

aCMT-UC: Um proposta de distribuição de carga centrada no usuário*

Edson Adriano M. Avelar, Lorena Marques Avelar, Kelvin Lopes Dias

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

CEP: 50740-540 – Recife – PE – Brasil

{eama, l1m, kld}@cin.ufpe.br

Abstract. *The CMT (Concurrent Multipath Transfer) uses the multihoming feature of SCTP (Stream Control Transmission Protocol) to transmit data via multiple end-to-end paths simultaneously. However, CMT does not have a good performance in networks with different characteristics, especially for video traffic. This paper presents the aCMT-UC (Adaptive CMT - User-Centric), a load distribution proposal centered on the user, making the CMT adaptable to dynamic network through the prioritization of paths and video frames. We evaluated the proposal in terms of QoE metrics in an integrated IEEE 802.11, IEEE 802.16 and 3G/UMTS network using the ns-2 simulator.*

Resumo. *O CMT (Concurrent Multipath Transfer) usa a característica multihoming do SCTP (Stream Control Transmission Protocol) para transmitir dados através de múltiplos caminhos fim-a-fim simultaneamente. No entanto, o CMT não possui um bom desempenho em redes com diferentes características, principalmente em se tratando de vídeo. Este trabalho apresenta o aCMT-UC (Adaptative CMT-User Centric), uma proposta de distribuição de carga centrada no usuário, tornando o CMT adaptável à dinâmica da rede através da priorização de caminhos e de quadros de vídeo. Foram realizadas avaliações de métricas de QoE (Vídeo) utilizando as tecnologias IEEE 802.11, IEEE 802.16 e 3G/UMTS no simulador ns-2.*

1. Introdução

A crescente disponibilidade de acesso sem fio através de diferentes tecnologias (e.g., IEEE 802.11, IEEE 802.16 e 3G/UMTS) e o aumento do número de dispositivos com suporte a múltiplas interfaces heterogêneas possibilitam uma gama de oportunidades de conectividade aos usuários. Tradicionalmente, para este cenário, tem-se proposto algoritmos, protocolos e arquiteturas para a escolha da melhor rede de acordo com o perfil do usuário, característica da aplicação e da rede. No entanto, outra possibilidade, ainda não tão explorada no âmbito sem fio, é a distribuição de carga e conteúdo através de vários caminhos de forma simultânea. Esta característica é conhecida como *multihoming* e provê redundância de caminhos, oferecendo, dessa forma, certo grau de confiabilidade na rede [Stewart, R. et al 2001].

O grande desafio para implantação do *multihoming* em redes móveis heterogêneas decorre da instabilidade que esses ambientes possuem. A possibilidade de desconexões frequentes, de variações na vazão e de perdas inerentes ao caminho sem fio são fatores que dificultam a comunicação nesses tipos de redes. O desafio é ainda maior

*Esta pesquisa foi parcialmente suportada pelos projetos: processo CNPq 309142/2008-3, CNPq 482095/2010-5 e FACEPE PBPG-0562-1.03/10

quando existem várias interfaces heterogêneas sem fio disponíveis simultaneamente [Wallace T. et al. 2011].

Em termos de protocolo da pilha TCP/IP, o SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) pode ser utilizado para fornecer a possibilidade de transmissão via múltiplos caminhos fim-a-fim tanto em redes sem fio como em redes cabeadas. Originalmente, o SCTP foi projetado como um protocolo de uso geral para transportar mensagens de sinalização telefônica. A definição do protocolo foi feita pelo grupo de trabalho SIGTRAN do IETF (*Internet Engineering Task Force*), que emitiu um documento de padronização do SCTP em outubro de 2000 (RFC 2960) [Stewart, R. et al. 2000].

Como o SCTP possui a característica *multihoming* de forma nativa, quando utilizado em redes sem fio, o dispositivo móvel do usuário pode se comunicar com um mesmo servidor através de várias interfaces (Wi-Fi, WiMax, etc.). No entanto, não existe um mecanismo de avaliação inicial que indique qual o melhor caminho para transmissão de pacotes, entre os disponíveis, a ser utilizado para a transmissão dos dados. Além disso, mesmo possuindo os elementos fundamentais para dar suporte ao *multihoming*, o SCTP não possibilita transmissões simultâneas de dados via múltiplos caminhos de forma concorrente, ou seja, em sua forma original, uma interface é utilizada como primária e as outras interfaces dos dispositivos são utilizadas somente para redundância e, apenas, em caso de falha da primária.

Para sobrepor essa limitação, em [Iyengar, J. R. et al 2006] foi proposto o SCTP-CMT ou apenas CMT (*Concurrent Multipath Transfer*). O CMT é uma extensão baseada no SCTP que torna possível o suporte completo ao *multihoming*, além de prover distribuição de carga e aumento da vazão dos dados em redes homogêneas. Redes heterogêneas utilizam diferentes larguras de banda para cada caminho, dependendo das características de rede. Estudos apontam que o desempenho do CMT, ao se utilizar caminhos com largura de banda variada, apresenta uma queda considerável [Kim, T. et al 2010].

Como o CMT não fornece um suporte adequado em redes heterogêneas, propusemos uma extensão do CMT denominada aCMT [Avelar, L. M. et al 2012] ou CMT Adaptativo para aumentar a robustez do protocolo contra falhas em redes heterogêneas sem fio. O esquema utiliza a Lógica Fuzzy para tornar o CMT sensível a dinâmica da rede. Desta forma, o aCMT pode diminuir a vazão no caminho onde o tráfego está mais congestionado ou aumentar onde o enlace estiver mais livre, fazendo com que a aplicação tenha maior vazão, melhor qualidade de serviço e, conseqüentemente, forneça uma escolha inteligente do caminho.

