

Modelagem *Multihoming* em Redes Heterogêneas e Proposta de Distribuição de Carga utilizando o aCMT*

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

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

CEP: 50740-540 – Recife – PE – Brasil

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

Abstract. *The CMT (Concurrent Multipath Transfer) extends the multihoming feature of SCTP (Stream Control Transmission Protocol) by means of simultaneous end-to-end data transmission over multiples paths. This article demonstrates, through modeling, the CMT does not provide full support in heterogeneous environments and does not use efficiently the available paths in a SCTP association. In addition, it was proposed an improvement in CMT, making it adaptable to network dynamics and thus, more robust and fault-tolerant in heterogeneous wireless mobile networks. Simulations were performed on ns-2 using IEEE 802.11, IEEE 802.16 and 3G/UMTS as heterogeneous technologies; the results show the effectiveness of the proposal.*

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. Este artigo demonstra, através de modelagem, que o CMT não fornece suporte completo em ambientes heterogêneos e não utiliza de forma eficiente os caminhos disponíveis em uma associação SCTP. Deste modo, foi proposta uma melhora do CMT, tornando-o adaptável à dinâmica da rede e com isso, mais robusto e tolerante a falhas em redes sem fio heterogêneas. Foram realizadas simulações no ns-2 utilizando as tecnologias IEEE 802.11, IEEE 802.16 e 3G/UMTS; os resultados mostram a eficácia da proposta.*

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 pode dispor redundância de caminhos, oferecendo, dessa forma, certo grau de confiabilidade na rede [Kelly, A. et al].

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

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 problema se agrava quando existem várias interfaces tentando se comunicar simultaneamente.

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, 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. Porém, mesmo possuindo os elementos fundamentais para dar suporte ao *multihoming* [Stewart R. et al 2000], 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 de vazão dos dados.

Como o CMT não fornece um suporte adequado em redes sem fio e heterogêneas, propõe-se neste artigo um sistema adaptativo baseado no CMT (denominado aCMT – 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 maior satisfação ao usuário. Dessa forma, este trabalho também propõe a melhoria da QoS (*Quality of Service*), diferentemente dos outros trabalhos que apenas lidam com seleção de uma única rede, agora, considerando a distribuição inteligente do tráfego da aplicação entre as diversas redes de acesso.

Este artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2, serão apresentados os problemas gerados pela utilização do CMT. Na seção 3 serão abordados os trabalhos relacionados mais relevantes. A Seção 4 discute a proposta de distribuição eficiente de carga, apresentando uma política para tornar o protocolo SCTP-CMT adaptativo. Na Seção 5, serão apresentadas as ferramentas de análises e como a proposta foi avaliada. A Seção 6 apresenta os resultados obtidos nos experimentos e, por fim, a Seção 7 aborda as principais discussões e considerações finais obtidas no presente artigo.

2. Modelagem do *Multihoming* em Redes Heterogêneas

Para mostrar os pontos fortes e fracos do CMT em relação ao SCTP foi realizada uma comparação entre os dois modelos utilizando Redes de Petri. O resultado desta comparação nos ajudou na formulação e desenvolvimento de uma nova proposta para o CMT em ambiente de redes heterogêneas (IEEE 802.11/Wi-Fi, IEEE 802.16/WiMax e 3G/UMTS). As modelagens das Redes de Petri foram realizadas utilizando o software TimeNET [TimeNET 2011].

2.1. Modelagem do SCTP

A Figura 1 mostra o modelo GSPN (*Generalized Stochastic Petri Net*) do SCTP padrão. O foco da modelagem está na característica *multihoming* do protocolo. Com isso considera-se que as associações SCTP já foram estabelecidas e o protocolo está pronto para transmitir.

O lugar *#Inicio* indica o início da seleção de interface do protocolo. Um *token* presente neste lugar sugere que o protocolo deve decidir qual será a interface primária e quais serão as secundárias a serem consideradas na transmissão. É interessante lembrar que, no SCTP, apenas uma interface pode transmitir dados por vez. Enquanto uma interface está transmitindo (primária), as outras (secundárias) ficam em estado de espera. Após a escolha da interface primária inicia-se o processo de transmissão de dados. Sempre que houver um *token* no lugar de uma interface (*#wifi*, *#wimax*, *#3G*) haverá um conflito, pois apenas uma interface pode estar ativa para transmissão.

