes de controle. Este artigo trata de vários mecanismos que possuem como resultado final a melhoria da qualidade e justiça de sessões multiponto de dados em camadas. Neste sentido, é proposto um mecanismo de controle de qualidade de dados que leva em consideração a densidade de usuários satisfeitos, a banda passante alocada e a qualidade percebida por cada usuário. O problema de implosão de pacotes de controle é tratado com duas soluções distintas. A primeira é baseada na agregação de mensagens de controle e a segunda é baseada em um protocolo de cooperação entre os receptores. Os resultados obtidos demonstram que a agregação de pacotes de controle é uma solução em potencial para o problema de implosão, permitindo a introdução de novas semânticas para as mensagens de controle.
Palavras-chave: Multiponto, dados em camadas, supressão de feedback, aplicação adaptativa.

1 Introdução

O provimento de qualidade de serviço (QoS) às comunicações multiponto esbarra em diversos problemas impostos pela infra-estrutura de rede assim como em problemas relacionados ao desenvolvimento dos sistemas finais. Estes sistemas têm sido objeto de estudo por vários anos, mas ainda um grande número de problemas possuem solução em aberto. Este artigo aborda o desenvolvimento de mecanismos de provisão de QoS para aplicações multiponto com grupos heterogêneos. Um dos principais problemas encontrados pelas aplicações multiponto, no contexto de aplicações em larga escala, é a heterogeneidade dos equipamentos de rede intermediários e dos sistemas finais. Dados multiponto atravessam canais de baixa ou alta velocidade, congestionados ou não, cabeados ou sem-fio. Da mesma forma, os sistemas terminais podem ser diferentes em termos de *software* e *hardware*. As soluções atuais para o multiponto não levam em conta todos esses parâmetros.

Essas dificuldades são intrínsecas a várias aplicações multimídia de natureza multiponto. Para lidar com esses problemas, várias estratégias têm sido propostas, as quais oferecem melhorias ao serviço oferecido e garantem uma qualidade de serviço mínima. Uma abordagem é o uso de mecanismos de reserva de recurso com o intuito de garantir um determinado nível de QoS [1]. Para que uma reserva de recursos funcione de modo eficiente, é necessário conhecer *a priori* as características dos diferentes tipos de tráfego, o que não é sempre possível. Uma outra abordagem é a criação de aplicações multimídia adaptativas. A introdução de adaptabilidade é vista como uma característica fundamental nas aplicações multimídia futuras. Esta abordagem consiste em oferecer a aplicação um certo nível de consciência sobre as condições da rede [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Em [3], duas estratégias são propostas para o controle dinâmico da vazão da fonte: compressão à taxa variável e codificação hierárquica. Na compressão à taxa variável, de acordo com a banda passante disponível, a fonte computa a menor taxa de compressão que deve ser utilizada para maximizar a utilização de banda passante. Na codificação hierárquica, o sinal é codificado em uma camada básica que pode ser melhorada com a codificação de uma ou mais camadas adicionais. Desta forma, a qualidade final da apresentação depende do número total de camadas recebidas pelo receptor. A utilização de fontes de dados em camadas introduz, entretanto, vários desafios ao desenvolvimento de sistemas de comunicação multiponto [8].

Este artigo propõe mecanismos a serem utilizados na provisão de QoS para as comunicações multiponto de dados em camada. Esses mecanismos podem ser divididos em três partes principais. Na primeira parte, algumas técnicas para a melhoria de QoS de comunicações multiponto sob o ponto de vista do usuário são consideradas. Neste parte são propostas e analisadas técnicas que permitem a computação das taxas das camadas. A segunda parte é reservada ao problema de implosão da quantidade de pacotes de feedback na fonte. Uma vez que os mecanismos propostos neste artigo são baseados na troca de informação entre a fonte e o grupo multiponto, o fenômeno de implosão se torna um problema crucial a ser resolvido. Será proposta uma técnica que otimiza a filtragem de pacotes nos nós intermediários da rede. Como será visto adiante, isto é fundamental para um uso eficiente dos mecanismos desenvolvidos neste artigo. Finalmente, na terceira parte, o caso geral de redes passivas é considerado. Em uma rede passiva como a Internet, é extremamente difícil a aplicação de soluções que se baseiam em alterações dos equipamentos no interior da rede. É proposto então, um mecanismo de supressão de feedback pelos receptores. É mostrado através de análise e simulação que esta proposta acarreta em melhorias.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2, o contexto deste trabalho é apresentado. Na seção 4, a análise de vários mecanismos de controle de qualidade para comunicações multiponto de dados em camadas é apresentada. O problema de implosão da quantidade de feedback gerado é tratado na seção 3, onde várias soluções são apresentadas. Na seção 5 um protocolo de cooperação entre os receptores é proposto com o objetivo de suprimir a geração de feedback. E finalmente, na seção 6, apresentamos as conclusões deste trabalho.

2 Aplicações multiponto adaptativas

O desenvolvimento de aplicações adaptativas para a Internet é calcado no fato desta possuir elementos heterogêneos em todos os seus níveis, desde os roteadores e enlaces até os receptores. A principal idéia é adaptar o comportamento, principalmente das fontes, à capacidade dos caminhos individuais fonte-receptor. Este artigo é focado nas aplicações multiponto envolvendo mídias contínuas, como áudio, vídeo e voz. O modelo multiponto utilizado é o IP-Multicast, onde uma mensagem endereçada a um grupo é recebida por todos os membros.

As aplicações multiponto adaptativas podem ser classificadas em três grupos principais: fluxo único adaptativo, múltiplas codificações e fluxos hierárquicos.

2.1 Fluxo único adaptativo

Neste tipo de sistema, a fonte envia um fluxo de dados a um endereço multiponto único. A vazão deste fluxo é dinamicamente adaptada segundo informações obtidas sobre a capacidade da rede. Este mecanismo possui alguns inconvenientes. Se a fonte envia a uma taxa compatível com os receptores mais lentos, a rede será sub-utilizada em alguns pontos e receptores mais velozes serão penalizados. Por outro lado, se a vazão escolhida for da ordem da capacidade dos receptores mais rápidos, os destinatários de menor capacidade serão impossibilitados de receber corretamente os dados.

Neste modelo, a fonte estima a qualidade média da comunicação e o nível de congestionamento da rede e, a partir destas informações, ajusta sua taxa de transmissão. A figura 1 ilustra o funcionamento deste esquema.

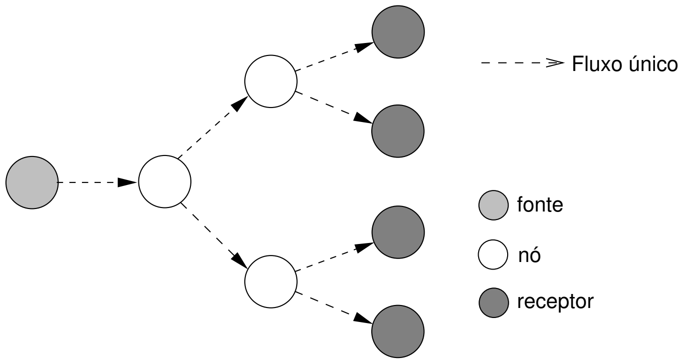


Figura 1: Um fluxo único é enviado a todos os receptores.