Porém, notou-se em experimentos que o aCMT não era adequado quando se tratava de tráfego de vídeo. Se alguns *frames* importantes eram perdidos, a qualidade do vídeo recebido ficava comprometida. Com isso, neste artigo propõe-se uma melhoria do aCMT para ser utilizado como protocolo de transporte especificamente para aplicações de vídeo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 será apresentada a proposta em análise. As ferramentas de análise e como a proposta foi avaliada serão apresentadas na Seção 3. A Seção 4 exhibe os resultados obtidos nos experimentos. A Seção 5 aborda as principais discussões e a Seção 6 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2. Arquitetura para o suporte à distribuição eficiente de tráfego de vídeo

Para tornar o CMT um protocolo mais robusto em redes sem fio heterogêneas, foi proposto em [Avelar, L. M. et al 2012] uma nova extensão denominada CMT Adaptativo ou aCMT. O aCMT utiliza um esquema de priorização de interface através de pesos definidos por um Sistema Fuzzy. A função do Sistema de Pesos é diferenciar os vários caminhos de uma associação SCTP. Os pesos são responsáveis por rotular um determinado caminho fim-a-fim. Se o caminho tiver um peso alto, define-se que ele está com qualidade e é estável para a transmissão, ao passo que se o peso está baixo, infere-se que aquele caminho não será satisfatório para a comunicação. Desta forma, o Sistema de Pesos transforma o CMT em um protocolo sensível ao contexto atual da rede.

Por sua vez o Sistema Fuzzy é utilizado para escolha dos pesos que serão atribuídos nos caminhos das associações SCTP, levando-se em consideração as condições da rede. A Lógica Fuzzy foi usada porque é importante que a escolha dos pesos seja feita através de um arcabouço inteligente, isso aumenta a robustez da proposta frente à instabilidade de cenários sem fio, além de ser ideal para as tomadas de decisões onde as variáveis assumem mais de dois valores.

É empregado nesta proposta um sistema fuzzy do tipo Mamdani (MAMDANI, 1974) cuja intensidade de disparo de uma regra de inferência será uma média aritmética dos graus de pertinência obtidos. Os conjuntos fuzzy são combinados pela escolha do valor máximo e o defuzzificador utiliza o chamado método centróide sem sobreposição para fornecer a resposta do sistema fuzzy, sendo este o mais utilizado dentre todos os métodos de defuzzificação por considerar toda a distribuição de possibilidade do conjunto fuzzy de saída (ORTEGA, 2001).

Uma das variáveis de entrada utilizada no sistema fuzzy é o RTT (*Round Trip Time*), que é o tempo medido entre a transmissão de um segmento e a recepção de um ack. Normalmente, as medições de RTT são utilizadas como um indicador do estado interno da rede. Através da lógica fuzzy, o comportamento contínuo e impreciso das informações podem ser tratadas sem a necessidade de valores rígidos. Além disso, exige baixo processamento. Isto a torna bastante adequada para avaliar os valores de RTT, janela de congestionamento (cwnd) e vazão, onde imprecisão e incertezas são efetivamente presentes (CHENG, 2001).

Vale salientar que a quantidade de regras é diretamente proporcional a quantidade de variáveis linguísticas e termos linguísticos. Se um sistema possuir três variáveis linguísticas, como vRTT, CWND e vazão, e três termos linguísticos, como baixa, média e alta, tem-se portanto $3^3 = 27$ regras na base de conhecimento.

Os valores de vRTT e janela de congestionamento não diferem entre as diferentes tecnologias, conseqüentemente, o conjunto de pertinência destas variáveis serve para todos os caminhos. No entanto, os valores de vazão são dependentes da tecnologia utilizada, com isso, houve a necessidade de criar conjuntos específicos para cada tecnologia utilizada no cenário de testes. A variável de saída possui três conjuntos *fuzzy* que indicam como os pesos serão modificados. Em termos linguísticos, são definidos da seguinte maneira: DIMINUI, MANTÉM, AUMENTA. A Figura 1 apresenta os gráficos de pertinência para as variáveis de entrada e de saída.

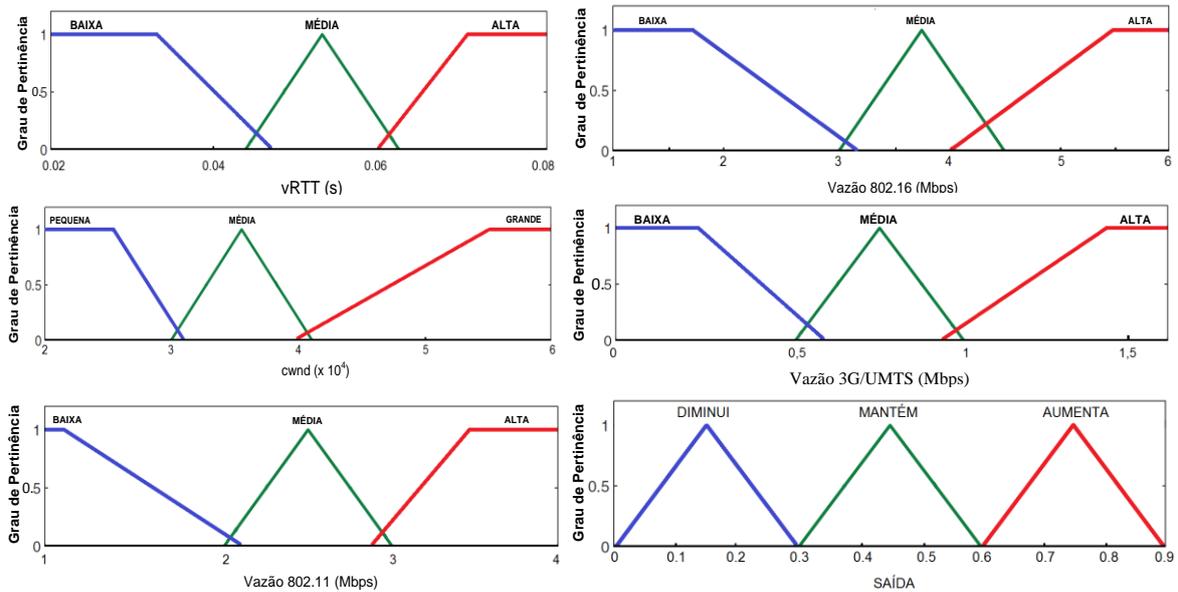


Figura 1. Gráficos de Pertinência.

