

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

GMTP: Distribuição de Mídias Ao Vivo através de uma Rede de Favores Constituída entre Roteadores

Leandro Melo de Sales

Tese de Doutorado submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande - Campus I como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências, domínio da Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos

Angelo Perkusich e Hyggo Almeida
(Orientadores)

Campina Grande, Paraíba, Brasil
©Leandro Melo de Sales, 03/03/2014

Resumo

Abstract

Agradecimentos

Conteúdo

1	Análise de Desempenho e do Projeto GMTP	1
1.1	Metodologia	2
1.1.1	Objetivo e hipótese	2
1.1.2	Topologia de rede	3
1.1.3	Definição das variáveis e parâmetros dos sistemas estudados	4
1.1.4	População e amostras	7
1.1.5	Tratamentos	7
1.1.6	Instrumentação	9
1.1.7	Formato da mídia	9
1.2	Resultados e Discussões	10
1.2.1	Qualidade de serviço à aplicação	10
1.2.2	Escalabilidade dos sistemas	10
1.2.3	Sobrecarga de controle	11
1.2.4	Compilação dos resultados	11
1.3	Análise do Projeto GMTP	11
1.4	Sumário do Capítulo	13
A	Detalhes dos Experimentos	16
A.1	Largura de Banda e Atraso de Propagação Utilizados na Rede Simulada	16
A.2	Inequação de Proporcionalidade	17
A.3	Resultados Compilados	18

Lista de Símbolos

3WHS – *Three Way Hand Shake*

ALTO – *Application-Layer Traffic Optimization*

ALM – *Application Layer Multicast*

BSD – *Berkley Software Distribution*

CCID – *Congestion Control IDentifier*

CCN – *Content Centric Networks*

CPM – *Cooperative Peer Assists and Multicast*

DASH – *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*

DCCP – *Datagram Congestion Control Protocol*

ECN – *Explicit Congestion Notification*

GMTP – *Global Media Transport Protocol*

HLS – *HTTP Live Streaming*

HDS – *HTTP Dynamic Streaming*

HySAC – *Hybrid Delivery System with Adaptive Content Management for IPTV Networks*

IANA – *Internet Assigned Numbers Authority*

ICN – *Information Centric Networks*

IETF – *Internet Engineering Task Force*

ITU-T – *International Telecommunication Union – Telecommunication Section*

NDN – *Named-Data Networks*

PDTP – *Peer Distributed Transfer Protocol*

POSIX – *Portable Operating System Interface*

PPETP – *Peer-to-Peer Epi-Transport Protocol*

PPSP – *P2P Streaming Protocol*

RCP – *Rate Control Protocol*

RTO – *Retransmission Timeout*

RTP – *Real Time Protocol*

RTSP – *Real Time Streaming Protocol*

RTT – *Round Trip Time*

SCTP – *Stream Control Transmission Protocol*

SIP – *Session Initiation Protocol*

Swift – *The Generic Multiparty Transport Protocol*

TCP – *Transport Control Protocol*

TFRC – *TCP Friendly Rate Control*

TTL – *Time-To-Live*

UDP – *User Datagram Protocol*

URI – *Uniform Resource Identifier*

VCP – *Variable-Structure Congestion Control Protocol*

XCP – *eXplicit Control Protocol*

Lista de Figuras

1.1	Versão resumida do <i>backbone</i> da rede GÉANT.	3
1.2	Exemplo de cálculo das variáveis dependentes ST, IC. Nesse caso, o valores ST = 4 s e IC = 70 %.	6
1.3	Taxa de bits variáveis dos primeiros 200 s da média utilizada no experimento (<i>Star Wars IV</i>).	10

Lista de Tabelas

1.1	Tabela das variáveis independentes utilizados no experimento.	5
1.2	Tabela dos fatores consideradas no experimento.	5
1.3	Tabela das variáveis dependentes (respostas) consideradas no experimento.	7
1.4	Tabela dos tratamentos executados no experimento.	8
1.5	Tabela das propriedades da mídia transmitida.	9
A.1	Largura de banda e atraso de propagação utilizados na rede simulada. . . .	16
A.2	Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada trata- mento do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming.	19
A.3	Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada trata- mento do confronto GMTP vs. CCN-TV.	24

Lista de Algoritmos

Capítulo 1

Análise de Desempenho e do Projeto GMTP

Como apresentou-se no Capítulo ??, o objetivo deste trabalho compreende três grandes fases: 1) revisar as técnicas e propostas para distribuição de mídias ao vivo; 2) propor o protocolo GMTP; e 3) avaliar o uso do GMTP para distribuição de mídias ao vivo. Nos Capítulos ?? e ??, contemplou-se a Fase 1; no Capítulo ??, a Fase 2 e, neste capítulo, concentram-se as discussões na Fase 3.

Sendo assim, avaliou-se o protocolo GMTP frente às propostas Denacast/CoolStreaming [1,2] e o CCN-TV [3]. Considerou-se dois principais critérios de seleção dessas propostas, em comparação ao GMTP: similaridade arquitetural e os recursos disponíveis para distribuição de mídias ao vivo. Tratam-se de duas propostas que adotam a maioria das estratégias disponíveis no estado da prática/arte para distribuição de mídias ao vivo, referenciadas na literatura e acessíveis para estudos comparativos.

O restante deste capítulo está organizado da seguinte forma: na Seção 1.1, apresenta-se a metodologia de avaliação. Na Seção 1.2, discutem-se os resultados da avaliação do desempenho do GMTP. Na Seção 1.3, analisa-se o projeto GMTP no tocante aos seus benefícios e funcionalidades. E, por fim, na Seção 1.4, sumariza-se este capítulo.

1.1 Metodologia

Para realizar a comparação entre protocolos supracitados, definiu-se a modalidade experimental em um ambiente de simulação de rede que proporcionou a construção de um cenário de rede para este fim. Através da definição de fatores (variáveis independentes), mediu-se e analisou-se as principais métricas (variáveis dependentes) que determinam a experiência do usuário ao assistir a um evento através de um sistema de distribuição de mídias ao vivo. Dessa forma, realizou-se um estudo aprofundado do comportamento do GMTP em relação aos seus principais concorrentes, estudando-o em diferentes configurações de rede a fim de determinar suas vantagens, limites e os impactos que seus recursos podem gerar tanto sobre os nós quanto sobre a rede.