Uma das primeiras propostas que usam o conceito de fonte única adaptativa é o IVS (INRIA Video-conference System), proposto por Bolot, Turletti e Wakeman [9, 10]. O mecanismo de controle da taxa de transmissão do IVS é implementado dentro de um codificador H.261. O mecanismo de adaptação utiliza três parâmetros: taxa de atualização, valor da quantificação e limiar de detecção de movimento. Informações de realimentação são obtidas a partir das perdas observadas pelos receptores, os quais usam números de seqüência do protocolo RTP (Real Time Protocol) [11].

De forma a evitar implosão de pacotes de feedback na fonte, os autores propõem um mecanismo de comunicação escalável. Cada receptor envia à fonte um pacote de controle se algumas condições forem respeitadas. Estas condições são uma probabilidade p e uma freqüência f dependentes do número de membros dos grupo multiponto.

2.2 Múltiplas codificações

Nos sistemas baseados em múltiplas codificações [12], a fonte mantém um certo número de fluxos de dados com qualidades distintas originados a partir da mesma informação a ser transmitida. Os receptores são classificados segundo suas capacidades de recepção e cada fluxo é enviado a um endereço IP-Multicast diferente. Um receptor se inscreve no grupo multiponto cuja taxa de transmissão é a mais adaptada à sua capacidade. Figure 2 ilustra este tipo de sistema.

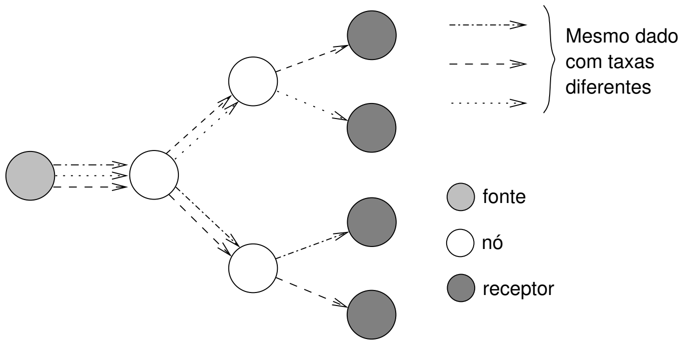


Figura 2: Os mesmos dados originais são codificados em diferentes taxas e enviados a diferentes grupos multiponto.

O algoritmo DSG (Destination Set Grouping) [12] é um exemplo de sistema baseado em múltiplas codificações. Este algoritmo combina mecanismos de controle baseados nos receptores e na fonte (híbrido) de maneira a satisfazer o máximo de receptores e obter escalabilidade. Ao mesmo tempo que este algoritmo resulta em uma boa satisfação global dos receptores, ele é bastante ineficaz devido à grande redundância de informações.

2.3 Fluxos hierárquicos

Os sistemas hierárquicos utilizam codificação em camadas para resolver o problema de heterogeneidade dos receptores e evitar o desperdício de recursos. O sinal é codificado em uma camada de base e em uma ou mais camadas de refinamento. Cada camada é enviada em um grupo multiponto diferente. Esta camadas são correlacionadas e a qualidade da apresentação em um receptor depende do número de camadas recebidas. Desta forma, receptores heterogêneos podem se cadastrar somente nos grupos multiponto que geram um tráfego agregado compatível com suas capacidades de recepção. A figura 3 mostra um exemplo de sessão multiponto de dados em camadas com receptores heterogêneos.

Um dos principais sistemas multiponto em camadas é o RLM (Receiver-driven Layered Multicast) [13]. Neste sistema, a fonte gera um certo número de camadas de vídeo e transmite cada uma dessas camadas em um grupo IP multiponto diferente. Os receptores aderem aos grupos que lhes interessam. A comunicação é dinâmica pois membros aderem ou deixam os grupos quando desejam. O principal problema é que os receptores são limitados às camadas que a fonte decide de transmitir.

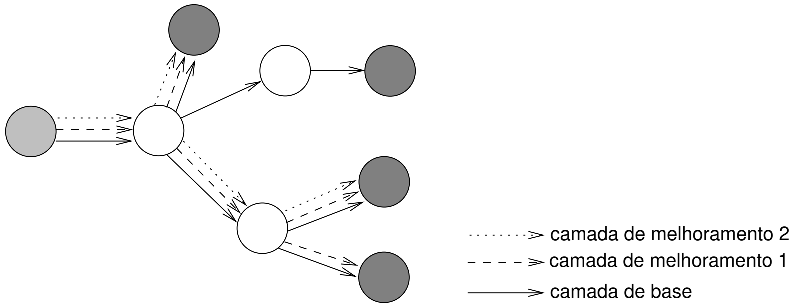


Figura 3: Sessão multiponto em camadas e adaptação segundo as capacidades dos receptores.

A maior dificuldade é o cálculo da taxa de transmissão da fonte de forma a atender o maior número possível de receptores. Este problema é crucial e tem sido o enfoque principal de muitos trabalhos [2, 5, 10, 14, 15, 16, 17].

Além do problema da heterogeneidade dos receptores, a rede também precisa lidar com a característica dinâmica dos enlaces (banda passante disponível). Os recursos disponíveis são variáveis ao longo do tempo e, por conseqüência, a capacidade de recepção de um membro não pode ser considerada como um parâmetro estático. Uma das soluções para resolver este problema é forçar os receptores a informar constantemente a fonte sobre suas condições de recepção. Baseada nesta informação, a fonte pode calcular a vazão de cada camada de maneira a melhorar a qualidade da sessão multiponto para o grupo.

Em [15], pacotes de feedback contendo o estado de congestionamento da rede são enviados pelos receptores à fonte. A partir destes pacotes, a fonte calcula o número de camadas necessárias e a vazão de cada uma delas. Para evitar a implosão destes pacotes, é implementado um algoritmo de agregação de pacotes nos nós intermediários da rede.

3 Evitando a implosão na fonte

Um dos principais desafios para as aplicações multiponto está relacionado à eliminação do efeito de implosão de pacotes de controle que chagam à fonte [18, 19]. Várias propostas para tratar este problema podem ser encontradas na literatura. Dentre elas se destacam os temporizadores de *backoff*, o feedback probabilístico, a supressão de feedback, a agregação/filtragem de feedback e abordagens híbridas. Os temporizadores de *backoff* são utilizados para distribuir no tempo o envio dos pacotes de feedback. Desta forma, o congestionamento nos nós intermediários e na fonte é evitado. A eficiência desta proposta depende da escolha do valor dos temporizadores.

Para aplicações multiponto escaláveis, ao invés de distribuir no tempo o envio de mensagens de feedback, é necessário diminuir a quantidade dessas mensagens. Isto pode ser alcançado utilizando-se o feedback probabilístico no qual um receptor responde a um pedido de envio de feedback com uma certa probabilidade. Desta forma, o número de respostas pode ser probabilisticamente controlado.

