

# Distribuição de Vídeo Digital na Internet: Um Protótipo de Canal de TV Usando o Serviço SSM

Igor Monteiro Moraes

Relatório Técnico Final de Bolsa DTI-H

Período da bolsa: junho/2003 a abril/2004

Projeto:

QUARESMA - QUALidade de serviço em REdes, Segurança, Mobilidade e Aplicações

Processo CNPq 552121/2001-0

Atividade Associada:

Transmissão de Vídeo em Camadas

Professor Orientador:

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte

Local:

Grupo de Teleinformática e Automação (GTA)

Programa de Engenharia Elétrica, COPPE/UFRJ

Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação - Escola Politécnica

Rio de Janeiro, 01 de maio de 2004,

---

Igor Monteiro Moraes (Bolsista)

---

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte (Orientador)

# Relatório de Atividades

## 1 Resumo

As novas aplicações multimídias têm como característica comum a comunicação de grupo. Dentre estas novas aplicações, a distribuição de TV tem o potencial de ser a aplicação que vai disparar a implantação do serviço *multicast* na Internet, dado o enorme número de usuários envolvidos. Neste trabalho são analisados dois dos serviços de comunicação de grupo propostos: o IP Multicast e o SSM (*Source-Specific Multicast*). Para demonstrar a viabilidade dos dois serviços como mecanismos de distribuição de TV, foi desenvolvida uma plataforma de testes, que simula um domínio típico da Internet e possui um protótipo de canal de TV. Os testes realizados comprovam que o uso de um serviço *multicast* para a distribuição de TV na Internet proporciona uma redução na taxa de utilização da rede, se comparado com o uso de múltiplas conversações ponto-a-ponto para o mesmo propósito. Também foram realizados testes para avaliar o desempenho de alguns protocolos de roteamento *multicast*. Os resultados mostram que o serviço SSM elimina o problema da alocação global de endereços, facilita o controle de acesso ao grupo e garante a integridade das aplicações de distribuição de vídeo, requisitos necessários para a TV na Internet.

## 2 Introdução

A distribuição de vídeo na Internet difere significativamente da distribuição convencional de televisão. Na distribuição convencional, o sinal transmitido tem banda passante fixa e os receptores são homogêneos. A qualidade é fixa e a boa recepção só depende do nível de sinal que chega aos receptores. Já na distribuição de vídeo pela Internet, a informação de vídeo é transmitida em pacotes, a banda passante da rede é compartilhada dinamicamente pelas aplicações em andamento e os receptores são heterogêneos. Cada receptor possui uma capacidade de processamento diferente e está conectado à Internet por uma rede com características específicas de banda passante. Essa diversidade na capacidade dos receptores impede que um único fluxo de vídeo, codificado com uma determinada taxa de transmissão, seja difundido por toda a rede e atenda satisfatoriamente todos os receptores da Internet.

Uma solução é enviar um fluxo de vídeo específico para cada receptor. Isto é inviável em termos dos recursos da rede e da capacidade de processamento dos roteadores e receptores, uma vez que, no caso da distribuição de TV, o número de receptores pode chegar a milhões. Por isso, um serviço de distribuição *multicast* eficiente é necessário. Proposto há mais de dez anos, o IP Multicast [1] vem sendo implantado lentamente como serviço nativo na Internet, em virtude da complexidade para configurar e gerenciar o conjunto de protocolos de rede necessários à sua implementação. A razão desta complexidade deve-se ao fato do modelo de serviço IP Multicast definir um *grupo* como uma conversação, onde existem  $N$  fontes e  $M$  receptores, da qual qualquer estação pode participar sem exigência de autorização. O modelo também define que uma estação pode pertencer a vários grupos, podendo entrar ou sair de um grupo a qualquer instante, e que uma fonte pode enviar dados, pertencendo ou não ao grupo.

Um grupo é identificado por um endereço IP pertencente a uma faixa reservada, chamado de endereço IP *multicast*. O endereço IP *multicast* corresponde ao endereço de um grupo de estações e não ao endereço de uma máquina específica. Ele é alocado dinamicamente e permanece válido durante toda a sessão *multicast*.

Devido à complexidade e, conseqüentemente, à lenta implantação do IP Multicast na Internet, novas alternativas vêm sendo propostas para simplificar o serviço. Uma das alternativas que vem recebendo um grande destaque é o serviço SSM (*Source-Specific Multicast*) [2], um serviço de difusão IP com fonte específica.

Atualmente em fase final de padronização pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*), o serviço SSM foi inspirado no protocolo EXPRESS (*EXPLICITly REquested Single Source multicast*) [3]. O SSM usa o conceito de canal proposto neste protocolo. Um canal possui uma única fonte por grupo e é identificado por um par de endereços (fonte, grupo). Esta definição reduz a conversação *multicast* para um-para-muitos, *1XM*, simplificando a arquitetura do serviço.

A proposta de um serviço *multicast* de fonte específica se justifica, pois a maioria das aplicações de grupo conhecidas atualmente possui uma única fonte. Além disso, nas aplicações com múltiplas fontes, o número de fontes é pequeno, caso da videoconferência, o que torna viável o uso de múltiplos canais de fonte específica. Os exemplos de aplicações de fonte única de maior destaque são a distribuição de rádio e televisão.

Dado o enorme número de usuários envolvidos, a distribuição de TV na Internet será a aplicação que vai acelerar a implantação de um serviço *multicast* em larga escala. Por ser uma aplicação de fonte única, é natural o uso do serviço SSM para o transporte eficiente do tráfego de televisão na Internet.

O principal objetivo deste trabalho é demonstrar a viabilidade do serviço SSM como mecanismo de distribuição de TV na Internet. Para isso, foi desenvolvida uma plataforma de testes que simula um domínio típico da Internet, composta por roteadores e estações com suporte aos protocolos necessários para implementar o serviço SSM.