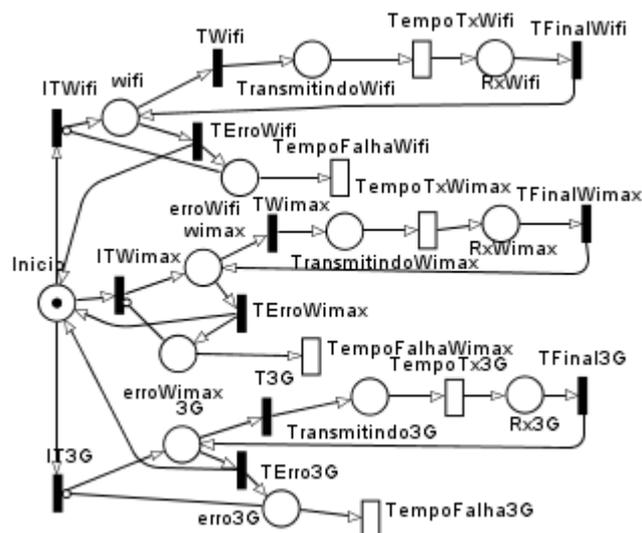


Figura 1. Modelo GSPN do SCTP padrão.

O disparo da transição TWifi indica a operação normal de envio de pacotes para o receptor através da interface Wi-Fi, enquanto que a ativação de TErroWifi indica a ocorrência de um erro e a impossibilidade de transmissão de pacotes através da interface Wi-Fi.

Toda vez que ocorre um erro em uma das interfaces, esta não poderá ser mais escolhida por um dado período de tempo (Simulando o pacote Heartbeat do SCTP). Esta operação é modelada pelo arco inibidor que se origina de um lugar de erro (*#erroWifi*, *#erroWimax*, *#erro3G*) para a transição que habilita a respectiva interface. A interface em estado de erro permanece assim por um período de tempo exponencialmente

distribuído com média igual às variáveis *TempoFalhaWifi*, *TempoFalhaWimax* ou *TempoFalha3G*, dependendo da interface em questão. A rede irá transmitir por uma determinada interface até ocorrer um erro que a torne inoperante.

2.2. Modelagem do CMT

O modelo da Figura 2 é semelhante ao da Figura 1. A diferença entre os modelos é a mesma diferença entre os protocolos SCTP padrão e CMT. Enquanto o SCTP habilita apenas uma interface para o tráfego de dados, o CMT utiliza todas as interfaces de um dispositivo para enviar dados em uma mesma associação. Como apresentado na Figura 2, após a transição de início, cada interface recebe um *token* de marcação. Desse modo todas as interfaces ficam habilitadas para o tráfego de dados.

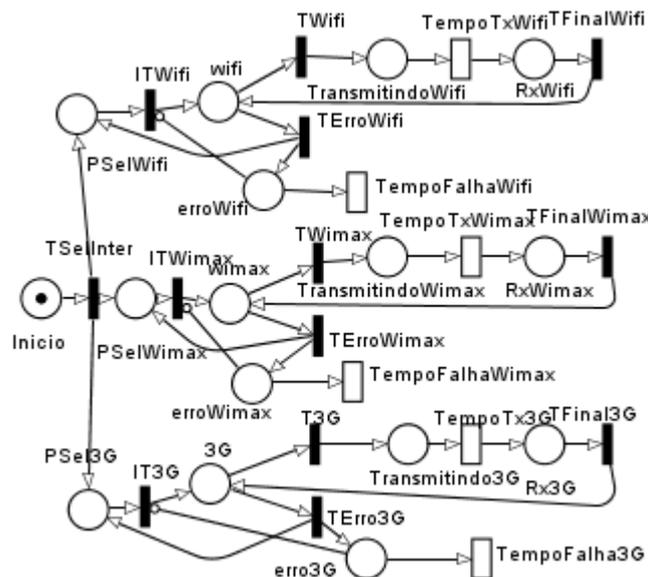


Figura 2. Modelo GSPN do CMT.

2.3. Avaliação

A Tabela 1 apresenta as métricas utilizadas no TimeNET para a avaliação dos modelos. Basicamente, têm-se duas métricas: a probabilidade do sistema estar transmitindo por uma das três interfaces e a probabilidade de uma interface entrar em estado de erro, ou seja, ficar inoperante.