A supressão de feedback é comumente empregada com temporizadores de *backoff*. Neste caso, o receptor usam o temporizador para retardar o envio do seu feedback. O receptor deve então cancelar o envio do seu feedback caso ele receba o feedback de um outro receptor antes da expiração do temporizador. Para aplicações multiponto que necessitam de um maior controle do feedback, os mecanismos tradicionais não são adequados. Por exemplo, considere uma aplicação que necessite receber periodicamente um feedback obtido levando-se em consideração o feedback gerado por cada um dos receptores do grupo. Este requisito não pode ser atendido com as abordagens tradicionais de feedback escalar, as quais explicitamente previnem um grande número de receptores de gerarem feedback. Neste caso, é recomendado a utilização de agregação/filtragem de feedback. Desta forma, mensagens de feedback do grupo podem ser agrupadas em uma única resposta.

3.1 Agregadores de feedback

Os esquemas de agregação de feedback podem ser implementados como serviços no nível aplicação em roteadores ou em servidores especializados. Tais roteadores ou servidores são conhecidos como agregadores de feedback. A figura 4 mostra três possíveis escolhas para o oferecimento de serviços de agregação. A primeira possibilidade, como apresentada na figura 4(a), é a utilização de roteadores capazes de agregação na árvore multiponto estabelecida. Esta abordagem, contudo, possui diversos dos problemas encontrados para a implementação de redes ativas. A segunda possibilidade, como mostrada na figura 4(b), é a utilização de agregadores de feedback co-localizados com os roteadores que fazem parte da árvore multiponto. Este tipo de solução é comumente empregada nas arquiteturas de multiponto confiável. A segunda possibilidade reduz os problemas relacionados à primeira mas requer ainda o suporte de roteadores. Na figura 4(c) é apresentada a terceira possibilidade de implementação de agregadores de feedback. Neste caso, os agregadores são implementados nos sistemas finais de comunicação e, portanto, não impõem mudanças aos roteadores atualmente existentes.

3.2 Política de agregação temporal

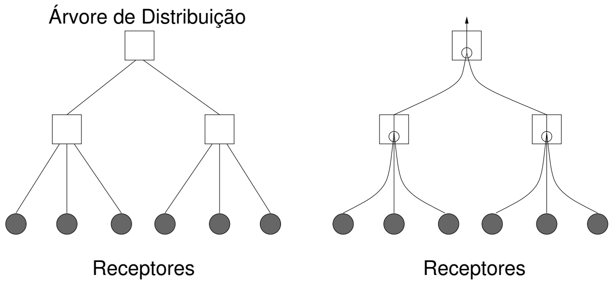
Agregadores de feedback empregam uma política de agregação temporal a qual determina quando os pacotes de feedback devem ser agregados. Uma política de agregação comumente empregada por serviços de adaptação de qualidade na fonte funciona da seguinte forma [17, 14, 15]: Os pacotes de feedback recebidos são agregados e enviados para o próximo nó se uma das seguintes condições abaixo se tornam verdadeiras.

- *Condição pacote*: pelo menos um pacote de feedback de cada nó foi recebido;
- *Condição expiração*: o temporizador de agregação expira.

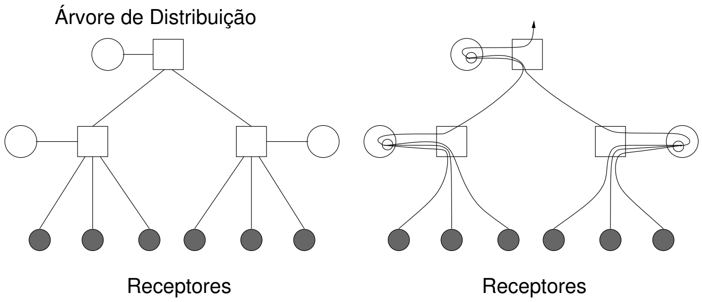
Se mais de um pacote de feedback do mesmo nó chegar antes da agregação, o pacote anteriormente recebido é substituído. Com relação a esta política de agregação de feedback, podemos ter duas abordagens diferentes para reger o comportamento do temporizador de agregação:

- O temporizador de agregação expira periodicamente;
- O temporizador de agregação é disparado ao chegar o primeiro pacote candidato à agregação.

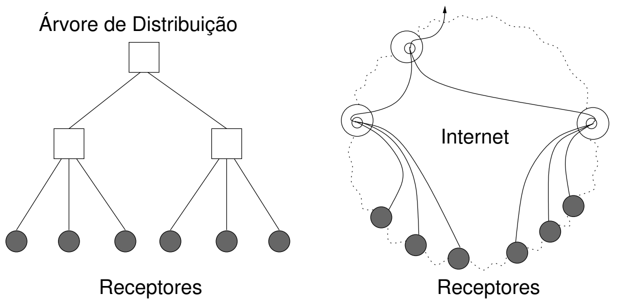
Daqui em diante, serão apresentados o modelo e análise relativos à política de agregação temporal regida por um temporizador periódico [20]. O modelo da política de agregação temporal regida por um temporizador que é disparado pela chegada do primeiro



(a) Agregação dentro da rede. Suporte total necessário pelos roteadores.



(b) Agregação dentro da rede. Suporte mínimo pelos roteadores.



(c) Agregação nos sistemas finais. Sem modificações aos roteadores existentes.

Figura 4: Escolhas para implementação de agregadores de feedback.

pacote candidato à agregação pode ser vista como uma particularização do modelo apresentado neste artigo. Apesar deste fato, a análise de tal abordagem está fora do escopo deste artigo.

Considere a topologia de rede mostrada na figura 5. O nó capaz de agregar pacotes de feedback aguarda por pacotes de k receptores. Seja n um dado intervalo do temporizador e N um número de intervalos do temporizador. Sejam ρ_i^n e β_i^n, respectivamente, o número de pacotes recebidos do nó i e o número de pacotes substituídos relativos ao nó i no intervalo n do temporizador.

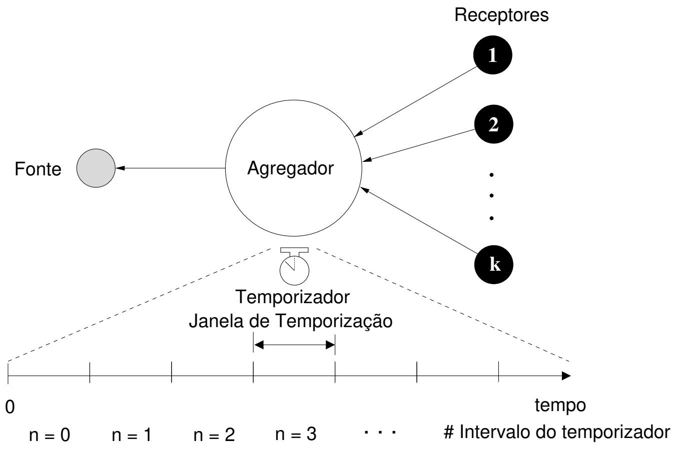


Figura 5: Topologia de rede básica e esquema do temporizador de agregação.