A seguir, apresentam-se detalhes do projeto experimental executado, organizado em objetivo e hipótese, topologia de rede, variáveis e fatores, população e amostras, tratamentos, instrumentação e formato da mídia.

1.1.1 Objetivo e hipótese

O objetivo do experimento foi avaliar o desempenho do GMTP com vistas à hipótese enunciada de que a constituição de uma rede de favores entre roteadores que interceptam, realizam *cache* temporário e compartilham pacotes de dados tanto em modo *multicast* (em redes locais) quanto em modo *unicast* (entre redes distintas), auxiliados por um algoritmo para controle de congestionamento assistido pela rede, resulta em uma melhor distribuição dos fluxos de mídias ao vivo.

Para provar esta hipótese, organizou-se a avaliação experimental em duas etapas. Na primeira etapa, confrontou-se o GMTP com o Denacast/CoolStreaming e, na segunda, confrontou-se o GMTP com o CCN-TV. Em ambas as etapas, analisaram-se os valores obtidos referentes às métricas que determinam a qualidade de serviço dos sistemas de distribuição de mídias ao vivo, comparando-se o desempenho dos sistemas estudados.

1.1.2 Topologia de rede

Com esse norte, definiu-se a topologia da rede, como ilustra-se na Figura 1.3. Simulou-se uma versão resumida da rede GÉANT¹, composta por 27 roteadores. No Apêndice A, Seção A.1, apresentam-se as configurações de cada roteador e seus enlaces no tocante à largura de banda e atraso de propagação, com base na legenda da Figura 1.3.

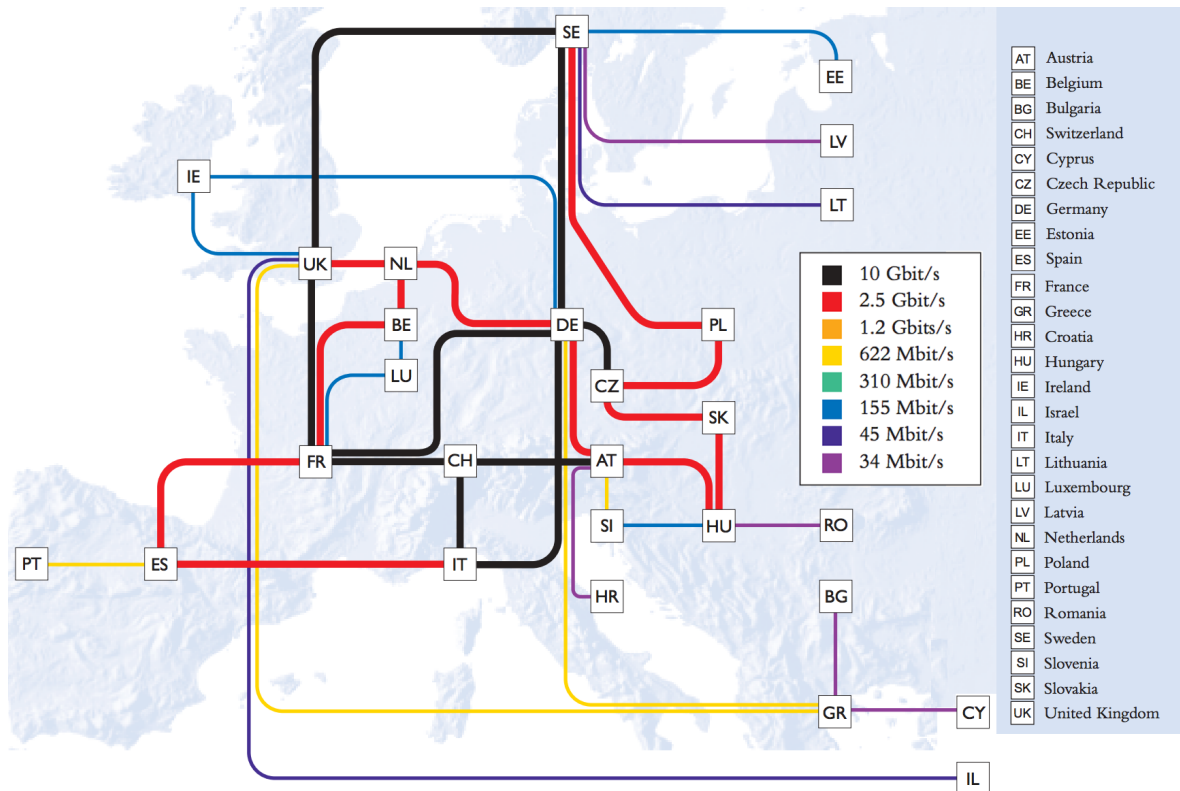


Figura 1.1: Versão resumida do *backbone* da rede GÉANT.

Com relação à conectividade dos nós clientes à rede, simulou-se redes locais através das quais os nós cliente estabeleceram conexões com os servidores. O objetivo foi simular redes institucionais (empresas, escolas, pequenos provedores, etc) e, para isto, gerou-se 27 sub-grafos aleatórios de um grafo completo, com 12 vértices (nós roteadores) e estabeleceu-se uma aresta entre dois vértices (enlace entre roteadores) da seguinte forma: iterou-se os 12 roteadores dois-a-dois, sorteando-se um número $x \in [0, 1]$. Com base no valor de x , decidiu-se com probabilidade de 60 % estabelecer um enlace entre os dois roteadores correspondentes à cada iteração. Além disso, assegurou-se o estabelecimento de pelo menos um enlace para

¹Rede GÉANT é a rede de pesquisa e educação pan-europeia, que interliga as Redes Nacionais de Pesquisa e Educação da Europa (NRENs) atualmente com 41 roteadores: <http://www.geant.net/>.

cada roteador e determinou-se uma largura de banda de 100 *Mbps* e atraso de propagação de 1 *ms* entre todos os enlaces da rede local. Em seguida, para cada roteador do *backbone*, estabeleceu-se um enlace de 100 *Mbps* com um dos roteadores de uma das redes locais (escolhida aleatoriamente dentre as 27 geradas).