A plataforma conta ainda com um protótipo de canal de TV na Internet. O protótipo é composto por um único computador, equipado com uma placa de captura e com uma câmera de vídeo. Este computador desempenha as funções de servidor de vídeo e de máquina de codificação. O servidor é capaz de distribuir vídeo nos formatos MPEG-2, usado por todos os padrões de transmissão de TV digital terrestre e via satélite, e MPEG-4, desenvolvido para a transmissão de TV interativa na Internet. Todas as estações possuem programas clientes de vídeo compatíveis com os padrões MPEG-2 e MPEG-4. Durante os testes, também foi usada uma aplicação de videoconferência, o VIC (*Videoconference Tool*).

A análise da viabilidade do serviço SSM como mecanismo de distribuição de TV foi realizada através de testes práticos, sendo dividida em duas partes. Na primeira foram analisados os mecanismos da alocação de endereços e de controle de acesso, proporcionados pelo IP Multicast e pelo SSM. Na segunda parte, comparou-se o desempenho de alguns protocolos de roteamento *multicast*. Foram analisados os protocolos DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*), PIM-DM (*Protocol Independent Multicast - Dense Mode*) e PIM-SM (*Protocol Independent Multicast - Sparse Mode*), usados pelo serviço IP Multicast, e o protocolo PIM-SSM (*Protocol Independent Multicast - Source-Specific Multicast*), usado no serviço SSM.

Os protocolos de roteamento são os responsáveis pela criação da árvore de distribuição do tráfego *multicast*. Cada um dos protocolos constrói um tipo de árvore usando diferentes mecanismos, enviando pacotes de dados e de controle em diferentes quantidades e em diferentes partes da rede. Por isso, a avaliação do desempenho dos protocolos de roteamento *multicast* é fundamental para determinar qual é o protocolo mais adequado à aplicação de distribuição de TV. Os testes realizados simularam uma transmissão de um programa de TV na Internet. Enquanto a fonte distribuía o vídeo e os clientes entravam e deixavam o grupo, os enlaces da rede eram monitorados. As métricas usadas para comparar o desempenho dos protocolos foram

a complexidade de configuração do protocolo, a taxa de utilização da rede durante a construção da árvore de distribuição, o número de pacotes de controle de roteamento e a capacidade de reconfiguração da árvore de distribuição.

## 2.1 Metodologia

## 2.2 Os Protocolos de Roteamento *Multicast* Analisados

A função de um protocolo de roteamento *multicast* é construir a árvore de distribuição de dados. Estes protocolos podem ser classificados em intra-domínio e inter-domínio. Neste trabalho só são abordados os protocolos de roteamento intra-domínio.

Uma árvore de distribuição *multicast* pode ser construída de acordo com diferentes algoritmos. No entanto, os protocolos de roteamento analisados constroem dois tipos de árvores: árvores por fonte e árvores compartilhadas ou centradas. Em uma árvore por fonte, o nó raiz é a própria fonte de dados. Deste modo, cada fonte constrói uma árvore. Por sua vez, em uma árvore compartilhada, um nó localizado no “centro” da rede é a raiz e a mesma árvore é usada por várias fontes de dados [4]. A seguir, o funcionamento de cada protocolo de roteamento analisado neste trabalho é brevemente descrito.

### O Protocolo DVMRP

O DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*) [5] foi o primeiro protocolo de roteamento *multicast* desenvolvido para a Internet. Este protocolo constrói árvores de distribuição por fonte, usando o algoritmo de inundação-e-poda. De acordo com o algoritmo do DVMRP, o primeiro datagrama IP para cada par (fonte, grupo) é enviado para toda a rede. Esse datagrama é limitado pelo campo TTL (*Time-To-Live*) do cabeçalho IP e dispara o envio de mensagens de poda na direção da fonte, ao atingir roteadores folha que não possuem estações interessadas no grupo. Através das mensagens de poda obtêm-se uma árvore particular com o caminho mais curto entre as estações interessadas e cada uma das fontes.

Uma característica peculiar do DVMRP é que este protocolo implementa o seu próprio algoritmo de roteamento *unicast*. O DVMRP usa vetores de distância para construir rotas *unicast* para cada fonte de dados *multicast*, assim como o protocolo de roteamento *unicast* RIP (*Routing Information Protocol*) [5]. Para isso, é necessária a troca periódica de mensagens de atualização das tabelas de roteamento com roteadores *multicast* vizinhos.

### O Protocolo PIM

O PIM (*Protocol Independent Multicast*) é o protocolo de roteamento *multicast* mais popular da Internet. Existem três modos de operação deste protocolo: o denso (PIM-DM), o esparsa (PIM-SM) e o SSM (PIM-SSM). Os dois primeiros modos estão associados à distribuição dos receptores na rede. Um grupo é considerado denso quando a probabilidade de uma determinada área ter pelo menos um membro do grupo é alta. Do contrário, se a probabilidade for pequena, o grupo é considerado esparsa. O terceiro modo implementa o serviço SSM.

O funcionamento do PIM-DM (PIM - *Dense Mode*) [6] é similar ao do protocolo DVMRP. O PIM-DM também usa o algoritmo de inundação-e-poda para construir árvores de distribuição

por fonte. Porém, ao contrário do DVMRP que implementa o próprio mecanismo de roteamento *unicast*, o PIM-DM utiliza as informações do protocolo *unicast* em uso na rede para determinar as rotas para cada fonte de dados *multicast*.