Tabela 1. Métricas de avaliação no TimeNET

Métrica/Expressão(TimeNet)	Descrição
$\text{probWifi} / P\{\#\text{transmitindoWifi} > 0\}$	Probabilidade da Interface Wi-Fi estar ativa e transmitindo.
$\text{probWimax} / P\{\#\text{transmitindoWimax} > 0\}$	Probabilidade da Interface Wimax estar ativa e transmitindo.
$\text{prob3G} / P\{\#\text{transmitindo3G} > 0\}$	Probabilidade da Interface 3G estar ativa e transmitindo.
$\text{probErroWifi} / P\{\#\text{erroWifi} > 0\}$	Probabilidade da interface Wi-Fi estar em estado de erro
$\text{probErroWimax} / P\{\#\text{erroWimax} > 0\}$	Probabilidade da interface Wimax estar em estado de erro
$\text{probErro3G} / P\{\#\text{erro3G} > 0\}$	Probabilidade da interface 3G estar em estado de erro

Para avaliar os dois protocolos na mesma condição, os atrasos (*delays*) das transições temporais foram configurados com valores médios iguais em ambos os modelos. Os tempos das transições “TempoFalhaWifi”, “TempoFalhaWimax” e “TempoFalha3G”, observados na Figura 2, foram definidos de acordo com uma distribuição exponencial com média igual a 3s nos dois modelos (SCTP e CMT). O

mesmo ocorreu com “TERroWifi”, “TERroWimax” e “TERro3G”, porém a média adotada foi igual a 1s. Neste experimento, o tempo que o protocolo leva transmitindo é de 20s, sendo o mesmo para as três interfaces. A Tabela 2 sumariza os valores configurados.

Tabela 2. Valores de tempo ou peso das transições

Métrica	Valor
TempoTxWifi, TempoTxWimax, TempoTx3G	20.0s
TempoFalhaWifi, TempoFalhaWimax, TempoFalha3G	3.0s
TWifi, TWimax, T3G	0.9 (90%)
TERroWifi, TERroWimax, TERro3G	0.1 (10%)

Toda ocorrência de conflito em um modelo é resolvida através dos pesos associados às transições conflitantes. Com isso, os pesos das transições TWifi, TWimax e T3G são iguais entre si e definidos como 0.9. Já os pesos de TERroWifi, TERroWimax e TERro3G são todos iguais a 0.1. Deste modo, a probabilidade de ocorrer um erro em uma dada interface é de 10%, por outro lado o protocolo transmite normalmente em 90% dos casos.

Após as devidas configurações dos parâmetros no TimeNET, iniciou-se a fase de coleta e análise dos dados. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos na simulação estacionária dos protocolos no TimeNET.

Tabela 3. Resultados da simulação no TimeNET

	SCTP	CMT
probWifi	0,32293 (32,29%)	0,98447 (98,44%)
probWimax	0,32846 (32,84%)	0,93723 (93,72%)
prob3G	0,31066 (31,06%)	0,91541 (91,54%)
probErroWifi	0,0055 (0,55%)	0,01570 (1,57%)
probErroWimax	0,0056 (0,56%)	0,01644 (1,64%)
probErro3G	0,0057 (0,57%)	0,01607 (1,67%)

A Tabela 3 mostra que a probabilidade de uma interface estar transmitindo no CMT é bem maior que a mesma interface estar transmitindo no SCTP. Por outro lado, a probabilidade do sistema estar em estado de erro é maior no CMT em comparação com o SCTP. Estas conclusões mostram que apesar de o CMT fornecer maior vazão ele é mais sensível aos erros que ocorrem na rede.

Com o intuito de quantificar a comparação, a vazão total foi calculada a partir dos modelos utilizando os dados da Tabela 4 e a Equação 1. A vazão total é definida como o número de bytes trafegados durante um período de tempo. Esta é obtida através do produto do tempo de simulação com a soma das probabilidades de um *token* está na marcação de uma tecnologia multiplicado pela vazão teórica máxima daquela tecnologia. Para apresentar os resultados na escala de GBytes, dividiu-se o resultado obtido pelo produto 8×1024 , conforme denotado na Equação 1.

$$\begin{aligned}
 Vazão_{Total} = T * [& (P\{\#transmitindoWifi > 0\} * vazãoWifi) + \\
 & (P\{\#transmitindoWiMax > 0\} * vazãoWiM + \\
 & (P\{\#transmitindo3G > 0\} * vazão3G)] * \left[\frac{1}{8 * 1024} \right]
 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde T é o tempo de simulação.

Tabela 4. Valores para o cálculo da vazão total da rede.