Uma vez que o aCMT considera apenas tráfego de melhor esforço, propõem-se neste artigo o aCMT-UC que foca em tráfego de vídeo. A fim de atender às necessidades dos usuários e maximizar o seu QoE, a solução de comunicação perfeita tem de ser centrada no usuário (SCHUMACHER, 2010), deste modo, a ideia por trás do aCMT-UC consiste na priorização do envio do *frame* de vídeo por uma determinada interface sem fio, dependendo do tipo *frame*.

O padrão MPEG (*Moving Picture Experts Group*) codifica a informação de uma cena em múltiplos grupos de imagens (GOP – *Group of Pictures*) que consistem em três tipos de *frames*: I (*Intra-coded*), P (*Predictive-coded*) e B (*Bidirectionally predictive-coded*) (WIEGAND, 2003). Os quadros “P”, para serem decodificados, dependem das informações dos quadros “I” ou “P” anteriores mais próximos e os quadros “B” usam informações dos quadros “P” e “I” mais próximos, tanto os passados quanto os futuros, como referência para a decodificação da imagem. Devido a estas interdependências, a perda de um *frame* “I” resulta na perda do GOP inteiro, isto gera um impacto muito pior na qualidade do vídeo do que a perda de um *frame* “B” que não tem quadros dependentes.

Em (GREENGRASS, 2009), os autores estudaram o impacto da perda de pacotes na QoE. O trabalho mostra que o descarte de pacotes que transportam quadros “I” pode resultar em distorções na imagem, sendo estas propagadas por todos os quadros ao longo do mesmo GOP. Deste modo, a qualidade do vídeo será recuperada apenas quando o decodificador receber um novo quadro “I” intacto.

No aCMT-UC, primeiramente é verificado qual tipo de pacote/*frame* será enviado (I ou P ou B), depois é escolhida a interface de acordo com o tipo de *frame*, ou seja, os *frames* mais importantes serão enviados pelo melhor caminho (Figura 2). O mecanismo de envio de *frames* do aCMT-UC leva em consideração a importância de cada *frame*. O *frame* “I” é enviado pela interface de maior peso, o *frame* “P” pela segunda melhor interface e o *frame* “B” é enviado pela interface de menor peso. Desta forma, a probabilidade de se perder um *frame* “I” e “P” são menores do que se perder um *frame* “B”.

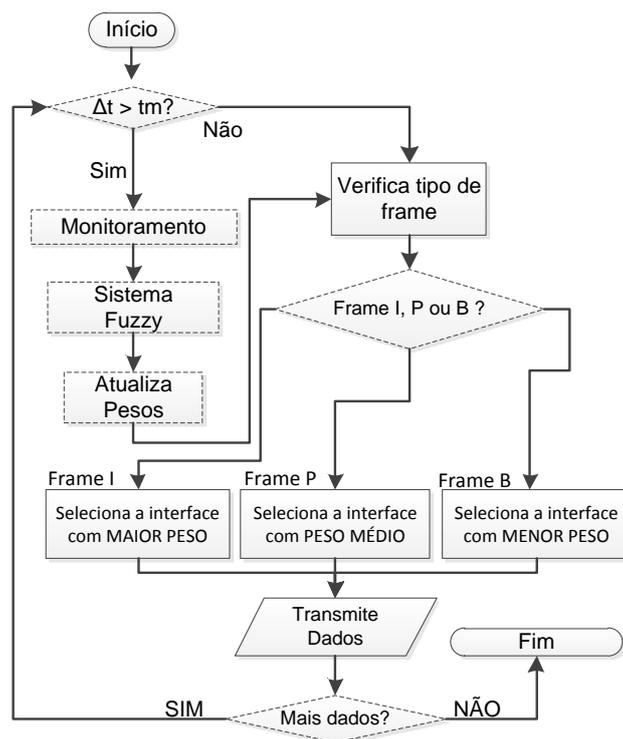


Figura 2. Fluxograma do aCMT-UC.

3. Avaliação da Proposta

A avaliação da proposta foi realizada no *ns-2* [NS-2 2011]. Integramos o módulo SCTP/CMT desenvolvido pela Universidade de Delaware [Caro, A. et al 2002] e o módulo *NIST mobility* [NIST 2011] em um novo *patch*, para permitir simulações envolvendo as tecnologias IEEE 802.11, IEEE 802.16 e 3G/UMTS. Foi necessário ainda, modificar o núcleo do *ns-2*, para inserir a funcionalidade de um Sistema Fuzzy em uma simulação de redes heterogêneas [Avelar, L. M. et al 2012].

Para analisar a viabilidade da proposta foi necessário modificar o Evalvid padrão [Klaue, J. et al 2003] e desenvolver um *framework* Evalvid-aCMT-UC, com o objetivo de gerar tráfego de vídeo através de múltiplos caminhos simultâneos. O SCTP original, essencialmente não suporta o modo de transmissão parcialmente confiável de dados. Assim, a extensão PR-SCTP (*Partial Reliable – SCTP*) [Stewart, R. et al 2004] foi proposta para aplicações em tempo real. Para o nosso trabalho é necessário, ainda, utilizar a transmissão via múltiplos caminhos, deste modo utilizou-se a extensão PR-CMT (*Partial Reliability - Concurrent Multipath Transfer*) [Huang, C. et al 2008], que possibilita o PR-SCTP transmitir simultaneamente por todos os caminhos disponíveis.

Quando as áreas de cobertura das diferentes tecnologias sem fios se sobrepõem, não há necessidade de restringir-se a uma única interface. Particularmente em cenários onde há uma variação na largura de banda e perdas inerentes ao caminho sem fio, faz sentido aumentar a probabilidade de que os pacotes perceptivelmente importantes cheguem ao receptor, de preferência descartando os pacotes menos importantes. No nível de *frame*, um esquema de classificação bem conhecido para vídeos com compensação de movimento (por exemplo, MPEG-*, * H.26) explora o fato de que, em geral, os *I-frames* são mais importantes que os *P-frames*, que são mais importantes do que os *B-frames*.