O PIM-SM (PIM - *Sparse Mode*) [7] foi projetado para o roteamento em grande escala, em que a distribuição dos receptores é esparsa. O PIM-SM constrói árvores compartilhadas e unidirecionais a partir de mensagens de inscrição (*join*) em um grupo *multicast* enviadas ao nó de “ponto de encontro” (RP - *Rendez-vous Point*). As fontes também enviam seus dados para o RP, que por sua vez distribui a informação na árvore *multicast*. Para fontes com alta taxa de transmissão, é possível mudar o tipo de árvore de distribuição, ou seja, usar uma árvore por fonte. Para tanto, basta que as mensagens de inscrição passem a ser enviadas diretamente para a fonte de dados.

O PIM-SSM é uma versão simplificada do PIM-SM, usada apenas no serviço SSM. Neste modo de operação só são construídas árvores por fonte através de mensagens de inscrição enviadas à única fonte de dados de um canal *multicast*. Por isso, não é necessário configurar roteadores de ponto de encontro.

### 2.3 A Plataforma de Testes

A plataforma de testes foi construída usando a estrutura física disponível no laboratório do Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) da COPPE/UFRJ. Todos os enlaces utilizados são Ethernet, com capacidades de 10 ou 100 Mbps, com cada computador usado na plataforma conectado ao computador do laboratório. As máquinas da plataforma, inclusive os roteadores, são computadores pessoais que utilizam o sistema operacional Linux Red Hat, com a versão 2.4.20 do núcleo (*kernel*).

A topologia da plataforma de testes, mostrada na Figura 1, simula uma rede *backbone* contendo elementos típicos de um domínio simplificado da Internet. Esta topologia foi projetada para permitir a existência de múltiplos caminhos entre a fonte e os receptores. Dessa forma, foi possível observar algumas situações críticas na construção da árvore de distribuição e no funcionamento dos protocolos de roteamento, que serviram de parâmetro para analisar o desempenho desses protocolos.

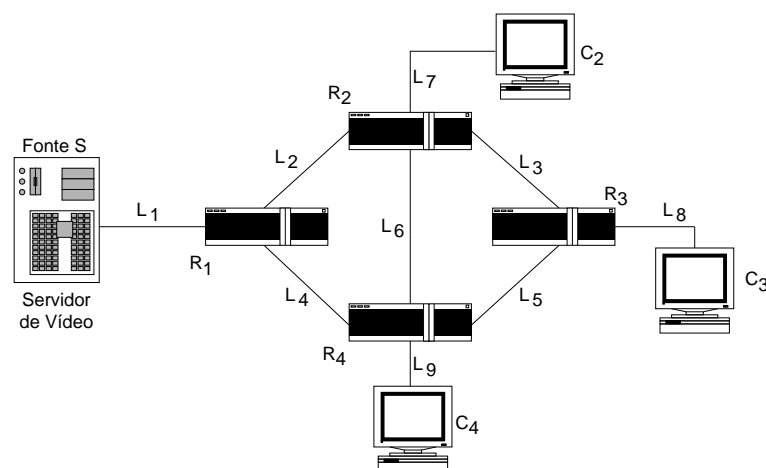


Figura 1: A topologia da plataforma de testes.

A plataforma é composta por quatro roteadores ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ), por um servidor de vídeo ( $S$ ) e por três clientes ( $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$ ).

O roteamento na plataforma de testes é dinâmico. Todos os roteadores rodam a versão Enterprise 2.0 do **GateD**, um programa de roteamento executado em *background* pelo sistema operacional. Atualmente, o **GateD** é uma ferramenta comercial e de código fonte fechado. No entanto, a versão usada neste trabalho é gratuita e foi obtida através do sítio do fabricante na Internet [8]. O **GateD** foi escolhido por ser o único programa a implementar no Linux a versão 3 do protocolo IGMP (*Internet Group Management Protocol*) e o protocolo PIM-SSM, necessários para a implantação do serviço SSM.

Para que seja possível realizar testes comparativos entre os protocolos de roteamento, são usadas ferramentas para gerar e medir o tráfego *multicast*. Todas as ferramentas usadas rodam no Linux, são livres e de código aberto. O **iperf** é uma ferramenta usada para medir o desempenho da rede. Ele possui um programa cliente e outro servidor responsáveis, respectivamente, pela geração e recepção do tráfego *multicast*. A ferramenta **ssmrec** possui a mesma função do cliente **iperf** e é usada nos testes envolvendo o PIM-SSM, uma vez que o **iperf** não suporta o protocolo IGMPv3. O farejador **tcpdump** é usado para monitorar cada enlace durante a realização dos testes de desempenho.

### 3 Resultados

A plataforma construída neste trabalho permite a realização de testes comparativos entre os serviços IP Multicast e SSM para distribuição de TV na Internet.

#### O Serviço SSM

O serviço SSM é especializado na distribuição de aplicações de fonte única. Seu modelo de serviço reduz a conversação *multicast* para um-para-muitos e usa o conceito de canal como abstração de serviço. Isto torna o problema da alocação de endereços local à fonte, permite o controle de acesso ao canal e garante a integridade das aplicações, exigências para a distribuição de TV na Internet não atendidas pelo serviço IP Multicast.

Para observar as características do modelo de serviço SSM e compará-lo com o IP Multicast, foram realizados testes envolvendo múltiplas fontes transmitindo para o mesmo endereço de grupo e diversos clientes, que requisitam o conteúdo destas fontes.

O objetivo dos experimentos é simular uma transmissão de TV, em que somente alguns usuários têm direito a assinar o canal e, portanto, conhecem o endereço  $S$  da fonte. O endereço de destino do canal  $G$  é divulgado publicamente pela emissora de TV, o que possibilita a tentativa de uma ação maliciosa por parte de um usuário mal-intencionado.