A fração de agregações devido à *condição pacote* e à *condição expiração* são dadas respectivamente por

$$\alpha_k^{pacote} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \min_{1 \leq i \leq k}[\rho_i^n - \beta_i^n]}{\sum_{n=0}^{N-1} \max_{1 \leq i \leq k}[\rho_i^n - \beta_i^n]} \qquad 0 \leq \alpha_k^{pacote} \leq 1 \tag{1}$$

e

$$\alpha_k^{expiracao} = 1 - \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \min_{1 \leq i \leq k}[\rho_i^n - \beta_i^n]}{\sum_{n=0}^{N-1} \max_{1 \leq i \leq k}[\rho_i^n - \beta_i^n]} \qquad 0 \leq \alpha_k^{expiracao} \leq 1 \ . \tag{2}$$

Esta equações são válidas se para algum $0 \leq n \leq (N-1)$ e $1 \leq i \leq k$, existe um ρ_i^n tal que $\rho_i^n \geq 1$. Para uma agregação eficiente dos pacotes de feedback, a fração de agregações devido à *condição pacote* deve ser maximizada, o que implica na minimização da fração de agregações devido à *condição expiração*. Este resultados são alcançados quando não há substituições de pacotes e $\rho_1^n = \rho_2^n = \ldots = \rho_k^n =$ para todo $0i \leq n \leq (N-1)$.

3.3 Filtragem de pacotes

A noção de elevado nível de filtragem de pacotes é comumente empregada como uma medida de eficiência de mecanismos contra a implosão de feedback. Para avaliar o nível de filtragem provido por um agregador de feedback, a variável Nível de Filtragem Global (ξ_k). Esta variável representa o número total de pacotes de feedback agregados sobre o número total de pacotes de feedback recebidos. O Nível de Filtragem Global é dado por

$$\xi_k = 1 - \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \max_{1 \leq i \leq k}[\rho_i^n - \beta_i^n]}{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=1}^{k} \rho_i^n} \qquad \text{para } k > 1 \ , \tag{3}$$

e se para algum $0 \leq n \leq (N-1)$ e $1 \leq i \leq k$, existe um ρ_i^n tal que $\rho_i^n \geq 1$. Se $k \leq 1$ então $\xi_k = 0$. Se os pacotes de feedback são agregados de forma eficiente, o Nível de Filtragem Global assume um valor ótimo representado por

$$\xi_{k,otimo} = 1 - \frac{1}{k} \qquad \text{para } k > 1 \ . \tag{4}$$

Se não há substituições de pacote, ξ_k será menor ou igual à $\xi_{k,otimo}$. Se por outro lado não há substituição de pacotes, ξ_k pode assumir valores maiores que $\xi_{k,otimo}$. Se $\alpha_k^{expiracao}$ é igual à zero então ξ_k será maior ou igual à $\xi_{k,otimo}$. Neste caso, ξ_k será igual à $\xi_{k,otimo}$ se não há substituições de pacote e será maior que $\xi_{k,otimo}$ se ocorrer pelo menos uma substituição de pacote. Assim, apesar de um Nível de Filtragem Global maior que o seu valor ótimo ser eficiente para evitar a implosão de feedback, ele não é adequado para um feedback efetivo.

Apesar de analisarmos uma topologia de rede com apenas um agregador de feedback, os resultados acima podem ser estendidos para qualquer topologia de rede contendo vários agregadores de feedback organizados hierarquicamente. Desta forma, se em tal cenário a agregação de feedback ocorre de forma eficiente, o novo valor do Nível de Filtragem Global será dado por

$$\xi_{K,otimo} = 1 - \frac{1}{K} \qquad \text{for } K > 1, \tag{5}$$

onde K é o número de receptores no grupo multiponto. Este resultado mostra que a agregação de feedback é uma solução em potencial para o problema de implosão. Como exemplo, em um grupo multiponto com 1 milhão de receptores, 99,99% dos pacotes de feedback gerados serão filtrados antes de alcançarem à fonte.

3.4 Temporização

Ao adotar uma política de agregação temporal regida por um temporizador periódico, é possível agregar eficientemente os pacotes de feedback. Para este intuito, os receptores devem enviar pacotes de forma periódica e os agregadores de feedback devem escolher uma janela de agregação adequada. Sejam $\Delta\tau$ e Δt, respectivamente, a janela de agregação e o intervalo de envio de feedback. Supondo não haver perdas de pacote e fazendo atrasos aleatórios na rede serem desprezíveis com relação à Δt, a seguinte relação entre $\Delta\tau$ e Δt deve ser respeitada para uma agregação eficiente

$$\Delta\tau = b\Delta t \ , \tag{6}$$

onde $b \geq 1$. O fator b pode ser visto como o número de pacotes esperados de cada receptor por intervalo do temporizador. Na prática, perdas de pacote e atrasos aleatórios podem ocorrer. Isto aumenta a probabilidade de substituições de pacotes, tornando o processo de agregação menos efetivo. Nessa circunstâncias, o valor 1 para b deve ser empregado. O relacionamento entre $\Delta\tau$ e Δt imposto pela equação (6) mostra que a política de agregação temporal regida por um temporizador periódico possui uma baixa imunidade à atrasos aleatórios introduzidos pela rede. Como conseqüência, os agregadores de feedback não serão capazes de agregar todos os pacotes de feedback eficientemente.

4 Esquemas de controle de qualidade

4.1 Sistema baseado na taxa de otimização

O sistema adaptativo proposto neste artigo consiste em uma sessão multiponto onde a fonte de vídeo utiliza a técnica de codificação em camadas. A taxa de transmissão de cada camada é baseada em pacotes de reconhecimento enviados pelos receptores. O principal componente deste sistema é o algoritmo usado para combinar os pacotes nos nós intermediários de forma a evitar implosão de pacotes de controle na fonte. Neste esquema, a fonte envia em multiponto um pacote de controle (que chamaremos pacote de prospecção) aos destinatários. Ao atravessar a rede, os nós intermediários marcam estes pacote com a banda-passante disponível em cada um dos enlaces, $c_s(l)$. Quando um receptor r, pertencente à sessão multiponto m, recebe este pacote de prospecção, ele calcula imediatamente a máxima vazão que ele pode receber, dada por

$$b^{r,m} = \min_{l \in L_{s,r}} c_s(l), \tag{7}$$

onde $L_{s,r}$ é o grupo de enlaces atravessados pelo pacote de prospecção entre a fonte s e o receptor r. Os receptores criam então pacotes de retorno (reconhecimento) contendo a taxa máxima de recepção e os enviam à fonte. No momento de rotear estes pacotes, os nós intermediários os combinam de forma a evitar implosão na fonte. O ideal exigiria que as rotas fonte/destinos e destinos/fonte fossem simétricas, o que pode ser resolvido através da utilização de algoritmos de roteamento assimétricos como por exemplo o HBH [8].

Para o procedimento de combinação de pacotes, define-se como *pacote de retorno ótimo* aquele que satisfaz às seguintes definições.