Os *frames* "I" agem como uma linha de base e são codificados como uma única imagem com a menor quantidade de compressão e maior quantidade de informações, sendo especialmente importantes, pois formam a base para a previsão de outros *frames*, usando vetores de movimento. Os *frames* "B" e "P" contêm menos informações e são codificados com um maior nível de compressão que os *frames* "I". Os *frames* "P" referenciam os quadros do passado e os *frames* "B" são capazes de referenciar quadros do passado e do futuro. Deste modo, optou-se por enviar os *frames* "I" através do caminho que possua maior peso, de acordo com o Sistema Fuzzy.

Os experimentos visaram observar os benefícios da proposta de tornar o CMT adaptativo e melhorar a distribuição de carga nas associações SCTP/CMT em cenários heterogêneos. Os resultados coletados mediram o impacto da distribuição de carga sob o ponto de vista dos usuários, por meio de análises de QoS e QoE. O caminho fim-a-fim foi pré-estabelecido no início da simulação e o usuário só utiliza as interfaces que possuem cobertura.

Usando as informações geradas durante a simulação e o arquivo de vídeo original comprimido, o Evalvid-aCMT-UC reconstrói o vídeo como se ele fosse recebido de uma rede real. Como mostrado na Figura 3, o *framework* Evalvid-aCMT-UC possui três processos nomeados como pré-processo, simulação no ns-2 e pós-processo. No pré-processo, o vídeo no formato YUV original é comprimido para o formato de vídeo MPEG-4 (*Moving Picture Experts Group - 4*), em seguida, um arquivo trace de vídeo é gerado, incluindo informações sobre cada *frame* (I / P / B-frame) de vídeo.

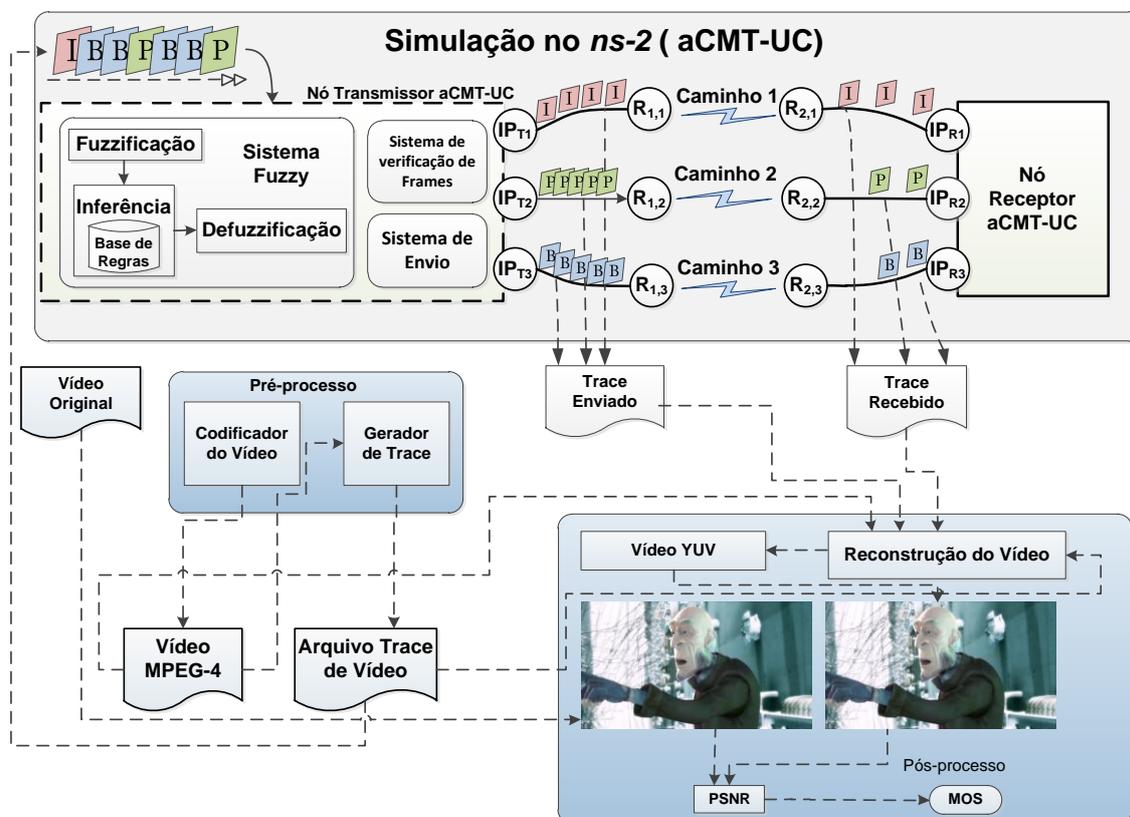


Figura 3. Esquema do aCMT-UC/Evalvid no ns-2.

O processo de simulação do ns-2 identificará o tipo de *frame* e de acordo com a sua importância e enviará para o caminho definido pelo Sistema Fuzzy, ou seja, o *frame* mais importante será enviado pelo caminho que obtiver maior peso. Na fase de pós-processo, o vídeo pode ser reconstruído e convertido para o formato YUV. Esta reconstrução permite que o vídeo seja inspecionado visualmente, bem como possibilita o cálculo do PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e MOS (*Mean Opinion Score*) para o vídeo transmitido.

O cenário utilizado nas simulações apresenta redes heterogêneas sobrepostas e é composto pelas tecnologias 802.11 (Wi-Fi), 802.16 (WiMAX) e 3G/UMTS. Este ambiente será bastante comum nas redes da nova geração ou NGN (*Next Generation Network*). A avaliação é conduzida de duas formas, através de modelos de erros que variam de 1% a 10% de perdas nos caminhos e da inserção aleatória de tráfegos UDP na rede. O Sistema Fuzzy detecta os caminhos de melhor qualidade de enlace, com isso, pode desviar o fluxo para o caminho menos congestionado e com a menor probabilidade de erros na rede.

Tabela 1. Parâmetros da simulação.