Tanto a fonte, quanto os clientes, usam uma versão modificada da ferramenta VIC [9]. O usuário mal-intencionado gera tráfego com a ferramenta **iperf** [10].

Nos testes, o servidor de vídeo, fonte  $S$ , transmite conteúdo de vídeo, para um endereço de destino  $G$ , exclusivo da faixa SSM. Um cliente  $C_1$  que tem direito a assinar o canal, envia à fonte uma mensagem de assinatura ( $S,G$ ) e passa a receber o vídeo. Um outro cliente  $C_2$ , ao qual não é permitido o acesso ao canal e, portanto, não conhece o endereço  $S$  da fonte, tenta receber o conteúdo de vídeo apenas enviando à fonte uma mensagem de inscrição ao grupo  $G$ . Não houve

sucesso nesta tentativa. O pedido de inscrição ao grupo  $G$  não foi encaminhado à fonte pelo próprio roteador local do cliente  $C_2$ , uma vez que pertence à faixa exclusiva SSM.

Em outra situação um usuário mal-intencionado  $M$  tenta interferir na transmissão de vídeo. Para isso, ele atua como uma fonte enviando dados ao endereço de destino  $G$ , usado pelo servidor de vídeo. Esta outra tentativa também não obteve sucesso. Como o interesse do cliente  $C_1$  é no canal  $(S,G)$  e os roteadores PIM-SSM só constroem árvores de distribuição por fonte, os pacotes enviados por  $M$  ao endereço  $G$  não foram encaminhados pelo seu próprio roteador local, uma vez que não havia nenhum receptor interessado no conteúdo da “fonte”  $M$ .

Estes mesmos testes foram realizados com o servidor de vídeo enviando o conteúdo para um endereço de grupo  $Y$ , da faixa IP Multicast. Nas duas situações descritas anteriormente, as ações maliciosas foram bem sucedidas. Um cliente sem autorização consegue receber o conteúdo enviado pelo servidor e um usuário mal-intencionado interfere na transmissão do vídeo.

É importante ressaltar que o modelo de serviço SSM facilita o controle de acesso ao grupo, mas não o garante. É possível que usuários mal-intencionados obtenham o endereço da fonte, farejando os enlaces por onde trafegam os pacotes endereçados ao destino conhecido  $G$ . Da mesma forma, um usuário conhecendo o endereço  $S$ , pode se passar pela fonte, usando a técnica IP *spoofing*, e enviar dados ao canal  $(S,G)$ .

## Protocolos de Roteamento Multicast

Os testes realizados simulam a transmissão de um programa de TV na Internet. Enquanto a fonte distribui o vídeo e os enlaces da rede são monitorados, os clientes se inscrevem e deixam um grupo. Dessa forma, é possível observar os mecanismos de construção e adaptação da árvore de distribuição de um protocolo de roteamento *multicast*. A configuração da plataforma usada nos testes comparativos entre os protocolos de roteamento é mostrada na Figura 1.

O cenário usado para os testes é descrito a seguir:

- em  $t = 0$  s, a fonte  $S$  começa a distribuir os pacotes de vídeo;
- em  $t = 20$  s, o cliente  $C_2$  requisita a inscrição em um grupo, ou a assinatura de um canal *multicast*;
- em  $t = 40$  s, outro cliente,  $C_3$ , requisita a inscrição no mesmo grupo, ou a assinatura do mesmo canal *multicast* de  $C_2$ ;
- em  $t = 60$  s, um terceiro cliente,  $C_4$ , requisita a inscrição no mesmo grupo, ou a assinatura do mesmo canal *multicast* de  $C_2$  e  $C_3$ ;
- entre  $t = 60$  s e  $t = 120$  s, não há nenhuma modificação na árvore de distribuição;
- em  $t = 120$  s, o cliente  $C_3$  deixa o grupo ou cancela a assinatura do canal *multicast*;
- em  $t = 160$  s, o cliente  $C_2$  deixa o grupo ou cancela a assinatura do canal *multicast*;
- em  $t = 180$  s, a fonte  $S$  deixa de distribuir o vídeo.

Para simular este cenário, foram usados *scripts* que executam as ferramentas de medição, geração e recepção de tráfego nos roteadores, clientes e no servidor de vídeo. Todas as máquinas

da plataforma de testes estão com os relógios sincronizados, através do protocolo NTP (*Network Time Protocol*).

Este cenário foi usado para avaliar o desempenho dos protocolos de roteamento *multicast* DVMRP, PIM-DM, PIM-SM e PIM-SSM. O protocolo PIM, precisa de um protocolo de roteamento *unicast* para construir a sua árvore de distribuição. Nos testes, por limitação da ferramenta *GateD*, foi utilizado o protocolo de estado de enlace OSPF. O roteador  $R_2$  foi escolhido como ponto de encontro em todos os experimentos envolvendo o PIM-SM.

A fonte transmite, durante um tempo de  $t$  segundos, pacotes UDP (*User Datagram Protocol*) de 1470 octetos a uma taxa de de 4,0 Mbps. Este valor corresponde à taxa de transmissão média de um vídeo codificado em MPEG-2 (*Moving Picture Experts Group - 2*), com resolução de  $720 \times 480$  *pixels* e taxa de 30 quadros por segundo. Estes valores são referentes ao padrão NTSC (*National Television System Committee*) [11]. O tráfego gerado pelo MPEG possui taxa de bits variável. Entretanto o uso de um tráfego de taxa de bits constante, gerado pela ferramenta *iperf*, não interfere nos resultados deste trabalho, uma vez que não são realizadas medidas de atraso e perda de pacotes. Os clientes usam o *iperf*, no caso dos protocolos IP Multicast, e o *ssmrec*, no caso do SSM. Para monitorar a rede é usada a ferramenta *tcpdump*, que permite a gravação em arquivo dos pacotes que trafegam por cada enlace da plataforma de testes.