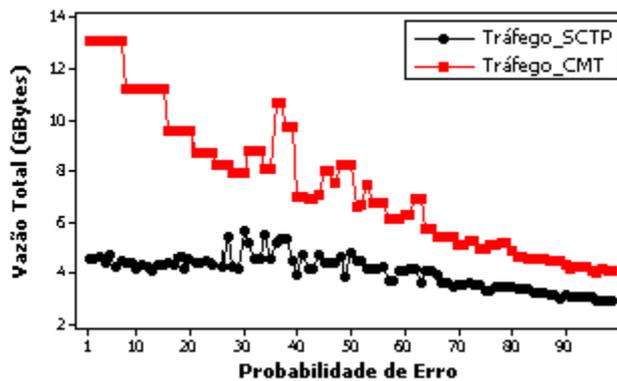
Variáveis	Valores
vazaoWifi	54 Mbit/s
vazaoWimax	1 Gbit/s
vazao3G	10 Mbit/s
tempoSimulacao(T)	100 segundos

Além da vazão, utilizou-se para comparação de desempenho, entre os protocolos, a métrica de perda de pacotes. A Equação 2 denota o cálculo para a perda de pacotes e utiliza os parâmetros apresentados na Tabela 4.

$$\begin{aligned}
 Perda_{\text{pacotes}} = & T * [(P\{\#erroWifi > 0\} * vazãoWifi) + \\
 & (P\{\#erroWiMax > 0\} * vazãoWiMax) + \\
 & (P\{\#erro3G > 0\} * vazão3G)] * \left[\frac{1}{8} * \frac{1}{1024} \right]
 \end{aligned} \quad (2)$$

É importante ressaltar que as simulações de desempenho foram feitas de forma estacionária para cada probabilidade de erro, variando de 1% a 50%. Os resultados apresentados na Figura 3 e 4 evidenciam a média para cada simulação com 95% de nível de confiança.

A Figura 3 mostra o total de tráfego do SCTP e do CMT quando se varia a probabilidade de erro nas interfaces (em termos percentuais). Nota-se, nesta figura, que inicialmente o volume total da rede no modelo CMT é bem maior (próximo de 13 GBytes) comparado com aproximadamente 4,3 GBytes do SCTP, representando uma superioridade, em termos de vazão total, do protocolo CMT sobre o SCTP.

**Figura 3. Comparação entre a vazão do SCTP e do CMT.**

Os conflitos de transições nas Redes de Petri são resolvidos pelos pesos destas transições. Para aumentar a probabilidade de erro, aumentaram-se os pesos das transições de erro nos modelos.

A Figura 4 apresenta os resultados das perdas de pacotes ocorridas na rede variando-se a probabilidade de erro. Nesta figura, percebe-se que quanto maior a probabilidade de erro, maior serão as perdas em ambos os protocolos. Nota-se que o desempenho do protocolo CMT é inferior ao SCTP. As perdas com o CMT são maiores, pois quanto maior o número de interfaces transmitindo simultaneamente, maior será a de ocorrência de erros.

Deste modo, através da análise conjunta dos resultados apresentados nas Figuras 3 e 4 nota-se que apesar do CMT fornecer maior tráfego de dados, ele é mais sensível aos erros que ocorrem na rede se comparado com o SCTP. Este problema pode se tornar

ainda mais evidente quando se trata de redes sem fio, onde ocorrem mais erros e perdas devido aos problemas inerentes ao caminho sem fio.

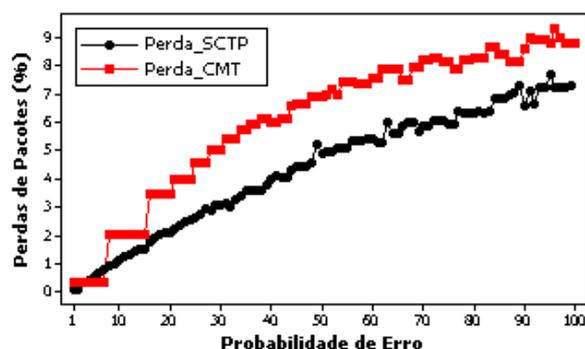


Figura 4. Simulação das perdas de pacotes nos modelos

Com isso, conclui-se que o CMT precisa de políticas robustas de detecção, correção e prevenção de falhas. O aCMT, descrito e avaliado nas Seção 5 e 6, visa propor um protocolo mais robusto e tolerante as falhas em redes sem fio heterogêneas através de política inteligente de distribuição do tráfego baseada em lógica fuzzy. Existem alguns trabalho que tratam do Sctp e CMT na literatura, porém nenhum deles cria políticas para melhoria do CMT em redes sem fio.