Redes	802.11 (Wi-Fi)	802.16 (WiMAX)	3G/UMTS
Taxa de Transmissão	54 Mbps	75 Mbps	2 Mbps
Raio de Cobertura	50m	1300m	1000m
Número de nós	1 usuário receptor do vídeo. 1 Nó servidor de streaming. 10 usuários distribuídos aleatoriamente.		4 (roteadores)
Avaliação	Modelo de Erro (variando de 1% a 10% de perdas), aplicado aleatoriamente na rede.		
Intervalo de monitoramento ()	500 ms (<i>Adquirição dos pesos</i>)		
Tamanho do pacote (<i>Data Chunk</i>)	1468		
Fragmentação máxima dos pacotes	1500		
<i>Warm-up</i>	10% (60s) = 6s		
Tempo de cada simulação	60 segundos		
Número de simulações	90		

A Tabela 1 descreve os parâmetros das simulações. Nas simulações, o tráfego *multihoming* é configurado no sentido *downlink*. 1 usuário é posicionado de forma aleatória na rede. Em todos os casos, pelo menos duas redes diferentes cobrem o usuário, pois dessa forma há heterogeneidade. Após as simulações, os dados obtidos foram analisados e apresentados na Seção 4.

4. Resultados obtidos

Ao todo foram realizadas noventa simulações, sendo trinta simulações para cada proposta. Cada simulação possui a mesma semente da simulação correspondente nas outras propostas para comparação. A Figura 5 mostra as perdas apenas dos *frames* I e P, que são os *frames* mais importantes para a reconstrução da imagem. Nesta figura, observa-se que as perdas de *frames* utilizando o protocolo CMT são bem maiores em comparação com as do aCMT e do aCMT-UC. Isso se deve ao fato do CMT enviar pacotes para todas as interfaces sem tomar conhecimento da qualidade do enlace em questão. Apesar da proposta aCMT priorizar os melhores caminhos, ao ocorrer um

descarte de pacote não há nada que impeça que os *frames* mais importantes sejam descartados.

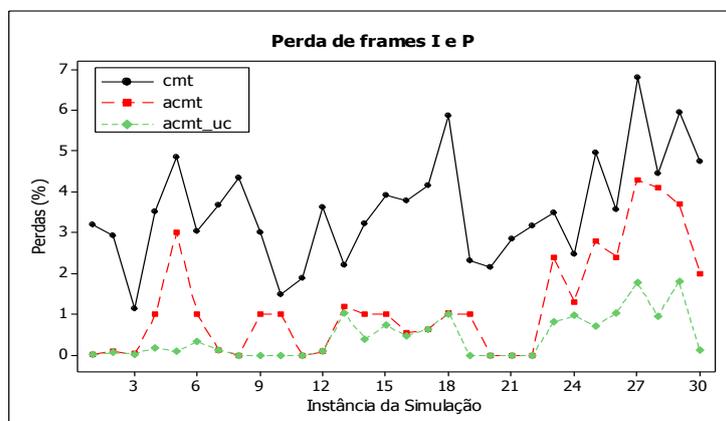


Figura 4. Perdas de frames I e P nas 30 simulações.

Com o aCMT as perdas são menores, uma vez que, ele prioriza o envio de pacotes pelo enlace que proporcionará melhor QoS para aplicação, porém, o aCMT não distingue o tipo de pacote enviado e desta forma alguns *frames* importantes, tipo I e P, são perdidos, causando queda considerável na qualidade do vídeo vista pelo usuário. Por outro lado, o aCMT-UC prioriza o envio dos pacotes I e P por caminhos menos congestionados e, portanto, com menor probabilidade de perdas.

A Tabela 2 exibe algumas métricas de estatística descritiva da perda de *frames* I e P. Pode-se perceber que a perda com o aCMT-UC é bastante inferior ao CMT e ao aCMT. A mediana é uma medida importante por mostrar o ponto de equilíbrio dos dados, ela equivale ao segundo quartil, ou seja, a mediana é o valor até o qual se encontra 50% da amostra em ordem, portanto ela não é afetada por valores discrepantes como na média. Nesta métrica, o aCMT-UC também é superior aos seus concorrentes.

Tabela 2. Estatística descritiva da perda de *frames* I e P.

Protocolo	Média	Erro Médio	Desvio Padrão	Mediana
CMT	3,558	0,239	1,309	3,495
aCMT	1,226	0,235	1,289	1
aCMT-UC	0,4468	0,0968	0,53	0,1565

A Figura 5 mostra a porcentagem dos tipos diferentes de *frames* perdidos em relação ao total. É possível observar que o CMT perde *frames* de maneira proporcional, pois o envio de dados do CMT é realizado de maneira equivalente. Com o aCMT são perdidos mais *frames* do tipo B, pois esses *frames* são mais abundantes que os demais, no entanto é possível observar que *frames* do tipo I representam mais do que 20% do total de perdas, o que ainda é considerado grande.

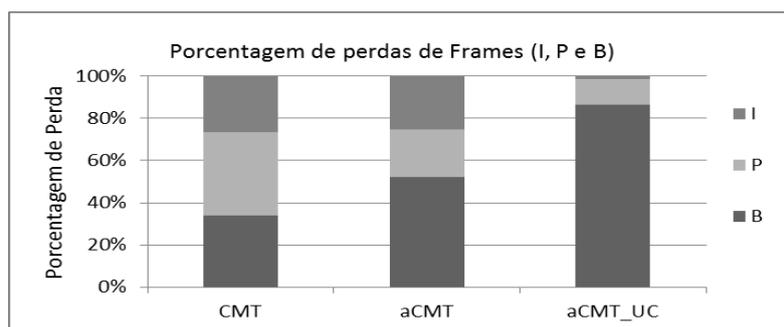


Figura 5. Porcentagem de perdas de Frames (I, P e B).

O aCMT-UC por outro lado, prioriza o envio de *frames* I e P para que suas perdas, em cenários críticos, sejam minimizadas. É possível observar na Figura 5 que as porcentagens de *frames* I e P perdidas são menores em comparação com os outros protocolos em detrimento dos *frames* B que possuem menor importância.