Por fim, os nós clientes foram distribuídos nas redes locais de forma sequencial, um para cada roteador até distribuir todos os clientes nas redes locais. Por exemplo, supondo-se um tratamento com 500 nós clientes, o nó cliente 1 foi conectado ao nó roteador 1, o nó cliente 2 foi conectado ao nó roteador 2 e assim sucessivamente até atingir o 27º roteador (conectando-se o nó cliente 27), recomeçando-se a contagem do número de roteadores até atingir o número máximo de nós clientes determinado no respectivo tratamento. Desta forma, todos os sistemas foram submetidos às mesmas condições de distribuição dos nós cliente.

Como resultado dessa estratégia, simulou-se uma rede constituída por 324 roteadores, utilizada na execução de todos os tratamentos do experimento. Com isto, garantiu-se que todos os sistemas avaliados fossem submetidos à mesma topologia de rede e distribuição dos nós clientes.

1.1.3 Definição das variáveis e parâmetros dos sistemas estudados

As variáveis foram definidas em 3 categorias: independentes, fatores e dependentes.

Variáveis independentes:

Na Tabela 1.1, apresentam-se as variáveis independentes utilizadas no experimento, com base na topologia da rede apresentada anteriormente.

Fatores:

Na Tabela 1.2, apresentam-se os fatores considerados no experimento. Os tratamentos foram determinados pelo produto cartesiano desses fatores.

Variáveis dependentes:

As principais métricas para medir um sistema de distribuição de mídias ao vivo podem ser organizadas em três categorias [4], apresentadas a seguir.

Tabela 1.1: Tabela das variáveis independentes utilizados no experimento.

Parâmetros	Valores
Dinâmica da rede (<i>churn</i>) ¹	RandomChurn
Número de nós roteadores (<i>backbone</i>)	27
Número de nós roteadores nas redes locais	12
Número total de roteadores	324
Largura de banda das redes locais	100 <i>Mbps</i>
Atraso de propagação das redes locais	1 <i>s</i>
Tempo de simulação de cada ensaio	900 <i>s</i>
Tamanho do buffer circular (roteadores)	40 <i>s</i>
Tamanho máximo do datagrama	1500 <i>Bytes</i> (OverSim) e 4096 <i>Bytes</i> (CCNSim)
Taxa de upload dos nós	512 <i>Kbps</i> , 1 <i>Mbps</i> , 2 <i>Mbps</i> (Heterogênea)
Tipo da mídia ²	MPEG4 Part I

¹ Para mais detalhes, consultar Seção 1.1.5.² Para mais detalhes, consultar Seção 1.1.7.

Tabela 1.2: Tabela dos fatores consideradas no experimento.

Fatores	Valores
Número de nós servidores	1, 3, 5
Número de nós clientes ¹	500; 1.500; 15.000; 30.000; 60.000; 80.000

¹ Todos os clientes solicitaram a mídia nos primeiros 200 *s* de cada ensaio. Mais detalhes na Seção 1.1.5.

1. *Qualidade de serviço à aplicação*: avaliam-se o atraso para iniciar a reprodução da mídia após um cliente requisitá-la ao servidor (ST); o índice de continuidade (IC); e a distorção do conteúdo em comparação ao original (DI). Como ilustra-se na Figura 1.2, a variável ST é o tempo transcorrido entre um nó cliente requisitar a mídia e receber o primeiro pacote de dados reproduzível. O valor da variável IC corresponde à razão entre o número de pacotes de dados da mídia entregues ao nó cliente antes do momento de reproduzi-los e o número total de pacotes de dados transmitidos. Por fim, o valor da variável DI corresponde à razão entre o número de quadros com erros e o número total de quadros disponíveis para serem entregues em um certo período. Para efeito de cálculo das variáveis IC e DI, considerou-se apenas o período em que cada nó cliente permaneceu conectado à rede. Por exemplo (Figura 1.2), se um nó cliente 1 se conectou no instante 14 *s*, começou a receber os pacotes de dados reproduzíveis no instante 19 *s* (ST=4) e foi desconectado no instante 49 *s*, considerou-se apenas os pacotes de dados entre os instantes 19 *s* e 48 *s* para calcular os valores de CI e DI do nó cliente 1. Note que podem ocorrer quadros de vídeo com erro por dois motivos:

- (a) *Atraso de chegada*: o nó recebeu o quadro corretamente, porém não foi possível reproduzi-lo por ter expirado (quadro recebido após o instante de sua correta reprodução);
- (b) *Devido às perdas de dependência*: o nó recebeu o quadro corretamente, porém não foi possível decodificá-lo devido à dependência de outro quadro indisponível.

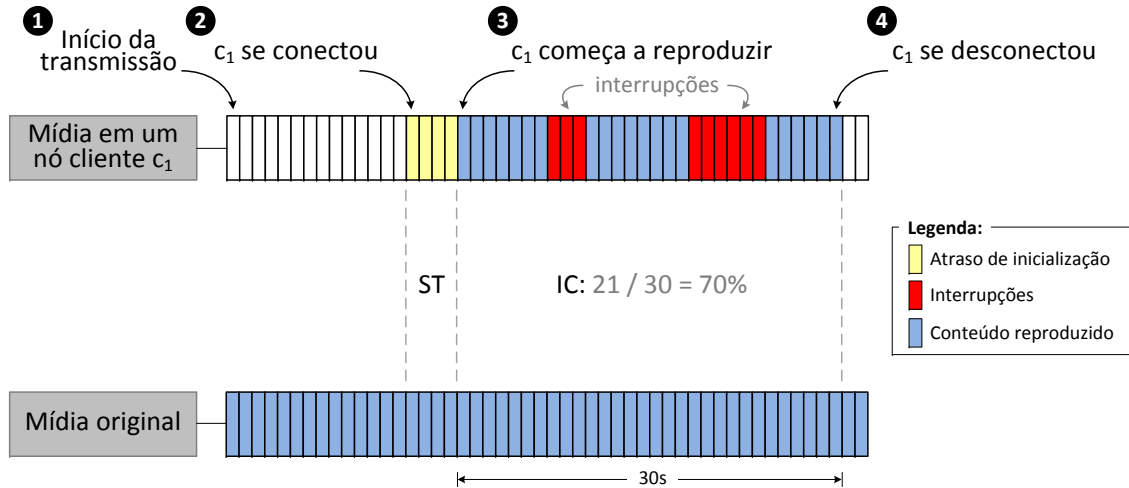


Figura 1.2: Exemplo de cálculo das variáveis dependentes ST, IC. Nesse caso, o valores $ST = 4s$ e $IC = 70\%$.