O cenário usado na simulação do programa de TV permite a observação do comportamento de cada um dos protocolos durante a construção e adaptação da árvore de distribuição. As Figuras de 2(a) a 5(d) mostram a ocupação de todos os enlaces da plataforma de testes durante a simulação da transmissão de TV, para um determinado protocolo. Para cada protocolo, este mesmo experimento foi realizado cinco vezes. Os valores apresentados da Figura 2(a) até a Figura 5(d) correspondem à média dos resultados destes cinco experimentos. Os enlaces com taxa de utilização próxima de zero durante os experimentos foram omitidos dos gráficos e enlaces com comportamentos semelhantes são apresentados no mesmo gráfico.

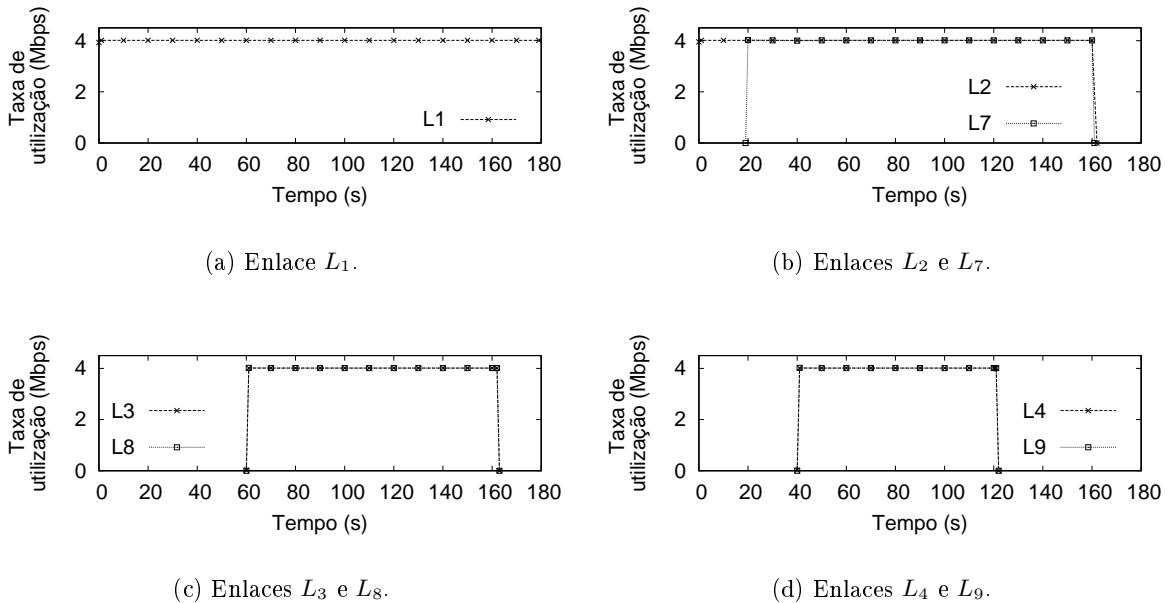


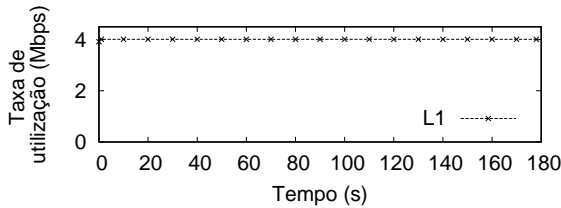
Figura 2: Ocupação dos enlaces para o DVMRP.

Idealmente, o enlace  $L_2$  deve estar ocupado a partir do instante  $t = 20$  s, pois ele faz parte

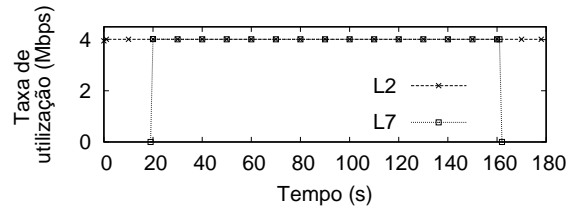


dos ramos da árvore que ligam a fonte  $S$  aos clientes  $C_2$ , primeiro a solicitar o conteúdo de  $S$ , e  $C_3$ , último cliente a deixar o grupo. Do mesmo modo, o enlace  $L_7$  só deve estar ocupado enquanto o cliente  $C_2$  tem interesse nos pacotes vindos de  $S$ . Por sua vez, os enlaces  $L_3$  e  $L_8$  só devem estar ocupados quando o cliente  $C_3$  requisita o conteúdo da fonte  $S$ . Por fim, os enlaces  $L_4$  e  $L_9$  só devem estar ocupados quando o cliente  $C_4$  tem interesse no tráfego da fonte  $S$ .

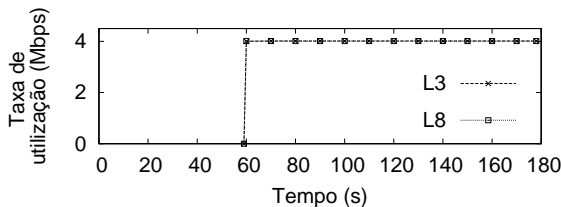
As Figuras 2(a), 3(a), 4(a) e 5(a) mostram o comportamento do enlace  $L_1$ , respectivamente, para os protocolos DVMRP, PIM-DM, PIM-SM e PIM-SSM. É possível notar que este enlace está sempre ocupado, pois é por ele que flui todo o tráfego do servidor de vídeo em direção aos clientes.