PSNR é uma das métricas objetivas mais bem conhecidas para avaliar QoS e por isso é utilizada neste trabalho para medir a qualidade do vídeo. PSNR mede o erro entre as imagens originais e reconstruídas. Deste modo, foi medido o erro entre o vídeo codificado no lado do remetente e vídeo decodificado no lado do receptor. Na Figura 6 é possível observar que tanto o aCMT quanto o CMT apresentam uma queda excessiva no PSNR, o que causará uma grande perda de qualidade do vídeo transmitido. No entanto, há uma melhoria na PSNR quando utiliza-se a proposta aCMT-UC, devido à priorização de *frames*.

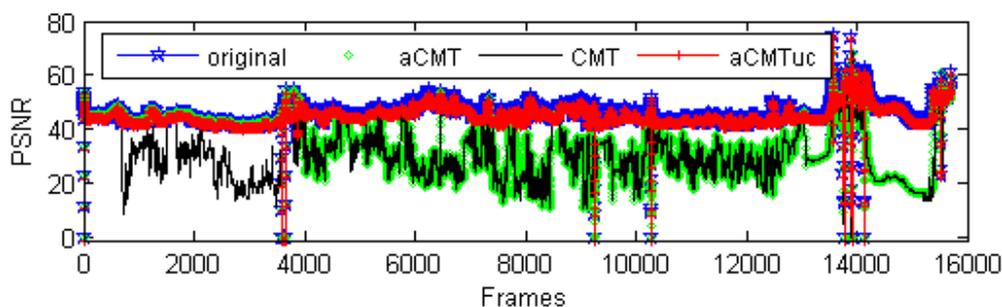


Figura 6. PSNR frame-a-frame do vídeo utilizado na avaliação.

A qualidade do serviço percebida por uma pessoa geralmente é dada em uma escala de 5 (melhor) a 1 (pior). Esta escala é chamada de MOS (*Mean Opinion Score*). A Figura 7 mostra o gráfico do MOS do vídeo recebido após cada simulação. Pode-se observar que as perdas de pacotes, ao utilizar os protocolos CMT e aCMT, afetam muito o MOS do vídeo recebido. Enquanto o aCMT-UC mantém valores de MOS entre “bom” e “excelente”, o aCMT e o CMT atingem valores correspondentes a “pobre” e até “mau” em algumas simulações.

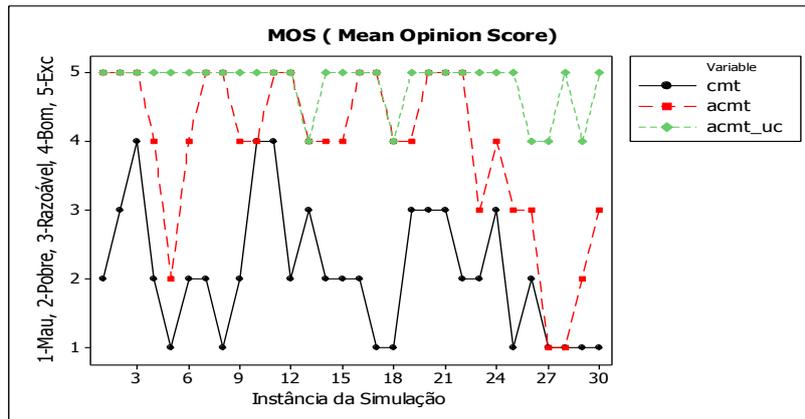


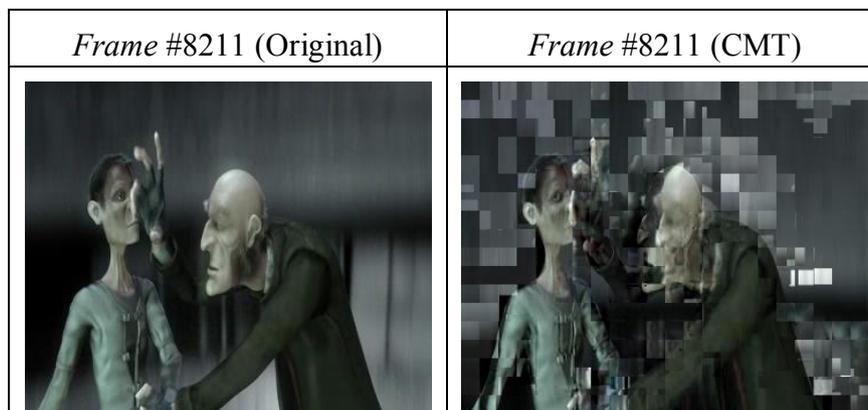
Figura 7. MOS das propostas nas 30 simulações.

A Tabela 3 exibe a estatística descritiva, com 95% de intervalo de confiança, para a variável MOS. É possível observar que o aCMT-UC possui 4,8 de média de MOS, o que é mais do que o dobro da média do CMT. Na mediana, o aCMT-UC também se mostra superior.

Tabela 3. Estatística descritiva do MOS

Protocolo	Média	Erro Médio	Desvio Padrão	Mediana
CMT	2,1	0,175	0,96	2
aCMT	3,933	0,219	1,202	4
aCMT-UC	4,8333	0,0692	0,379	5

A Figura 8 exibe a comparação do *frame* 8211 do vídeo recebido para cada protocolo avaliado. É possível verificar que a degradação na qualidade do vídeo é claramente visível ao se utilizar o protocolo CMT, devido às perdas de pacotes. O *frame* do vídeo recebido com o aCMT melhora um pouco, mas a qualidade da imagem ainda é degradada, pois quando ocorreram perdas de pacotes não houve priorização de *frames*, ou seja, *frames* importantes para a reconstrução do vídeo foram descartados. No entanto, ao se analisar o vídeo recebido com o aCMT-UC nota-se, claramente, que não houve degradação na qualidade do vídeo. Isto possibilitou sua reconstrução no receptor, tornando-o muito semelhante ao *frame* original.