2. *Escalabilidade do sistema*: avalia-se a quantidade de nós simultâneos que foram capazes de receber o fluxo de dados da mídia transmitida com um nível de distorção máximo (ES). Nesse caso, mediu-se também o nível de contribuição das redes CDN e P2P, que corresponde à quantidade de fluxos transmitidos pelos servidores (QS) da CDN e pelos nós da rede P2P entre si (QP).
3. *Sobrecarga de controle*: avalia-se a quantidade de pacotes de controle (PC) transmitidos por um protocolo durante o tempo de simulação (contagem dos pacotes que não transportam dados da mídia), considerando-se 0,5 cada pacote de *piggyback*.

Com base nessas métricas, determinou-se as variáveis dependentes, apresentadas na Tabela 1.3.

Tabela 1.3: Tabela das variáveis dependentes (respostas) consideradas no experimento.

Variáveis dependentes	Símbolo
Atraso de inicialização do fluxo	ST
Índice de continuidade (%)	IC
Distorção do vídeo (%)	DI
Número de conexões ao servidor	QS
Número de conexões entre clientes	QP
Número de pacotes de controle	PC

1.1.4 População e amostras

Constituiu-se a população por dados coletados durante a execução dos ensaios de acordo com às variáveis dependentes apresentadas na Tabela 1.3, com amostras coletadas a cada segundos. Como a duração de cada ensaio foi de 900 s, coletou-se 900 amostras e o valor final de cada variável dependente em cada ensaio foi determinado pela média aritmética das respectivas amostras.

1.1.5 Tratamentos

Na Tabela 1.4, apresentam-se os tratamentos considerados no experimento, definidos com base na combinação dos fatores apresentados na Tabela 1.2. Definiu-se como as unidades experimentais o GMTP, o Denacast/CoolStreaming e o CCN-TV, comparados em confrontos dois-a-dois, fixando-se o GMTP, em execuções não simultâneas. Executaram-se $XXXX$ ensaios distribuídos em 36 tratamentos, 18 para o confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming ($XXXX$ ensaios) e 18 para o confronto GMTP vs. CCN-TV ($XXXX$ ensaios).

Com relação a execução de cada tratamento, estabeleceu-se a execução de 50 ensaios iniciais, obtendo-se assim 50 amostras para cada variável dependente. Em seguida, calculou-se a média das amostras iniciais e, para realizar comparações com 95 % de certeza, calculou-se a quantidade total de ensaios (n_t) necessários para este nível de confiança. Assim, para calcular n_t dadas duas médias iniciais μ_1, μ_2 de uma certa variável dependente, cada uma obtida pela execução dos respectivos sistemas confrontados, determinou-se $n_t = \max(n_{ST}, n_{IC}, n_{DI}, n_{QS}, n_{QP}, n_{PC}) + 1$, onde os valores $n_{ST}, n_{IC}, n_{DI}, n_{QS}, n_{QP}, n_{PC}$ foram obtidos através da inequação de proporcionalidade para comparar duas alternativas [5]. No Apêndice A, Seção A.2, apresentam-se mais detalhes sobre o cálculo de n_t .

Tabela 1.4: Tabela dos tratamentos executados no experimento.

Tratamento #	Número de nós servidores (conectado(s) a)	Número de nós clientes
1	1 (DE)	500
2		1.500
3		15.000
4		30.000
5		60.000
6		80.000
7	3 (DE, EE, PT)	500
8		1.500
9		15.000
10		30.000
11		60.000
12		80.000
13	5 (DE, EE, PT, NL, HU)	500
14		1.500
15		15.000
16		30.000
17		60.000
18		80.000

Antes da execução de todos os ensaios de cada tratamento, executaram-se outras ações importantes:

1. Configurou-se todos os nós clientes para enviar a requisição da mídia a um servidor escolhido específico, escolhido aleatoriamente (distribuição uniforme). Sendo assim, garantiu-se que todos os sistemas avaliados fossem submetidos às mesmas quantidades de requisições ao(s) nó(s) servidor(es).
2. Definiu-se a taxa de *upload* de cada nó cliente com base em uma escolha aleatória entre as seguintes opções: 512 Kbps, 1 Mbps, 2 Mbps (distribuição uniforme). Dessa forma, assegurou-se que os nós clientes foram submetidos as mesmas capacidades de transmissão, independente do sistema avaliado.
3. Todos os nós clientes requisitaram a mídia nos primeiros 200 s. Para definir o instante de cada requisição do cliente definiu-se o seguinte: gerou-se uma quantidade de números inteiros entre 0 – 200 igual à quantidade de nós clientes determinado para um certo tratamento. Por exemplo, no Tratamento 1 foram sorteados 500 números inteiros aleatórios entre 0 – 200 e somou-se o número de ocorrências de cada número sorteado.

Durante a execução dos ensaios, adicionou-se à rede a quantidade de nós correspondente ao número de ocorrências em cada instante da simulação. Por exemplo, se o número 199 foi sorteado 10 vezes, no instante 199 da simulação foram adicionados 10 nós clientes que imediatamente requisitaram a mídia ao servidor. Dessa forma, garantiu-se que os sistemas foram submetidos às mesmas condições iniciais de conexão entre os nós clientes e os nós servidores.

4. A função de *churn* foi acionada no instante 400 s. A estratégia foi a seguinte: a cada intervalo de 5 s, um número $x \in [0, 1]$ foi gerado. Dependendo do valor de x , 10 % dos nós clientes foram mantidos ou removidos com uma probabilidade de 0.7. Ou seja, os nós foram mantidos conectados à rede com uma probabilidade de 70 % e removidos com uma probabilidade de 30 %. Com isto, garantiu-se que todos os sistemas avaliados fossem submetidos às mesmas condições de dinâmica da rede.

1.1.6 Instrumentação

Com relação à instrumentação, utilizou-se OMNet++ [6, 7], um arcabouço para construção de simuladores de rede. Nesse contexto, utilizaram-se dois simuladores: o OverSim [8] e o CCN-Sim [9]. No OverSim, utilizaram-se as implementações do sistema Denacast/CoolStreaming [10] e a do GMTP [11] (implementado no contexto deste trabalho), ao passo que no CCN-Sim, utilizou-se a implementação do CCN-TV [12].