Definição 1 *A degradação global do vídeo para uma sessão multiponto em camadas é igual à soma das diferenças entre a taxa de vídeo requerida e a taxa de vídeo recebida, para todos os receptores pertencente à sessão.*

Definição 2 *Após a execução do procedimento de combinação de pacotes, o pacote de retorno ótimo é aquele que resulta na* **menor** *degradação global do vídeo nos receptores.*

Um pacote de reconhecimento possui k entradas, $1 \leq k \leq L$, onde L é o número de camadas de vídeo enviadas pela fonte. Cada entrada $e_i, i = 1 \dots k$, possui por sua vez dois campos: a vazão π_{e_i} e o número de receptores ϕ_{e_i} requerendo a vazão π_{e_i}. Nosso sistema é similar ao proposto em [15], onde os pacotes de reconhecimento são armazenados em um vetor temporário $\vec{t}$ para processamento futuro. As entradas do vetor temporário são organizadas de forma que $\pi_{e_{i-1}} < \pi_{e_i} < \pi_{e_{i+1}}, \forall i$. Se $\pi_{e_i} = \pi_{e_{i+1}}$, então e_i e e_{i+1} são combinados segundo as equações[1]

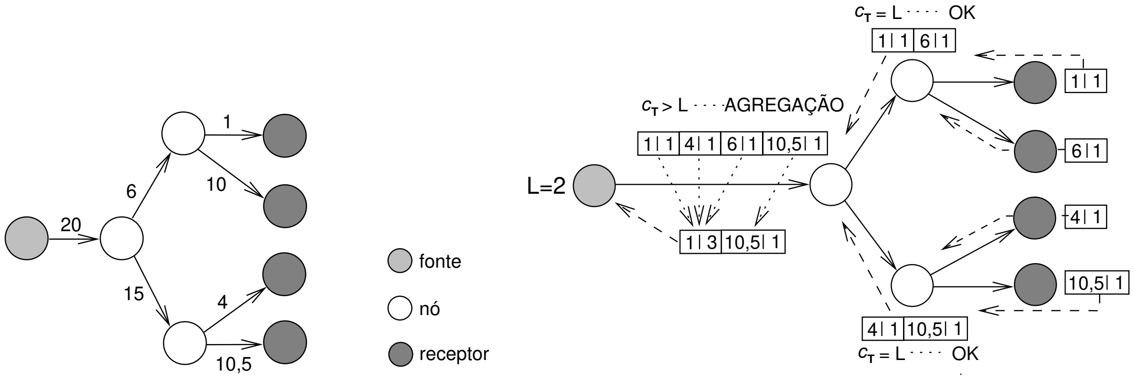
$$\begin{aligned} \pi_{e_{i,\oplus}} &= \pi_{e_{i,\ominus}}, \\ \phi_{e_{i,\oplus}} &= \phi_{e_{i,\ominus}} + \phi_{e_{i+1,\ominus}}, \end{aligned}$$

onde os símbolos $\ominus$ e $\oplus$ representam os valores das variáveis respectivamente antes e após o procedimento de combinação de pacotes. Se o vetor temporário possuir um número de entradas c_T maior que o número de camadas transmitidas pela fonte, então o nó executa um algoritmo para eliminar $c_T - L$ entradas. Chama-se de "pacote candidato" qualquer pacote que pode ser obtido após o procedimento de combinação. Aquele que será escolhido para ser transmitido à fonte depende da política adotada pelo algoritmo.

O método clássico elimina a entrada j que resulta na mais elevada "taxa de otimização" G [15]. A taxa de otimização é equivalente a taxa total recebida pelos receptores quando

[1] Na prática, duas entradas são automaticamente combinadas se a distância $\pi_{e_{i+1}} - \pi_{e_i}$ for menor que um determinado valor α. Neste caso, diz-se que estas entradas são "compatíveis."

se elimina a entrada e_j, sendo calculada como $G = \sum_{i=1,i\neq j}^{c_T} \pi_{e_i}\phi_{e_i}$. O número de receptores ϕ_{e_j} da entrada eliminada é adicionado ao número de receptores na $(j-1)$-ésima entrada. Estes passos são executados em um *loop* até que o número de entradas no vetor temporário seja reduzido ao máximo número de camadas transmitidas pela fonte.



(a) Estado inicial da rede.

(b) Procedimento de combinação.

Figura 6: Evolução do procedimento de combinação.

Embora o descarte seja feito sobre as entradas que resultam na mais elevada taxa de otimização, isto não garante totalmente a otimização da qualidade do vídeo nos receptores. A figura 6(a) mostra uma situação onde a fonte transmite duas camadas de vídeo. A taxa de otimização G_{e_j} é obtida quando se descarta entrada e_j.

No nó que precede a fonte, o vetor temporário possui quatro entradas e portanto duas devem ser eliminadas.[2] A seqüência abaixo e a figura 6(b) mostram cada passo do algoritmo de redução de entradas.[3]

Passo 1 $\vec{t} = \{(1,1),(4,1),(6,1),(10.5,1)\}$
$G_{e_2} = 18,5$
$G_{e_3} = 19,5$
$G_{e_4} = 17$

G_{e_3} é a máxima taxa de otimização, então a entrada e_3 é eliminada e $\phi_{2,\oplus} = \phi_{2,\ominus} + \phi_{3,\ominus}$. Imediatamente antes da eliminação da segunda entrada extra, o vetor temporário possui as seguintes entradas

$$
\begin{array}{lll}
e_{1,\ominus} \Rightarrow & \pi_{1,\ominus} = 1 & \phi_{1,\ominus} = 1 \\
e_{2,\ominus} \Rightarrow & \pi_{2,\ominus} = 4 & \phi_{2,\ominus} = 2 \\
e_{3,\ominus} \Rightarrow & \pi_{3,\ominus} = 10,5 & \phi_{3,\ominus} = 1
\end{array}
$$

A segunda etapa pode então ser concluída.

[2]A primeira entrada nunca é descartada pois corresponde ao receptor mais lento.

[3]Por razões de simplicidade de notação, em alguns exemplos deste artigo serão suprimidas as unidades das variáveis.

Passo 2 $\vec{t} = \{(1,1),(4,2),(10.5,1)\}$
$G_{e_2} = 13,5$
$G_{e_3} = 13$

Na etapa 2, G_{e_2} é maior que G_{e_3}. Assim, e_2 é descartada e o nó transmite à fonte o pacote resultante. Este procedimento é ilustrado na figura 6(b). De acordo com o pacote resultante, os receptores localizados na sub-árvore serão capazes de receber duas camadas de vídeo. A primeira a uma taxa igual a 1 e a segunda a uma taxa igual a 9.5.[4]

4.2 Sistema baseado em múltiplas métricas

Apesar dos esforços para melhorar a qualidade das sessões multiponto em camadas, os esquemas baseados na taxa de otimização se mostram limitados quando o ponto de vista adotado é diferente da degradação global de qualidade nos receptores. Em [17], os autores deste artigo propuseram uma única função que leva em consideração a densidade de satisfação dos usuários, o nível de alocação de banda passante na árvore multiponto e a degradação de qualidade nos receptores. Esta função permite que a fonte ajuste o peso de cada métrica de forma que as aplicações sejam classificadas em diferentes "grupos de serviço." Um grupo de serviço é caracterizado pela métrica prioritária. Uma aplicação que exige economia de banda passante, por exemplo, aumenta o peso da métrica correspondente. O mesmo raciocínio pode ser aplicado no caso de uma aplicação que maximiza a qualidade de recepção nos destinatários.

O método baseado na taxa de otimização considera a degradação nos receptores como a única métrica no momento de calcular a taxa de transmissão das camadas. Seja r_i a vazão requerida pelo nó i e $\hat{r}_i$ a taxa real recebida por este nó. A degradação de qualidade de recepção de i é $\delta_i = r_i - \hat{r}_i$ e a *degradação global* de qualidade da sessão multiponto é dada por:

$$\delta_{\mathbf{S}} = \sum_{i=1}^{N} \delta_i, \tag{8}$$

onde N é o número total de receptores na sessão multiponto.