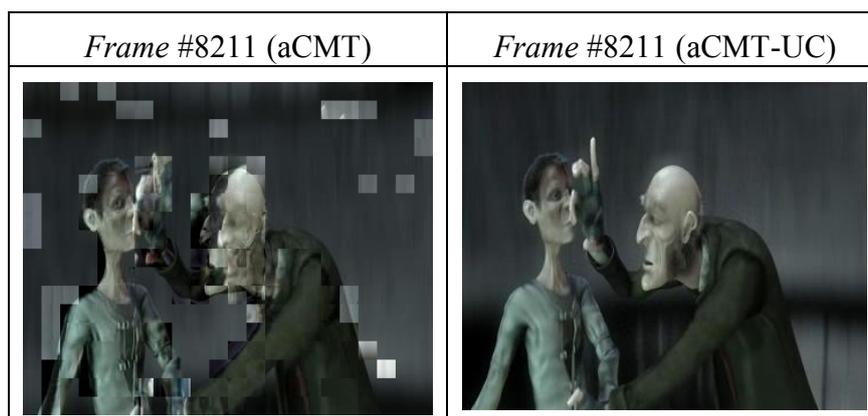


Figura 8. Comparação entre o frame número 8211 de cada proposta.

5. Trabalhos Relacionados

Em situações onde uma única rede de acesso não é capaz de fornecer a QoS necessária para o serviço utilizado e o QoE desejado para o usuário, a utilização simultânea de duas ou mais redes para a prestação de serviços pode ser útil para otimizar a QoE. Várias soluções têm sido propostas na literatura. A proposta deste artigo tem como diferencial o dinamismo, o envio seletivo de *frames* e a seleção inteligente de caminho em redes heterogêneas.

Em [Zhu, X. et al. 2009] os autores consideram o problema de alocação de taxa entre múltiplos fluxos simultâneos de vídeo através de redes de acesso heterogêneas. Foi desenvolvido e avaliado um *framework* analítico de alocação de taxa ideal, com base na taxa de bits disponível e RTT sobre cada característica de acesso de rede e taxa de distorção de vídeo. A taxa de alocação é formulada como um problema de otimização convexa que minimiza a distorção total esperada de todos os fluxos de vídeo. Os esquemas de alocação de várias taxas são avaliados em simulações de múltiplos vídeos de alta definição (HD), através de fluxos TCP no ns-2. Os autores se limitam a analisar a proposta apenas em redes Wi-Fi e Ethernet.

Em [Song, W. et al. 2012] os autores propõem uma abordagem analítica para avaliar o nível de desempenho de uma transmissão que envia rajadas de tráfego de vídeo através de múltiplos canais disponíveis de forma probabilística, podendo obter a média de atraso, *jitter* e a probabilidade de falha por atraso. Para permitir a transmissão via múltiplos caminhos através de dispositivos sem fio, cada rajada de vídeo pode ser enviada para uma rede sem fio disponível de acordo com uma probabilidade de divisão de fluxo, no entanto os autores não realizam uma análise dinâmica para determinar a probabilidade de divisão dos fluxos.

Em [Nightingale, J. et al. 2012] os autores propõe o CMT-NEMO, um esquema de transferência simultânea via múltiplos caminhos de conteúdo de vídeo escalável para os usuários em diversas bases de redes móveis. A proposta divide um fluxo de vídeo SVC (H.264 *Scalable Video Coding*) em um número de sub-fluxos (um para cada caminho de rede disponível) e associa cada sub-fluxo a uma BID (*Binding ID*), que identifica um caminho do HA (*Home Agent*) para o MR (*Mobile Router*). No entanto, a ideia se limita a empregar o esquema em um testbed no núcleo da rede, ou seja, dividir o fluxo na parte cabeada.

Em [Tu, W. 2012] os autores estudaram a melhoria da capacidade das redes sem fio em admitir um número maior de fluxos multimídia simultâneos com desempenho garantido. Uma política de escalonamento de fluxo e de agregação de canal foram teoricamente analisadas e apresentadas como uma forma de utilizar estrategicamente os recursos da rede para a transmissão de fluxos multimídias concorrentes. Deste modo, os autores propõem um algoritmo eficiente de transmissão multi-fluxos *multicast*. As políticas estudadas e o algoritmo proposto foram avaliados através do ns-2 e se limitaram a redes homogêneas.

Em [Rüncos, R. et al 2011] é avaliado através de simulações o impacto no desempenho do SCTP para o transporte de tráfego VoIP em terminais *multi-homing*, variando-se dois parâmetros: PMR (*Path.Max.Retrans*) e RTOMax (limite superior do parâmetro *Retransmission TimeOut*), juntamente com o algoritmo de seleção automática de rotas baseado no menor atraso (*delay-centric*). Neste trabalho os autores não utilizam transmissões simultâneas e também não realizam simulações em ambientes heterogêneos.

Em [Nguyen, S. C. et al 2011] é avaliado o compartilhamento de carga utilizando o MPTCP (*Multipath Transmission Control Protocol*), uma versão modificada do protocolo de transporte TCP (*Transmission Control Protocol*) que permite a transmissão de dados via múltiplos caminhos simultaneamente. Os resultados das medições mostram que MPTCP com controle de congestionamento acoplado fornece um melhor desempenho em ambientes homogêneos. No entanto, os testes realizados em ambiente de redes heterogêneas (Ethernet, Wi-Fi e 3G) geraram um impacto negativo no rendimento do sistema, revelando a necessidade de um algoritmo inteligente para seleção de interface no MPTCP.

Em [Yuan, Y. et al 2010] os autores apresentam o WM2-SCTP (*Wireless Multipath Multi-flow - Stream Control Transmission Protocol*), uma solução na camada de transporte para a transferência via múltiplos caminhos, concomitante com sub-fluxos paralelos. O WM2-SCTP visa explorar as características *multi-homing* e *multi-streaming* do SCTP através do agrupamento de fluxos SCTP em sub-fluxos, com base em seus requisitos de QoS. Deste modo, seleciona-se os melhores caminhos para cada sub-fluxo com o objetivo de melhorar as taxas de transferência de dados. Os autores fizeram uma análise comparativa entre o WM2-SCTP e o SCTP-CMT através do ns-2, limitando-se a tecnologia Wi-Fi. Diferente da proposta aqui apresentada que avalia através de diferentes tecnologias, além de fazer seleção de rotas baseado em priorização de *frames*.