1.1.7 Formato da mídia

Na Tabela 1.5, apresentam-se as propriedades da mídia utilizada no experimento [13].

Tabela 1.5: Tabela das propriedades da mídia transmitida.

Propriedades	Valores
Mídia sintetizada	<i>Star Wars IV</i>
Codec do vídeo	MPEG4 Part I
Número de quadros	25 <i>fps</i>
Número de quadros em GoP	12
Média VBR	512 <i>Kbps</i>

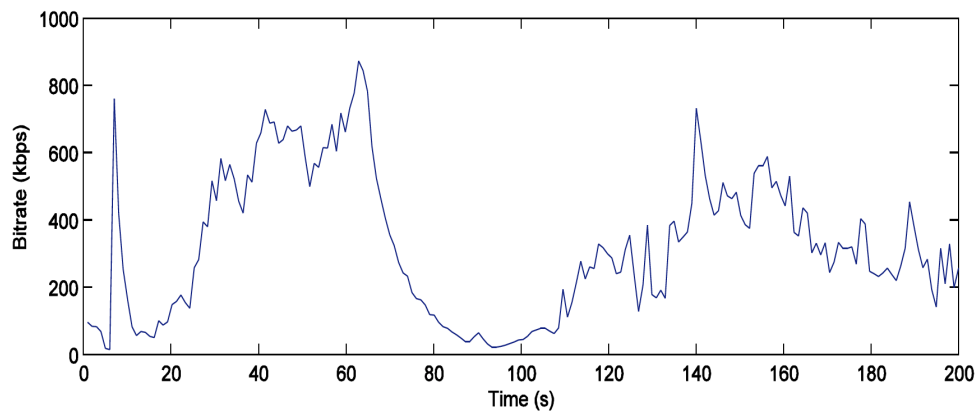


Figura 1.3: Taxa de bits variáveis dos primeiros 200 s da mídia utilizada no experimento (*Star Wars IV*).

Com base na metodologia apresentada nesta seção, coletaram-se as amostras para as variáveis dependentes e realizou-se uma análise dos dados a fim de provar a hipótese enunciada na Seção 1.1.1.

1.2 Resultados e Discussões

Nesta seção, apresentam-se os resultados e discussões dos confrontos GMTP vs. Denacast/CoolStreaming e GMTP vs. CCN-TV. Salienta-se que a metodologia discutida anteriormente assegura uma análise estatística dos resultados obtidos e discussões comparativas sobre o desempenho do GMTP em relação aos dois sistemas oponentes considerados, sem garantias estatísticas de comparação e portanto conclusivas entre o Denacast/CoolStreaming e o CCN-TV.

RECALCULAR E CITAR AS TABELAS

Acho que é melhor colocar cada seção de acordo com a classificação das métricas

1.2.1 Qualidade de serviço à aplicação

Qualidade da mídia x Número de nós clientes

Atraso de inicialização x Número de nós clientes

1.2.2 Escalabilidade dos sistemas

Conexões ao servidor x Conexões entre clientes

1.2.3 Sobrecarga de controle

Pacotes de Controle x Número de nós clientes

1.2.4 Compilação dos resultados

Pensar num gráfico que relacione a média geométrica de todos as variáveis dependentes com os fatores. Em um contexto geral, comparando em um único número para cada protocolo, fazer um gráfico de barras, usar média geométrica, ou seja:

Dizer que o GMTP tem um melhor desempenho porque a seleção de nós considera a capacidade do canal

Melhorar o capítulo do GMTP em duas coisas: cabeçalho genérico e a parte de seleção dos melhores caminhos com base na capacidade atual do canal (o problema que pode ocorrer é de flash-crowd)

CCN-TV 6550523

Olhar os gráficos desse artigo

cite 6607500 cite 6386696

1.3 Análise do Projeto GMTP

USAR ISSO PARA RESPONDER A QUESTÃO SECUNDÁRIA DEFINIDA NA PROBLEMÁTICA

Neste capítulo, especificamente nesta seção, objetiva-se justificar a proposta do GMTP não apenas como um protocolo com o apelo de reduzir a complexidade dos recursos disponibilizados na camada de aplicação, mas também discutir que um conjunto mínimo de serviços, quando organizados de forma mais apropriada (nas camadas inferiores), tornam-se equivalentes aos recursos dos atuais sistemas e ainda possibilitam melhorias substanciais tanto no projeto da aplicação quanto no uso dos recursos de rede.

Com esse norte e organizando a discussão de acordo com a Figura ??, enumeram-se 7 principais benefícios promovidos pelo GMTP tanto aos sistemas de distribuição de mídias ao vivo e quanto às redes, relacionando-os com os recursos atualmente empregados na camada de aplicação.

- *Conexão multi-ponto e tratamentos de diferentes topologias:* Nos sistemas existentes, tratam-se aspectos de conexão multi-ponto
- *Seleção de nós:*
- *tolerância a desconexões e outros problemas causados pelo churn:*
- *disponibilização de informação de contexto sobre rede para dar suporte à execução dos serviços das aplicações, como localização da rede, medições e custos entre redes para melhorar a qualidade de serviços dos sistemas finais:*
- *estratégias para incentivos à cooperação entre nós:*
- *algoritmos para inibir a participação de nós free-riders:*
- *adaptação de fluxo baseado na capacidade de recepção dos nós:*
- *segurança:*

across different administrative domain traffic isolation sem precisar considerar IGP, BGP etc? ler a respeito diffserv? qual é o outro mesmo? mencionar na problemática?

futuro: estudar gmtp + anycast?