Apesar da importância da degradação de qualidade como métrica de avaliação da sessão multiponto, ela não deveria ser usada como métrica única. Em [17], alguns dos autores do presente artigo analisaram as conseqüências da utilização de uma única métrica. Seja uma sessão multiponto com uma fonte e quatro receptores $(r_1, \ldots, r_4)$, onde a fonte transmite duas camadas, $\mathbf{L} = \{l_1, l_2\}$ Mbps, e o algoritmo considera apenas a degradação nos receptores como a única métrica. Em um primeiro instante, as capacidades dos receptores são, respectivamente, $r_1 = 1$ Mbps, $r_2 = r_3 = 2$ Mbps e $r_4 = 3.9$ Mbps. Neste caso, a degradação global mínima é $L = \{1, 1\}$ Mbps, o que corresponde a uma degradação global de $\delta = 1.9$ Mbps para uma utilização da banda passante de 2 Mbps.

Após alguns instantes, a capacidade do receptor 4 muda de 3.9 Mbps para 4.1 Mbps. Nesta configuração, as camadas do vídeo enviadas pela fonte que otimizam o resultado são l_1=1 Mbps e l_2=3.1 Mbps, para uma degradação global de δ=2 Mbps. O fato interessante desta mudança de cenário é que, para uma variação de apenas 5% da capacidade de recepção do receptor 4, a taxa de envio da camada de vídeo l_2 foi aumentada em cerca de

[4] A banda-passante *total* que os receptores poderão receber é igual a 10.5. Em termos das vazões das camadas, isso corresponde à primeira camada igual a 1 e a segunda a 9.5.

300%, o que corresponde a uma variação bastante significativa para a pequena mudança observada no receptor 4. Além disso, antes da mudança, três destinos recebiam a 100% de suas capacidades (e apenas um a 50%), enquanto que após a mudança dois receptores são atendidos a 100% de suas capacidades e os outros dois a 50%. Intuitivamente, seria mais interessante manter l_1 e l_2 transmitindo 1 Mbps (taxa original, antes da variação do receptor 4) de forma a obter uma boa economia de banda passante, mesmo que o custo para tal seja um pequeno aumento da degradação global. O exemplo acima mostra que o sistema a única métrica não é adaptado para todas as situações. Em um serviço de vídeo do tipo *pay-per-view*, o mais importante é que os assinantes já cadastrados continuem recebendo a melhor qualidade possível, mesmo se novos pedidos forem recusadas. Para uma aplicação de monitoramento por vídeo, onde qualidade não é o fator mais importante (pelo menos quando nada parece suspeito), a economia de banda passante pode ser a métrica principal. Finalmente, um sistema de difusão de publicidade pode preferir, por exemplo, que o maior número possível de usuários sejam atingidos. Os argumentos do presente artigo são voltados para o fato de que diferentes critérios combinados melhoram a qualidade global de um sistema de comunicação multiponto de dados em camadas. Na proposta apresentada abaixo, cada uma das métricas é associada a um "peso", o qual prioriza o parâmetro a ser otimizado.

Na versão atual do sistema, são definidas três métricas: degradação nos receptores (δ), densidade de satisfação dos usuários (γ) e utilização média da banda passante (ω). Da mesma forma que no sistema baseado em uma única métrica, a primeira das três métricas é a degradação nos receptores. Será visto que esta métrica tem um comportamento diferente das demais.

A segunda métrica é a densidade de satisfação dos usuários (γ). Um receptor que exige r_i unidades de banda passante é considerado parcialmente satisfeito se ele recebe r_i^r, para $r_i^r < r_i$. O grau de satisfação de um receptor é definido como:

$$\gamma_i = \frac{r_i^r}{r_i}. \tag{9}$$

Em uma sessão multiponto com receptores heterogêneos, a densidade global de satisfação é estimada a partir da combinação dos diferentes γ_i de cada receptor.

A terceira métrica é a utilização média de banda passante, ω. O nível de utilização dos recursos na rede é calculado diretamente pela fonte, que combina os diferentes valores recebidos por intermédio dos pacotes de feedback. O valor de ω em um pacote de feedback ao fim de um procedimento de agregação é equivalente à soma dos valores da banda passante alocada na sub-árvore a partir deste nó:

$$\omega_{out} = 1 + \sum_{i=1}^{I} \omega_{p_i}, \tag{10}$$

onde $p_i, 1 \leq i \leq I$, são os pacotes a serem agregados, I é o número total de pacotes e ω_{p_i} é a taxa de transmissão r multiplicada pelo número de enlaces atravessados por r.

O principal problema deste sistema é que as três métricas não podem ser otimizadas ao mesmo tempo. De fato, δ e ω devem ser minimizados para que a qualidade global seja aumentada, mas pode-se observar que essas variáveis não são completamente independentes, pois quando δ aumenta, ω diminui, e vice-versa. Qual desses parâmetros deve ser priorizado em relação ao outro depende da aplicação em questão. Baseada nestes argumentos, a *qualidade global de uma sessão multiponto*, Q, é resultado da combinação das métricas γ, ω e δ. A primeira regra a ser respeitada por Q é a correspondência direta com as métricas, ou seja, a qualidade global da sessão multiponto deve aumentar se:

- a densidade de satisfação dos usuários aumenta;
- a utilização média da banda passante diminui;
- a degradação global diminui.

Na função de qualidade $Q(\gamma, \omega, \delta)$, apesar da correlação entre as métrica, este artigo as considera independentes por questões de simplicidade. Assim, esta função assume a forma:

$$Q(\gamma, \omega, \delta) = f_\gamma(\gamma) + f_\omega(\omega) + f_\delta(\delta). \tag{11}$$

Tanto Q quanto as funções do lado direito da equação acima são normalizadas entre 0 e 1. Para γ, ω e δ são estabelecidos valores mínimos e máximos para que as funções possam ser normalizadas. Para os três casos, o valor mínimo é zero (caso em que a fonte não transmite – para γ e ω – e quando os receptores são atendidos com a taxa requerida – para δ). Os valores máximos são:

$$\gamma_{max} = 1 \tag{12}$$

$$\omega_{max} = \lim_{\max[\phi_{p_i}] \to \sum_{i=1}^{K} \phi_{p_i}} \frac{\sum_{i=1}^{K} \phi_{p_i} \pi_{p_i}}{\sum_{i=1}^{K} \phi_{p_i}} = \max[\pi_{p_i}] \tag{13}$$

$$\delta_{max} = \sum_{i=1}^{K} (\phi_{p_i} \pi_{p_i} + \delta_{p_i}) \tag{14}$$

onde K é o número de campos do pacote temporário. Finalmente, a qualidade global da sessão multiponto é definida como:

$$Q(\gamma, \omega, \delta) = \frac{a\frac{\gamma}{\gamma_{max}} + b\left(1 - \frac{\omega}{\omega_{max}}\right) + c\left(1 - \frac{\delta}{\delta_{max}}\right)}{3(a+b+c)} \tag{15}$$

onde as variáveis a, b, e c representam os pesos das métricas. Ao se ajustar esses valores, a aplicação é associada a um grupo de serviço diferente.