6. Considerações Finais

Este artigo apresentou uma proposta de distribuição de carga via múltiplos caminhos utilizando uma extensão do protocolo SCTP chamada CMT. Verificou-se que o CMT não possui um bom desempenho em redes heterogêneas, por este motivo foi proposto o aCMT que utiliza Lógica Fuzzy para a seleção e discriminação dos caminhos, atribuindo-lhes pesos dinamicamente. No entanto, notou-se em experimentos que o aCMT não era adequado quando se tratava de tráfego de vídeo, pois não discriminava o tipo de *frame* enviado. Deste modo, foi proposto uma melhoria do aCMT para ser utilizado como protocolo de transporte especificamente para aplicações de vídeo. Vale lembrar que o algoritmo aCMT-UC pode ser chaveado para que possa ser utilizado de

forma intercambiável com o aCMT. Na presença de vídeo usa-se o aCMT-UC e nos demais casos pode-se utilizar o aCMT.

7. Referências

- Avelar, L. M. et al (2012) “*Modelagem Multihoming em Redes Heterogêneas e Proposta de Distribuição de Carga utilizando o aCMT*”, XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2012.
- Caro, A. et al (2002) “ns-2 SCTP module”, Version 3.5, <http://www.armandocar.net/software/ns2sctp/>.
- Cheng, L. and Marsic, I. Fuzzy Reasoning for Wireless Awareness, International Journal of Wireless Information Networks, Vol. 8, Issue 1, Jan. 2001, pp. 15-26.
- Greengrass, J., Evans, J. and Begen, A. “Not all packets are equal, part 2: The impact of network packet loss on video quality,” IEEE Internet Computing, vol. 13, pp. 74–82, March 2009.
- Huang, C. et al (2008) "Partially Reliable-Concurrent Multipath Transfer (PR-CMT) for Multihomed Networks", IEEE Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008, pp.1-5, Nov. 30 2008-Dec. 4 2008.
- Iyengar, J. R. et al (2006) "Concurrent Multipath Transfer Using SCTP Multihoming Over Independent End-to-End Paths", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.14, no.5, pp.951-964.
- Kim, T. et al (2010) "*Concurrent Multipath Transfer using SCTP multihoming over heterogeneous network paths*", 2010 International Conference on Control Automation and Systems (ICCAS), vol., no., pp.1598-1602, 27-30 Oct. 2010.
- Klaue, J. et al (2003) “Evalvid - A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation,” Proc. of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation, Urbana, Illinois, USA, Sept. 2003.
- Mamdani, E.H. (1974) Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. IEEE (Control and Science), v.121(12), p.1585-1588.
- Nguyen, S. C. et al (2011) "Evaluation of multipath TCP load sharing with coupled congestion control option in heterogeneous networks," Global Information Infrastructure Symposium (GIIS), 2011 , vol., no., pp.1-5, 4-6 Aug. 2011.
- Nightingale, J. et al (2012) "Removing path switching overhead in multipath mobile video delivery", 2012 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), vol., no., pp.275-276, 13-16 Jan. 2012.
- NIST (2011). [Online]. Disponível em: http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm_seamlessandsecure.cfm. Acessado em 20 de setembro de 2011 às 15:00h.
- NS-2 (2011) “*The network simulator ns-2*” [Online]. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em 16 de agosto de 2011 às 8:00h.
- Ortega, N. R. S. “Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina”. 2001. 152p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- Rüncos, R. et al (2011) “*Avaliação de parâmetros do SCTP para transporte de tráfego VoIP em cenários com perdas*”, XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2011.
- Schumacher, J.; Dobler, M.; Dillon, E.; Power, G.; Fiedler, M.; Erman, D.; de Vogeleer, K.; Ramos, M.O.; Argente, J.R., "Providing an User Centric Always Best Connection," *Evolving Internet (INTERNET)*, 2010 Second International Conference on , vol., no., pp.80,85, 20-25 Sept. 2010.
- Song, W. et al (2012) "Performance Analysis of Probabilistic Multipath Transmission of Video Streaming Traffic over Multi-Radio Wireless Devices", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.11, no.4, pp.1554-1564, April 2012.
- Stewart, R. et al. (2000) “Stream control transmission protocol”. IETF RFC 2960.
- Stewart, R. et al (2001) "SCTP: new transport protocol for TCP/IP," *Internet Computing, IEEE* , vol.5, no.6, pp.64-69, Nov/Dec 2001.
- Stewart, R. et al (2004) “RFC 3758: Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Partial Reliability Extension”, Request for Comments, IETF, 2004.
- Tu, W. (2012) "Efficient Resource Utilization for Multi-Flow Wireless Multicasting Transmissions", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.30, no.7, pp.1246-1258, August 2012.
- Wallace, T.; Shami, A.(2011) “*A Review of Multihoming Issues Using the Stream Control Transmission Protocol*” *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol.PP, no.99, pp.1-14, 0. doi: 10.1109/SURV.2011.051111.00096.
- Wiegand, T.; Sullivan, G. J.; Bjøntegaard, G. and Luthra, A. “Overview of the H.264/AVC video coding standard,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 560–576, Jul. 2003.
- Xu, C. et al (2008) “*Comparative Study of Real-Time Multimedia Transmission over Multihoming Transport Protocols*” *Proc. of 11th IFIP/IEEE International Conference on Management of Multimedia and Mobile Networks and Services (MMNS)*, Springer LNCS, September 2008: 64-76.
- Yuan, Y. et al (2010) "Extension of SCTP for Concurrent Multi-Path Transfer with Parallel Subflows", 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), vol., no., pp.1-6, 18-21 April 2010.
- Zhu, X. et al (2009) "Distributed Rate Allocation Policies for Multihomed Video Streaming Over Heterogeneous Access Networks", *IEEE Transactions on Multimedia*, vol.11, no.4, pp.752-764, June 2009.