1. *Otimização arquitetural:* das aplicações existentes... cliente/servidor, p2p/cdn... usar a palavra automático para criação de canais multicast, inclusive entre diferentes domínios administrativos, uso transparente de estratégias de redes de favores e cdn
2. *Interoperabilidade entre sistemas:* conexão, unifica... unifica as aplicações clientes no ponto de vista do processo de conexão e obtenção dos dados, uma vez que todo esse processo ocorre na camada de transporte sem qualquer influência da aplicação. Isto significa que se existir um nó executando um cliente do sistema PPLive e um outro cliente do sistema SopCast, portanto desenvolvido por equipes diferentes, ambos ainda sim serão compatíveis e capazes de cooperar entre si na obtenção do fluxo de mídia de interesse comum; "Arquiteturalmente, o GMTP resolve o problema de permitir a interoperabilidade dos sistemas e otimiza o uso de recursos de rede ..."
3. *Facilidade na integração:* das aplicações existentes... falar da api socket

4. *Melhor utilização dos recursos de rede:* controle de congestionamento assistido pela rede, tragédia dos bens comuns...
5. *Flexibilidade de uso:* gmtp-inter gmtp-intra extensibilidade, o cara pode fazer um novo gmtp-intra e usar tudo do gmtp-inter
6. *Eliminação de recursos paliativos e fenômenos consequentes:* das aplicações por quê? pegar a lista abaixo e meter o pau!
7. *Generalização de boas práticas e abstração da complexidade:* citar o que era de aplicação e foi pra dentro do GMTP

- isso é tão verdade que na próxima seção serão comparadas uma aplicação gmtp, com um sistema proeminente atualmente e um sistema que segue uma proposta de uma arquitetura futura da internet.

Sendo assim, o que resta para a aplicação? replicar conteúdo nos servidores da cdn e estratégias para acessa-los (load balancing etc)

acho que seria muito bom colocar a QeA aqui, não desistir fácil dessa ideia, pois trará mais robustez a essa seção. Colocar aqui dentro ou lá no final desse cap? ou nas concls?

- O GMTP não é um protocolo multicast fim-a-fim, mas usa multicast na rede local: evitar problemas de integração

1.4 Sumário do Capítulo

A interoperabilidade é uma medição arquitetural, explicar isso. Como medir a quantidade de aplicações de distribuição de mídias ao vivo diferentes e a quantidade de eventos iguais sendo transmitidos

Bibliografia

- [1] Anahita Fellah Jahromi. Temporal Scalable Live Video Streaming over Hybrid CDN-P2P Architecture. *International Journal of Computer Applications*, 46(17):14–20, May 2012. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.
- [2] S. M Y Seyyedi and B. Akbari. Hybrid cdn-p2p architectures for live video streaming: Comparative study of connected and unconnected meshes. In *Computer Networks and Distributed Systems (CNDS), 2011 International Symposium on*, pages 175–180, Feb 2011.
- [3] V. Ciancaglini, G. Piro, R. Loti, L.A. Grieco, and L. Liquori. CCN-TV: A Data-centric Approach to Real-Time Video Services. In *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2013 27th International Conference on*, pages 982–989, March 2013.
- [4] Z. Chen, H. Yin, C. Lin, Y. Chen, and M. Feng. Towards a Universal Friendly Peer-to-Peer Media Streaming: Metrics, Analysis and Explorations. *Communications, IET*, 3(12):1919–1933, 12 2009.
- [5] Raj Jan. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. John Wiley & Sons, Inc, 1 edition, 3 1991.
- [6] He Xu, Suo ping Wang, Ru chuan Wang, and Ping Tan. A Survey of Peer-to-Peer Simulators and Simulation Technology. *Journal of Convergence Information Technology*, 6(5):260–272, 5 2011.
- [7] Andras Varga. OMNeT++: Extensible, Modular, Component-based C++ Simulation

- Library and Framework for Building Network Simulators, 3 2014. <http://www.omnetpp.org/>. Último acesso: 30 de Março de 2014.
- [8] Stephan Krause Ingmar Baumgart, Bernhard Heep. OverSim: the Overlay Simulation Framework, 3 2014. <http://www.oversim.org/>. Último acesso: 30 de Março de 2014.
- [9] Giuseppe Rossini, Raffele Chiocchetti, Andrea Araldo, and Dario Rossi. CCN-Sim: Scalable Chunk-level Simulator of Content Centric Networks (CCN), 3 2014. <http://perso.telecom-paristech.fr/~drossi/index.php?n=Software.CcnSim>. Último acesso: 30 de Março de 2014.
- [10] S. M Y Seyyedi and B. Akbari. Denacast: A P2P/CDN Video Streaming System in OverSim, 3 2014. <http://www.denacast.org/>. Último acesso: 30 de Março de 2014.
- [11] Leandro Melo de Sales. Global Media Transmission Protocol (GMTP), 3 2014. <http://www.gmtp-protocol.org/>. Último acesso: 30 de Março de 2014.
- [12] Vincenzo Ciancaglini, Giuseppe Piro, Riccardo Loti, Luigi Alfredo Grieco, and Luigi Liquori. CCN-TV: Data-Centric Approach to Real-Time Video Services, 3 2014. <http://telematics.poliba.it/index.php/en/ccn-tv>. Último acesso: 30 de Março de 2014.
- [13] F. H P Fitzek and M. Reisslein. MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation. *Network, IEEE*, 15(6):40–54, 11 2001.

Apêndice A

Detalhes dos Experimentos

Neste apêndice, apresentam-se alguns detalhes relacionados aos experimentos realizados.

A.1 Largura de Banda e Atraso de Propagação Utilizados na Rede Simulada

Tabela A.1: Largura de banda e atraso de propagação utilizados na rede simulada.

#	Roteador 1	Roteador 2	Largura de Banda	Atraso de Propagação
1	DE	SE	10 <i>Gbps</i>	6.34 <i>ms</i>
2	DE	CZ	10 <i>Gbps</i>	2.10 <i>ms</i>
3	DE	FR	10 <i>Gbps</i>	11.39 <i>ms</i>
4	DE	IT	10 <i>Gbps</i>	11.93 <i>ms</i>
5	DE	NL	2.5 <i>Gbps</i>	5.23 <i>ms</i>
6	DE	AT	2.5 <i>Gbps</i>	4.71 <i>ms</i>
7	DE	GR	622 <i>Mbps</i>	21.69 <i>ms</i>
8	DE	IE	155 <i>Mbps</i>	13.69 <i>ms</i>
9	SE	UK	10 <i>Gbps</i>	14.59 <i>ms</i>
10	SE	EE	155 <i>Mbps</i>	8.78 <i>ms</i>
11	SE	LV	34 <i>Mbps</i>	9.71 <i>ms</i>
12	SE	LT	45 <i>Mbps</i>	10.78 <i>ms</i>
Continuação na próxima página				