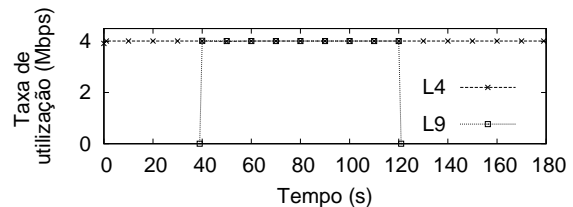
(a) Enlace  $L_1$ .



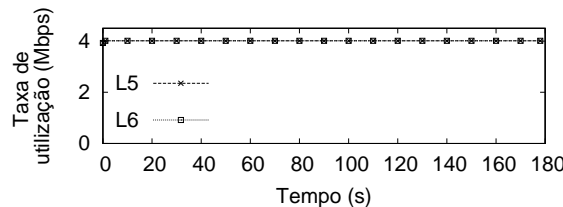
(b) Enlaces  $L_2$  e  $L_7$ .



(c) Enlaces  $L_3$  e  $L_8$ .



(d) Enlaces  $L_4$  e  $L_9$ .



(e) Enlaces  $L_5$  e  $L_6$ .

Figura 3: Ocupação dos enlaces para o PIM-DM.

Ao observar as Figuras de 2(a) a 5(d), nota-se que os protocolos de roteamento que usam um mecanismo de inundação-e-poda para construir a árvore de distribuição, neste caso o DVMRP e o PIM-DM, possuem uma maior taxa de utilização da rede.

O DVMRP inunda o enlace  $L_2$ , mostrado na Figura 2(b), durante os 20 s iniciais do experimento, quando não existe nenhum cliente interessado no conteúdo de  $S$ . Isto ocorre, pois o roteador  $R_2$  não envia uma mensagem de poda na interface pela qual recebe o tráfego de  $S$ . Além disso, como mostra a Figura 2(c), o cliente  $C_3$ , em  $t = 160$  s, deixa de receber pacotes *multicast* vindos da fonte, mesmo ainda sendo um membro do grupo. Isto ocorre, pois neste mesmo instante o cliente  $C_2$  envia uma mensagem ao seu roteador local, no caso  $R_2$ , para deixar

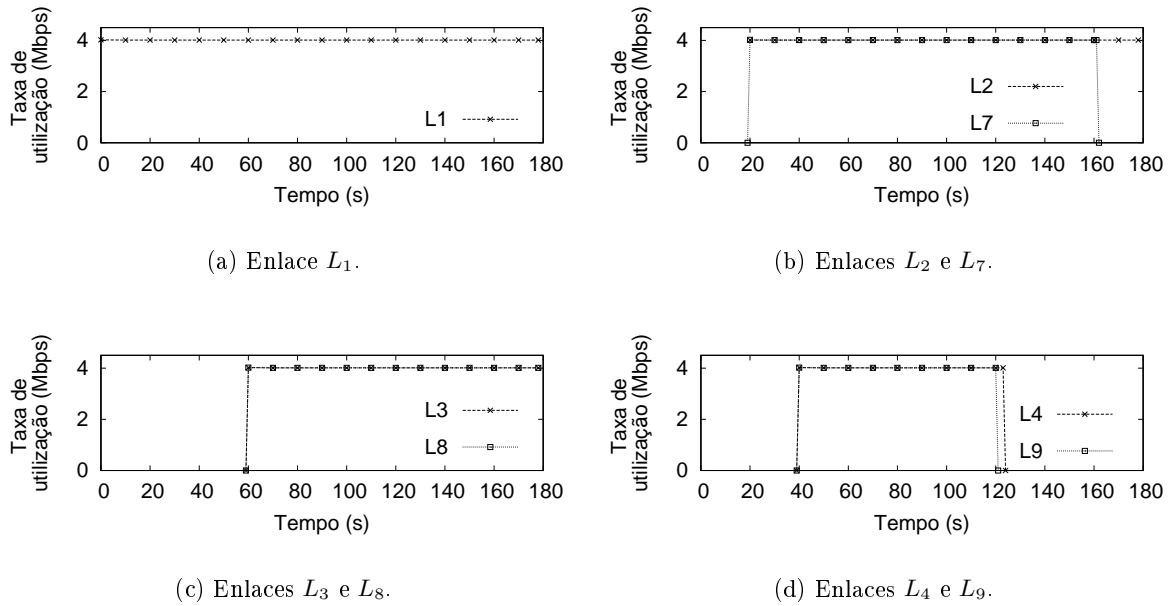


Figura 4: Ocupação dos enlaces para o PIM-SM.

o grupo. Mesmo sabendo que  $R_3$  o usa como pai na árvore de distribuição, o roteador  $R_2$  envia uma mensagem de poda na direção da fonte pelo enlace  $L_2$ . Este enlace, então, é podado da árvore de distribuição. Com isso, o cliente  $C_3$  deixa de receber o tráfego de  $S$ , uma vez que o enlace  $L_2$  faz parte do ramo da árvore entre a fonte e este cliente. Isto mostra que o protocolo DVMRP não funcionou corretamente durante a simulação da transmissão de TV, o que indica uma falha na implementação da ferramenta `GateD`.

O outro protocolo que usa o mecanismo de inundação-e-poda para construir a árvore de distribuição, o PIM-DM, apresenta a maior taxa de utilização da rede. Somente este protocolo inunda desnecessariamente, durante todo o experimento, os enlaces  $L_5$  e  $L_6$ , como mostra a Figura 3(e). O mesmo ocorre para o enlace  $L_2$ , durante os 20 s iniciais, e para o enlace  $L_4$ , durante os 40 s iniciais e entre  $t = 120$  s e  $t = 180$  s. A ocupação desnecessária dos enlaces ocorre, pois os roteadores  $R_2$  e  $R_4$  deixam de enviar mensagens de poda nas suas interfaces que não foram indicadas como a “melhor” durante a inundação inicial da rede. Apesar de manter a rede ocupada desnecessariamente, se comparado ao DVMRP, o PIM-DM funcionou corretamente, uma vez que todos os clientes recebem o tráfego da fonte, enquanto este é solicitado.