Na simulação abaixo, a métrica de maior prioridade é a alocação de banda passante. A sessão multiponto é composta por uma fonte e dez receptores, os enlaces são simétricos e atrasos homogêneos. Ao se usar esta configuração, o objetivo é garantir que a variação dos resultados obtidos dependa apenas da variação de banda passante na rede. Esta variação, por sua vez, é obtida com a inserção de um tráfego de fundo gerado por uma fonte externa do tipo exponencial. A banda passante disponível nos enlaces é calculada pela diferença entre a capacidade do enlace e o tráfego de fundo. A figura 7 compara os resultados obtidos pelo algoritmo proposto, que usa três métricas, e o algoritmo baseado na taxa otimizada. Após um período de estabilização, o algoritmo com três métricas resulta em menos banda passante alocada na árvore multiponto, cerca de 30% menos que no caso que utiliza uma única métrica.

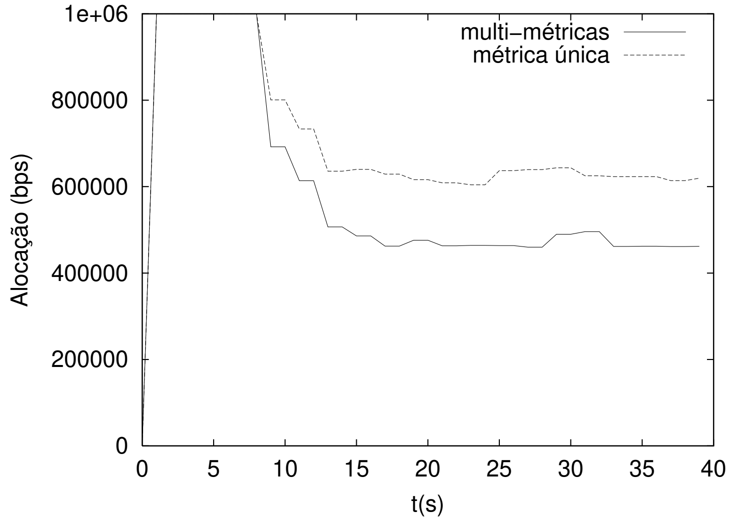


Figura 7: Banda passante alocada na árvore multiponto.

5 Receptores cooperativos

Os mecanismos propostos nas seções anteriores supõem algum tipo de "atividade" nos nós intermediários da rede, os quais devem ser capazes de manipular os conteúdos dos pacotes em trânsito. Contudo, a integração de novos mecanismos nos nós nem sempre é simples, como é o caso da Internet. Em [15], é proposta uma pequena variação do conceito de agregadores de pacotes. Apenas alguns nós da rede são designados para agregar os pacotes de feedback provenientes dos receptores. Neste caso, o problema de implementar novas funcionalidades é apenas reduzido a um número menor de nós; contudo, ainda existe a dificuldade de se determinar onde esses agregadores devem estar localizados, para que não se perca em desempenho.

Este artigo propõe um sistema que utiliza cooperação entre a fonte e os receptores de forma a aumentar a qualidade global da sessão multiponto e obter escalabilidade. O mecanismo proposto é iniciado pelos receptores com a chegada de pacotes de prospecção enviados regularmente pela fonte. Desta forma, a chegada do pacote de prospecção em um receptor provoca a execução do algoritmo de verificação de resposta assim como o protocolo de troca de mensagens entre receptores participantes da sessão multiponto.

Seja t_i o instante de chegada do pacote de prospecção no receptor i. A análise abaixo supõe, por questões de simplicidade, que todos os receptores recebem o pacote de prospecção no mesmo instante t. Assim, $t = t_{i=1} = t_{i=2} = \ldots = t_{i=(N-1)} = t_{i=N}$, onde N é o número de membros na sessão multiponto.

Seja também τ_i a duração do temporizador inicializado pelo receptor i e $t_{i,j}$ o tempo de propagação de uma mensagem entre os receptores i e j. A rede é suposta simétrica, i.e. $t_{i,j} = t_{j,i}$.

O receptor i configura seu temporizador assim que ele recebe o pacote de prospecção. Quando o temporizador expira, i envia a todo o grupo multiponto seu pacote de feedback. Este pacote induz a supressão ou não das respostas dos outros receptores. O receptor j executa o algoritmo de verificação de supressão se ele receber o feedback de i antes do fim do seu temporizador, ou seja, se:

$$\tau_i + t_{i,j} < \tau_j. \tag{16}$$

O pacote de prospecção contém um campo reservado para o *índice de acumulação*, α. Este índice é o limiar que determina se um receptor "agrega" ou não o feedback de um outro receptor recebido durante o seu período de temporização. O processo de agregação respeita a definição abaixo:

Definição 1 *O receptor i requer r_i unidades de banda passante e o seu temporizador ainda não expirou. Com a chegada do feedback do receptor j, i suprime seu feedback se a inequação $\frac{r_j}{r_i} \geq \alpha$ for respeitada.*

Como conseqüência, espera-se que o número de pacotes de feedback que chegam na fonte seja controlado. O índice de acumulação pode ser dinamicamente ajustado pela fonte de forma a manter a densidade de pacotes dentro de um valor aceitável e preestabelecido (por exemplo, 5% do número total de receptores).

Os resultados abaixo foram obtidos variando-se os parâmetros seguintes: tempo médio do temporizador (T), índice de supressão (α) e tempo de propagação entre dois receptores (d).

O cenário de simulação é composto de uma fonte e de dez receptores. Todas as configurações supõem $d = 10$ ms. Os temporizadores seguem a lei uniforme de parâmetro T e, nesta simulação, foram escolhidos $T = 2d$, $T = 8d$, e $T = 15d$. As capacidades dos receptores variam entre 100 Kbps e 1 Mbps (valor médio, lei exponencial).

A figura 8 mostra os resultados para $\alpha = 0.9$. Esse valor corresponde à situação onde os receptores são pouco tolerantes. Para temporizadores curtos ($T = 2d$), o número de supressões fica em torno de 20%. Para temporizadores mais longos ($T = 15d$), obtém-se índices de supressão mais expressivos, em torno de 50%.

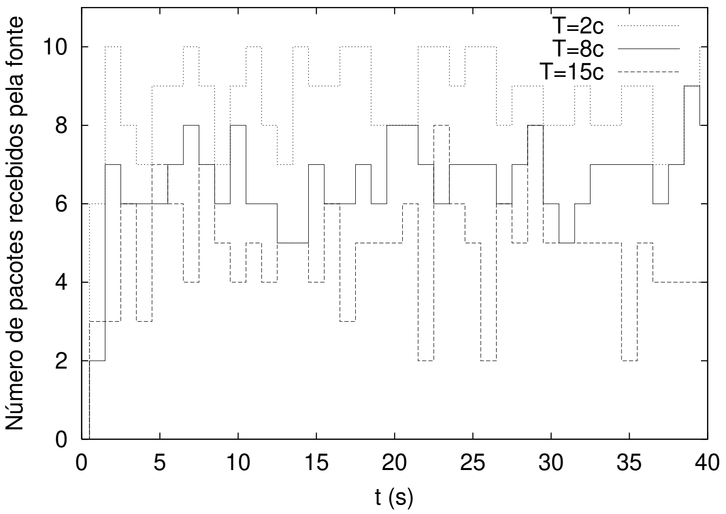


Figura 8: Número total de pacotes de feedback recebidos pela fonte, para $\alpha = 0.9$.