Tabela A.1 – continuação da página anterior

#	Roteador 1	Roteador 2	Largura de Banda	Atraso de Propagação
13	SE	PL	2.5 Gbps	6.49 ms
14	UK	FR	10 Gbps	5.51 ms
15	UK	NL	2.5 Gbps	1.29 ms
16	UK	IE	155 Mbps	3.97 ms
17	UK	IL	45 Mbps	36.09 ms
18	UK	GR	155 Mbps	31.25 ms
19	FR	CH	10 Gbps	3.84 ms
20	FR	BE	2.5 Gbps	4.56 ms
21	FR	LU	155 Mbps	3.34 ms
22	CH	AT	10 Gbps	4.01 ms
23	CH	IT	10 Gbps	2.14 ms
24	IT	ES	2.5 Gbps	7.54 ms
25	NL	BE	2.5 Gbps	1.18 ms
26	BE	LU	155 Mbps	1.16 ms
27	PL	CZ	2.5 Gbps	3.64 ms
28	CZ	SK	2.5 Gbps	2.21 ms
29	SK	HU	2.5 Gbps	2.13 ms
30	AT	HU	2.5 Gbps	3.68 ms
31	AT	HR	34 Mbps	3.88 ms
32	AT	SI	633 Mbps	1.18 ms
33	HU	SI	155 Mbps	2.18 ms
34	HU	RO	34 Mbps	2.18 ms
35	ES	PT	622 Mbps	2.57 ms
36	CY	GR	34 Mbps	2.57 ms
37	BG	GR	34 Mbps	2.57 ms

A.2 Inequação de Proporcionalidade

No experimento realizado para comparar uma aplicação do protocolo GMTP com os sistemas Denacast/CoolStreaming, apresentado no Capítulo 1, fez-se necessário determinar a quantidade de repetição de um tratamento para que fosse possível comparar, com 95 % de

certeza, os valores obtidos para as variáveis dependentes nos confrontos estabelecidos. Para isto, cada valor de n que representou uma variável dependente (por exemplo, n_{ST}) foi calculado através da Inequação A.1, onde μ_1 correspondeu à média obtida para uma variável dependente através da execução de um dos sistemas do confronto e, μ_2 , a média obtida para a mesma variável dependente através da execução do outro sistema.

$$\mu_1 \pm 1.96 \sqrt{\frac{0,995\mu_1}{n}} \leq \mu_2 \pm 1.96 \sqrt{\frac{0,995\mu_2}{n}} \quad (\text{A.1})$$

A.3 Resultados Compilados

Na Tabela A.2, apresentam-se os resultados do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming e na Tabela A.3 os resultados do confronto GMTP vs. CCN-TV.

Tabela A.2: Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada tratamento do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming.

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle	n
GMTP 1 Denacast	4.80 (4.59 – 5.02)	92.96 (91.97 – 93.95)	93.94 (92.93 – 94.95)	260.93 (225.75 – 296.11)	253.81 (218.63 – 288.99)	986.98 (909.02 – 1064.95)	58
	10.35 (10.12 – 10.58)	73.84 (70.19 – 77.48)	68.41 (64.34 – 72.48)	256.02 (219.95 – 292.09)	253.53 (217.46 – 289.61)	1799.38 (1617.28 – 1981.48)	
GMTP 2 Denacast	4.91 (4.71 – 5.12)	93.60 (92.66 – 94.55)	93.09 (92.21 – 93.97)	789.10 (685.87 – 892.33)	769.31 (666.08 – 872.54)	3015.95 (2793.13 – 3238.77)	61
	10.51 (10.24 – 10.78)	69.39 (65.86 – 72.91)	68.64 (64.87 – 72.41)	771.89 (661.87 – 881.90)	850.62 (740.61 – 960.63)	5480.46 (4940.02 – 6020.89)	
GMTP 3 Denacast	4.88 (4.66 – 5.09)	92.91 (91.89 – 93.92)	93.65 (92.56 – 94.73)	6142.36 (5065.48 – 7219.24)	7317.30 (6240.42 – 8394.19)	29212.23 (27066.69 – 31357.77)	56
	10.43 (10.13 – 10.72)	70.01 (66.28 – 73.73)	68.10 (64.25 – 71.95)	7590.93 (6659.95 – 8521.91)	6189.64 (5258.66 – 7120.62)	51084.38 (45365.17 – 56803.58)	
GMTP 4 Denacast	4.85 (4.58 – 5.12)	92.58 (91.54 – 93.62)	92.91 (91.78 – 94.04)	17315.10 (15184.62 – 19445.57)	12034.84 (9904.37 – 14165.32)	58910.10 (54004.78 – 63815.42)	51
	10.45 (10.17 – 10.72)	72.48 (69.04 – 75.92)	73.31 (69.46 – 77.16)	14960.90 (12507.17 – 17414.63)	15547.69 (13093.96 – 18001.41)	105902.39 (93991.93 – 117812.86)	
GMTP 5	5.00 (4.82 – 5.18)	93.26 (92.40 – 94.13)	92.41 (91.58 – 93.23)	29001.62 (25637.29 – 32365.95)	30207.58 (26843.25 – 33571.92)	117061.43 (109491.15 – 124631.71)	84

Continuação na próxima página

Tabela A.2 – continuação da página anterior

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle	n
Denacast	73.21 (71.41 – 75.00)	71.19 (67.33 – 75.04)	67.21 (63.42 – 70.99)	40786.25 (35346.16 – 46226.33)	38392.83 (32952.75 – 43832.91)	300544.23 (270734.85 – 330353.60)	
GMTP 21	35.55 (33.86 – 37.23)	92.97 (91.92 – 94.01)	92.94 (91.91 – 93.96)	55847.70 (48318.97 – 63376.42)	49223.05 (41694.33 – 56751.78)	192034.80 (176438.04 – 207631.57)	56
Denacast	73.71 (71.79 – 75.64)	70.31 (66.29 – 74.34)	69.06 (65.20 – 72.92)	51647.84 (44451.74 – 58843.94)	48860.11 (41664.01 – 56056.21)	323242.77 (283377.49 – 363108.04)	