Os dois protocolos que usam o mecanismo de inscrição e poda explícitas para a construção da árvore de distribuição, o PIM-SM e o PIM-SSM, apresentam as menores taxas de utilização da rede, durante todo o experimento. No caso do PIM-SM, foi construída uma árvore por fonte, ao invés da árvore compartilhada, pois o valor da taxa de transmissão de dados da fonte era maior do que o limiar configurado nos roteadores. O comportamento similar destes dois protocolos era esperado, já que o PIM-SSM é uma versão simplificada do PIM-SM, que só constrói árvores por fonte.

A principal diferença entre estes protocolos está no número e na carga de pacotes de controle gerados por cada um deles. As Figuras 6(a) e 6(b) mostram, respectivamente, o número total de pacotes de controle de roteamento e a carga destes pacotes em todos os enlaces da rede. Este valores correspondem à média das cinco rodadas de testes. É possível notar que o PIM-SSM envia

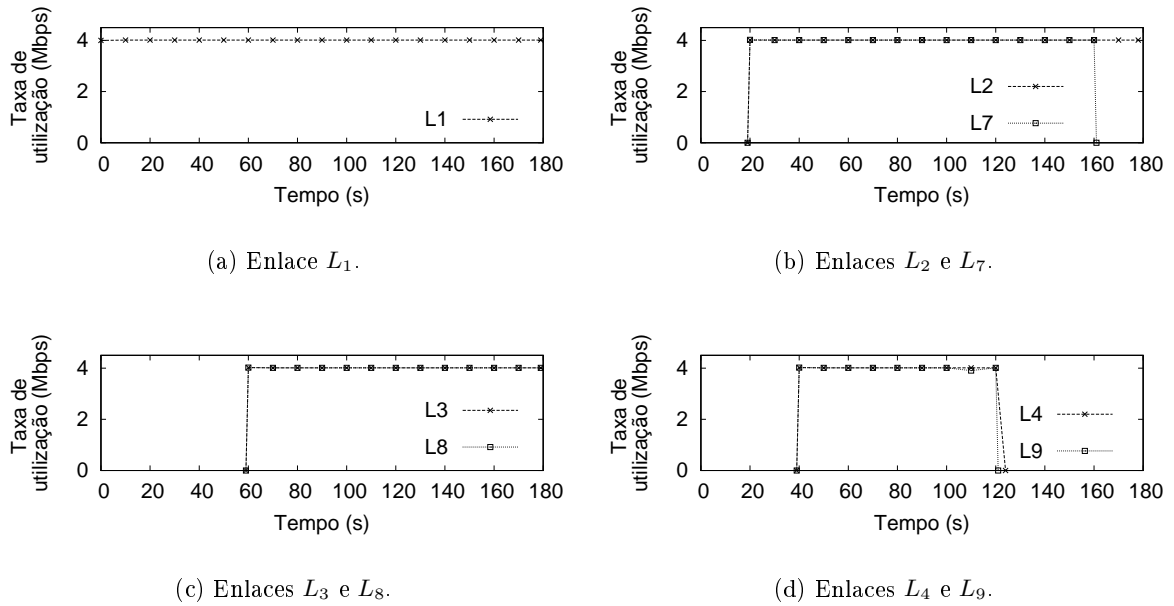


Figura 5: Ocupação dos enlaces para o PIM-SSM.

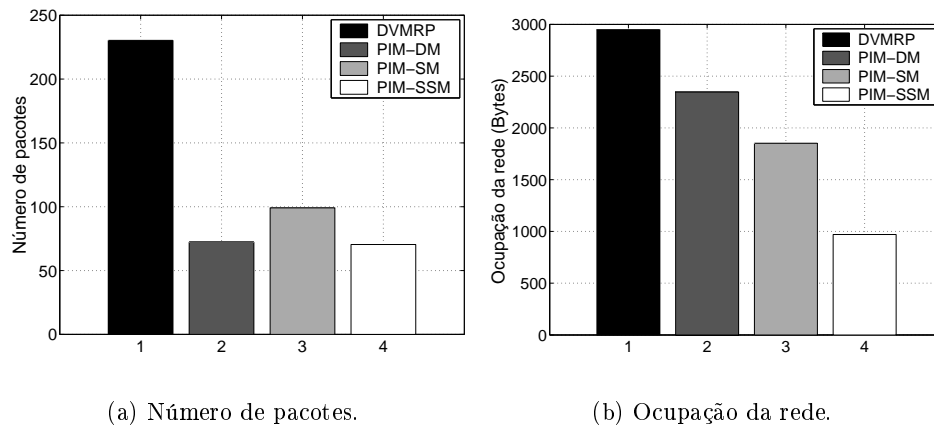


Figura 6: Pacotes de controle de roteamento em todos os enlaces.

menos mensagens de controle e que estas mensagens representam a menor carga na rede. A carga de controle gerada pelo PIM-SSM é 48,0% menor do que a gerada pelo PIM-SM. Quanto aos protocolos de inundação-e-poda, ambos geram uma maior carga de controle na rede. No entanto, por implementar o seu próprio protocolo de roteamento *unicast*, o DVMRP é o protocolo que envia o maior número de pacotes e gera a maior carga de controle na rede.