O caso seguinte mostra um cenário com receptores mais tolerantes (maior índice de supressão), com $\alpha = 0.5$. Espera-se que, ao se diminuir α, a porcentagem de pacotes de feedback recebida pela fonte também diminua. O resultado obtido é apresentado na figura 9. Observa-se pelas curva que existe um compromisso entre o índice de supressão e a qualidade global da aplicação nos receptores. Quando α aumenta, a probabilidade de um receptor qualquer suprimir seu feedback também aumenta. Como conseqüência, a quantidade de pacotes que chegam à fonte diminui.

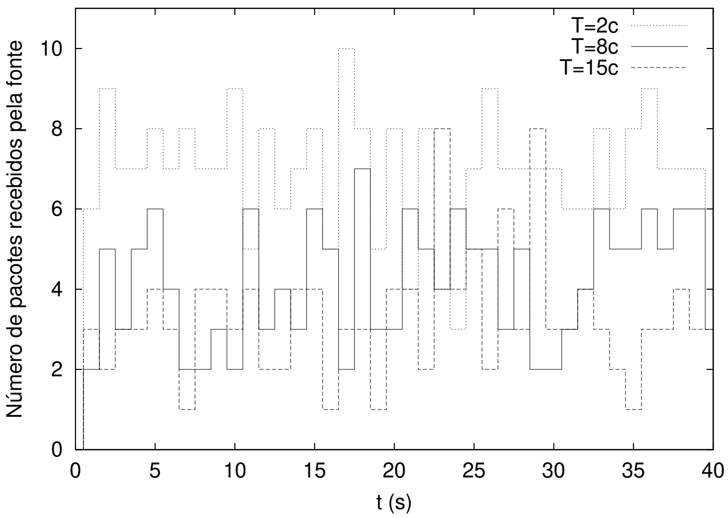


Figura 9: Número total de pacotes de feedback recebidos pela fonte para $\alpha = 0.5$.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu suporte da CAPES, COFECUB, CNPq, UFRJ, RNRT e CNRS.

6 Conclusões

A necessidade de satisfazer os requisitos de QoS das aplicações de vídeo impõe novos e diferentes desafios. Neste artigo foram avaliados mecanismos que permitem o controle da qualidade dos dados gerados pela fonte e o envio de pacotes de controle pelos receptores de uma forma escalável. No artigo foi mostrado que a escolha do mecanismo para evitar a implosão de pacotes de controle depende fundamentalmente dos requisitos da aplicação. Não existe uma solução única que atenda as necessidades de todas as aplicações. Em particular, foi mostrado que a agregação de feedback é uma solução em potencial para o problema de implosão. Neste artigo também foi avaliado um mecanismo de cooperação entre receptores que melhora a qualidade global do vídeo distribuído em uma sessão multiponto e reduz a probabilidade de implosão de feedback. Foi argumentado que a abordagem clássica para a computação das taxas das camadas nem sempre leva a obtenção das taxas adequadas. Também foi argumentado que o uso de uma nova métrica que levam em consideração pesos na alocação da banda passante, a densidade de usuários satisfeitos e a qualidade percebida por cada receptor produz melhorias em termos de justiça e qualidade de uma sessão multiponto.

Referências

[1] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog e S. Jasmin, “Resource reSerVation Protocol (RSVP) – version 1 functional specification”. Request for Comments 2205, Internet Engineering Task Force, setembro de 1997.

[2] R. Rejaie, M. Handley e D. Estrin, “Layered quality adaptation for internet video streaming”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 12, dezembro de 2000.

[3] C. Diot, C. Huitema e T. Turletti, “Multimedia applications should be adaptive”, in *HPCS’95*, Mystic, CN, agosto de 1995.

[4] D. Sisalem e A. Wolisz, “Towards TCP-friendly adaptive multimedia applications based on RTP”, in *Fourth IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC’99)*, Red Sea, Egypt, julho de 1999.

[5] R. Rejaie, M. Handley e D. Estrin, “Quality adaptation for congestion controlled video playback over the Internet”, in *ACM Sigcomm*, Cambridge, MA, USA, setembro de 1999.

[6] D. G. Wadington e D. Hutchison, “A general model for QoS adaptation”, in *IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service (IWQoS)*, Napa, CA, USA, maio de 1998.

[7] A. Ziviani, B. Wolfinger, J. F. de Rezende, O. C. M. B. Duarte e S. Fdida, “On the combined adoption of QoS schemes to improve the delivery quality of MPEG video streams”, in *Spects*, San Diego, USA, julho de 2002.

[8] L. H. M. K. Costa, S. Fdida e O. C. M. B. Duarte, “Hop-by-hop multicast routing protocol”, in *ACM Sigcomm*, San Diego, CA, USA, agosto de 2001.

[9] T. Turletti e C. Huitema, “Videoconferencing on the internet”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 4, pp. 340–351, junho de 1996.

[10] J. C. Bolot e T. Turletti, “Experience with control mechanisms for packet video in the internet”, *ACM Computer Communication Review*, vol. 28, no. 1, janeiro de 1998.

[11] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick e V. Jacobson, “RTP: A transport protocol for real-time applications”. Request for Comments 1889, Internet Engineering Task Force, janeiro de 1996.

[12] T. Jiang, M. Ammar e E. W. Zegura, “On the use of destination set grouping to improve inter-receiver fairness for multicast ABR sessions”, in *IEEE Infocom*, Tel-Aviv, Israel, março de 2000.

[13] S. McCanne, V. Jacobson e M. Vitterli, “Receiver-driven layered multicast”, in *ACM Sigcomm*, Stanford, CA, USA, agosto de 1996.

[14] M. D. de Amorim, O. C. M. B. Duarte e G. Pujolle, “Improving user satisfaction in adaptive multicast video”. to appear in *Journal of Communications and Networks*, 2002.

[15] B. J. Vickers, C. Albuquerque e T. Suda, “Source adaptive multi-layered multicast algorithms for real-time video distribution”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 8, no. 6, pp. 720–733, dezembro de 2000.

[16] J. Byers, M. Luby e M. Mitzenmacher, “Fine-grained layered multicast”, in *IEEE Infocom*, Anchorage, Alaska, abril de 2001.

[17] M. D. de Amorim, O. C. M. B. Duarte e G. Pujolle, “Distinguishing video quality through differential matrices”. to appear in *ACM Multimedia Systems Journal*, 2003.

[18] T. Fuhrmann e J. Widmer, “On the scaling of feedback algorithms for very large multicast groups”, *Computer Communications*, vol. 24, no. 5–6, pp. 539–547, março de 2001.

[19] J. Nonnenmacher e E. W. Biersack, “Scalable feedback for large groups”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 7, no. 3, pp. 375–386, junho de 1999.

[20] P. A. da Silva Gonçalves, J. F. de Rezende, O. C. M. B. Duarte e G. Pujolle, “Optimal feedback for quality source-adaptive schemes in multicast multi-layered video environments”, in *IFIP Networking*, Pisa, Italy, maio de 2002.