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle	n
CCN-TV	6.52 (6.39 – 6.66)	83.54 (82.42 – 84.65)	82.73 (81.63 – 83.82)	31303.58 (27311.70 – 35295.45)	31081.14 (27089.26 – 35073.01)	614306.33 (545827.60 – 682785.06)	
GMTP 6 CCN-TV	5.13 (4.89 – 5.36)	92.85 (91.85 – 93.86)	93.58 (92.45 – 94.71)	40665.13 (34272.73 – 47057.54)	35493.69 (29101.29 – 41886.09)	165096.12 (151994.44 – 178197.79)	52
	6.54 (6.36 – 6.71)	83.48 (82.17 – 84.79)	82.54 (81.22 – 83.85)	41582.08 (35553.48 – 47610.67)	39289.29 (33260.70 – 45317.88)	689429.38 (585888.87 – 792969.90)	
GMTP 7 CCN-TV	5.07 (4.88 – 5.26)	92.54 (91.56 – 93.51)	93.59 (92.56 – 94.61)	44777.42 (37788.40 – 51766.45)	52172.55 (45183.52 – 59161.57)	199587.06 (185674.44 – 213499.69)	66
	6.47 (6.34 – 6.60)	82.85 (81.57 – 84.13)	83.45 (82.25 – 84.65)	49138.17 (41630.64 – 56645.69)	50984.85 (43477.32 – 58492.37)	911433.98 (784541.68 – 1038326.29)	
GMTP 8 CCN-TV	15.51 (14.88 – 16.15)	93.38 (92.50 – 94.25)	93.42 (92.33 – 94.50)	231.32 (194.29 – 268.35)	207.00 (169.97 – 244.03)	998.10 (923.78 – 1072.42)	59
	19.59 (19.08 – 20.10)	84.02 (82.70 – 85.34)	83.03 (81.73 – 84.34)	270.98 (236.55 – 305.41)	263.58 (229.15 – 298.01)	4886.44 (4280.05 – 5492.83)	
GMTP 9 CCN-TV	14.99 (14.38 – 15.60)	93.10 (92.00 – 94.21)	93.77 (92.88 – 94.66)	723.05 (622.72 – 823.38)	713.59 (613.26 – 813.92)	2833.38 (2611.16 – 3055.60)	61
	19.77 (19.34 – 20.20)	83.56 (82.23 – 84.90)	83.87 (82.68 – 85.07)	721.18 (611.48 – 830.88)	713.15 (603.45 – 822.85)	13841.97 (11902.51 – 15781.42)	
GMTP 10	14.78 (14.24 – 15.33)	93.15 (92.23 – 94.07)	92.45 (91.48 – 93.42)	6724.71 (5681.13 – 7768.30)	7931.54 (6887.95 – 8975.13)	27987.17 (25900.12 – 30074.23)	63

Continuação na próxima página

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle	n
CCN-TV	19.53 (19.08 – 19.98)	84.15 (83.00 – 85.30)	83.83 (82.72 – 84.94)	8521.87 (7470.93 – 9572.82)	6429.76 (5378.82 – 7480.71)	131664.40 (112646.91 – 150681.88)	
GMTP 11 CCN-TV	14.24 (13.66 – 14.81)	93.48 (92.51 – 94.45)	93.50 (92.53 – 94.47)	14798.43 (12569.49 – 17027.37)	14226.33 (11997.39 – 16455.27)	61539.29 (57285.00 – 65793.57)	63
	19.83 (19.44 – 20.22)	83.64 (82.42 – 84.87)	83.74 (82.44 – 85.04)	13198.63 (11057.97 – 15339.30)	15904.43 (13763.76 – 18045.09)	276652.94 (240654.50 – 312651.37)	
GMTP 12 CCN-TV	14.81 (14.22 – 15.41)	92.98 (91.87 – 94.09)	92.97 (91.91 – 94.03)	31441.59 (27189.65 – 35693.54)	30867.07 (26615.13 – 35119.02)	127370.83 (119566.21 – 135175.46)	54
	19.60 (19.06 – 20.14)	82.36 (81.05 – 83.67)	82.75 (81.44 – 84.07)	27745.30 (23360.84 – 32129.75)	30751.31 (26366.86 – 35135.77)	471496.93 (392863.08 – 550130.77)	
GMTP 13 CCN-TV	15.08 (14.48 – 15.69)	93.46 (92.52 – 94.40)	93.16 (92.20 – 94.11)	40248.82 (34789.43 – 45708.21)	39018.26 (33558.87 – 44477.65)	163860.50 (153227.49 – 174493.51)	72
	19.88 (19.39 – 20.37)	83.37 (82.35 – 84.39)	83.59 (82.37 – 84.82)	40875.62 (35884.02 – 45867.23)	42573.96 (37582.35 – 47565.56)	718871.35 (628040.72 – 809701.97)	
GMTP 14 CCN-TV	14.96 (14.45 – 15.47)	92.88 (92.01 – 93.74)	92.12 (91.23 – 93.00)	45682.32 (39622.32 – 51742.32)	49274.75 (43214.75 – 55334.75)	192572.81 (180432.70 – 204712.93)	85
	19.83 (19.46 – 20.20)	83.10 (82.08 – 84.12)	82.97 (81.93 – 84.02)	51611.09 (45780.89 – 57441.30)	49428.48 (43598.28 – 55258.68)	929966.21 (831700.17 – 1028232.26)	
GMTP 15	33.90 (32.47 – 35.33)	92.20 (91.12 – 93.29)	92.88 (91.89 – 93.87)	273.69 (238.06 – 309.32)	207.29 (171.66 – 242.93)	1017.05 (937.93 – 1096.17)	58

Tabela A.3 – continuação da página anterior

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle	n
CCN-TV	45.85 (44.74 – 46.95)	84.72 (83.62 – 85.82)	81.65 (80.45 – 82.84)	37548.60 (31326.93 – 43770.26)	38560.11 (32338.44 – 44781.77)	769309.86 (669892.10 – 868727.62)	
GMTP 21	36.59 (35.08 – 38.10)	93.26 (92.28 – 94.25)	92.39 (91.26 – 93.53)	51468.36 (44066.36 – 58870.35)	50955.46 (43553.47 – 58357.46)	201154.18 (187170.10 – 215138.26)	56
CCN-TV	45.85 (44.59 – 47.11)	82.57 (81.28 – 83.87)	82.84 (81.62 – 84.05)	49288.98 (41835.47 – 56742.50)	56134.00 (48680.49 – 63587.51)	821938.25 (708516.18 – 935360.32)	