As Figuras 7(a) e 7(b) mostram o número de pacotes de dados em todos os enlaces da rede e carga gerada por estes pacotes em toda a rede. Este valores correspondem à média das cinco rodadas de testes. Por estes gráficos, pode-se comprovar o que foi observado nas Figuras 3(a) a 5(d). Nota-se que o PIM-DM, por usar um mecanismo de inundação-e-poda, apresenta uma taxa de utilização da rede 25,0% superior a do PIM-SM e a do PIM-SSM. Os dados do DVMRP não podem ser usados para fins de comparação, pois o protocolo não apresentou um funcionamento

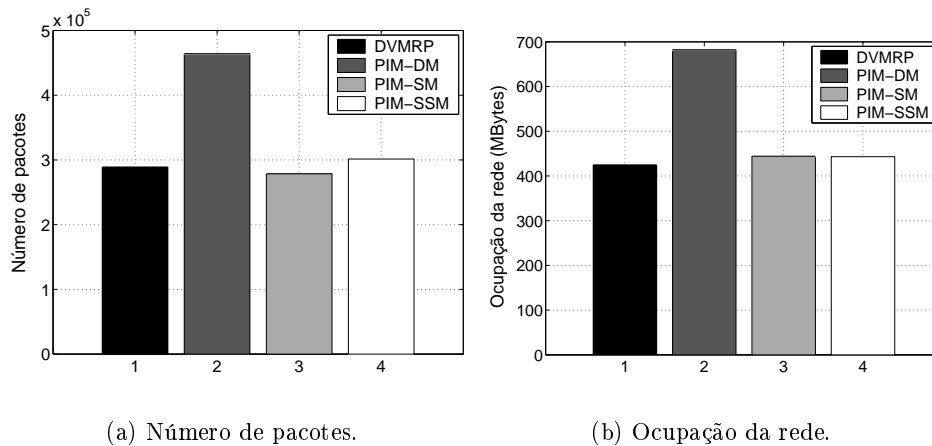


Figura 7: Pacotes de dados em todos os enlaces.

correto.

## 4 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade dos serviços de comunicação de grupo IP Multicast e SSM (*Source-Specific Multicast*) como mecanismos de distribuição de televisão na Internet. Para isso, foi desenvolvida uma plataforma de testes, que simula um domínio típico da Internet, com suporte aos protocolos necessários para implementar os serviços IP Multicast e SSM.

Os testes realizados mostraram a eficiência do serviço SSM, para distribuição de aplicações de fonte única, como a TV na Internet. Por reduzir a conversação *multicast* para um-paramuitos e usar o conceito de canal como abstração de serviço, o modelo de serviço SSM elimina o problema da alocação de endereços, permite o controle de acesso ao canal e garante a integridade das aplicações. Estes são problemas característicos do serviço IP Multicast, que devido a sua complexidade, vem sendo implantado lentamente na Internet.

O desempenho de alguns dos principais protocolos de roteamento *multicast* também foi analisado. Os protocolos avaliados foram o DVMRP, o PIM-DM, o PIM-SM, usados no IP Multicast, e o PIM-SSM, usado no serviço SSM. Para analisar o comportamento de cada protocolo, foram realizados experimentos que simularam uma transmissão de um programa de TV na Internet. As métricas usadas para comparar o desempenho dos protocolos foram a complexidade de configuração, a taxa de utilização dos enlaces da rede e o número e a carga de pacotes de controle de roteamento. O protocolo DVMRP possui a maior carga de controle, por implementar o seu próprio protocolo de roteamento *unicast*. Além disso, o protocolo não funcionou corretamente durante os testes, uma vez que deixou de entregar o tráfego de pacotes *multicast* para um cliente que ainda era membro do grupo. Já o PIM-DM, que usa um mecanismo de inundação-e-poda para construir sua árvore de distribuição, apresenta uma taxa de utilização da rede 25,0% superior a dos protocolos de mensagens de inscrição e poda explícitas, o PIM-SM e o PIM-SSM. Estes dois protocolos possuem a menor taxa de utilização da rede. Entretanto, o PIM-SSM gera a metade da carga de controle de roteamento do PIM-SM. Além disso, o protocolo PIM-SM é o que exige o maior esforço de configuração, devido à necessidade do uso de um roteador de ponto

de encontro. Por tudo isso, o PIM-SSM é o protocolo mais indicado para ser usado no serviço de distribuição de TV na Internet.

## Referências

- [1] S. Deering, *Host Extensions for IP Multicasting*. RFC 1112, agosto de 1989.
- [2] H. Holbrook e B. Cain, *Source-Specific Multicast for IP*. Trabalho em andamento, <draft-ietf-ssm-arch-04.txt>, outubro de 2003.
- [3] H. W. Holbrook e D. R. Cheriton, “IP multicast channels: EXPRESS support for large-scale single-source applications”, in *ACM SIGCOMM'99*, setembro de 1999.
- [4] L. H. M. K. Costa e O. C. M. B. Duarte, “Roteamento Multicast na Internet”, *Mini-Curso do XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2003*, pp. 228–275, maio de 2003.
- [5] C. Huitema, *Routing in the Internet*. Prentice Hall Inc, segunda ed., 2000.
- [6] A. Adams, J. Nicholas e W. Siadak, *Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)*. Trabalho em andamento, <draft-ietf-pim-dm-new-v2-04.txt>, setembro de 2003.
- [7] B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook e I. Kouvelas, *Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)*. Trabalho em andamento, <draft-ietf-pim-sm-v2-new-08.txt>, outubro de 2003.
- [8] “NextHop Technologies”, janeiro de 2004.  
<http://www.nexthop.com>.
- [9] “Openmash project”, fevereiro de 2004. <http://www.openmash.org>.
- [10] “Iperf - The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool”, fevereiro de 2004.  
<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.
- [11] D. Mackie, “Video streaming and MPEG4IP”, in *Cisco Technology Center*, 2001.