3. Arquitetura para o Suporte à Distribuição Eficiente de Carga

Para tornar o CMT um protocolo mais robusto em redes sem fio heterogêneas, propõe-se que os caminhos de uma associação Sctp-CMT sejam monitorados e gerenciados por um arcabouço denominado CMT Adaptativo ou aCMT, definido a seguir. Para montar o arcabouço aCMT foi necessário incluir na proposta dois componentes: Sistema de Pesos e 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, quer dizer que ele está com qualidade e é seguro para a transmissão, ao passo que se o peso está baixo infere-se que aquele caminho está impróprio para a comunicação. Desta forma, o Sistema de Pesos transforma o CMT em um protocolo adaptativo.

Por sua vez o Sistema Fuzzy é utilizado para escolha dos pesos que serão atribuídos nos caminhos das associações Sctp. A vazão é proporcional aos pesos de cada caminho. 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 do que, a lógica fuzzy é ideal para tomada de decisões onde as variáveis assumem mais de dois valores.

3.1. Sistema de Pesos do aCMT

Para diferenciar os caminhos de uma associação Sctp-CMT é atribuído o conceito de *peso* para cada caminho. A Figura 5 ilustra que para o CMT (padrão), as cargas são distribuídas igualmente entre os caminhos. Enquanto que no aCMT, o Sistema Fuzzy detecta que o caminho WiMAX, por exemplo, está mais congestionado que o caminho Wi-Fi, por este motivo, o peso da interface Wi-Fi é configurado, neste exemplo, 3 vezes maior ($3N$) que o da interface WiMAX (N). Deste modo, são distribuídos o triplo de carga pelo caminho Wi-Fi em relação ao caminho WiMAX.

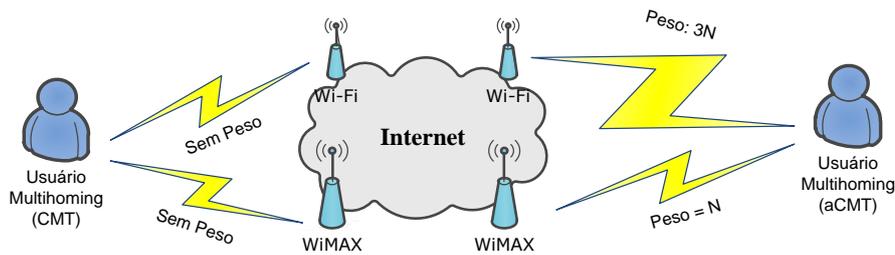


Figura 5. Comparação ilustrativa da comunicação *multihoming* utilizando CMT e aCMT.

3.2. Sistema Fuzzy do aCMT

Diferentemente da lógica tradicional, que utiliza valores exatos, a lógica fuzzy possibilita um nível de incerteza, tornando-a ideal para variáveis imprecisas como RTT, vazão e a janela de congestionamento (variáveis utilizadas neste trabalho). Na teoria dos conjuntos fuzzy existe um grau de pertinência de cada elemento em relação a um determinado conjunto. Desta forma, a função característica pode ser generalizada de modo que os valores designados aos elementos do conjunto universo pertençam ao intervalo de números reais $[0,1]$, indicando o grau de pertinência dos elementos. Sendo assim, um elemento pode pertencer mais a um conjunto fuzzy e menos a outro. O método de inferência fuzzy adotado foi aquele conhecido na literatura por inferência de Mamdani [MAMDANI, E.H. 1974].

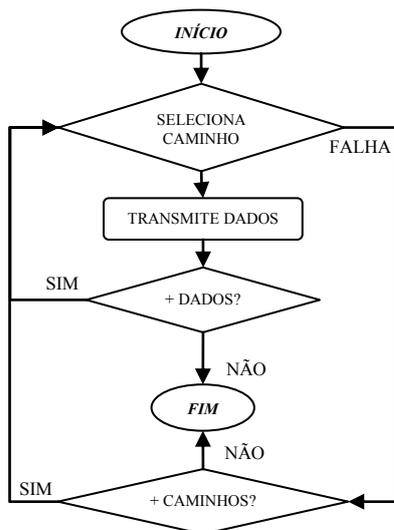


Figura 6. Fluxograma do CMT.

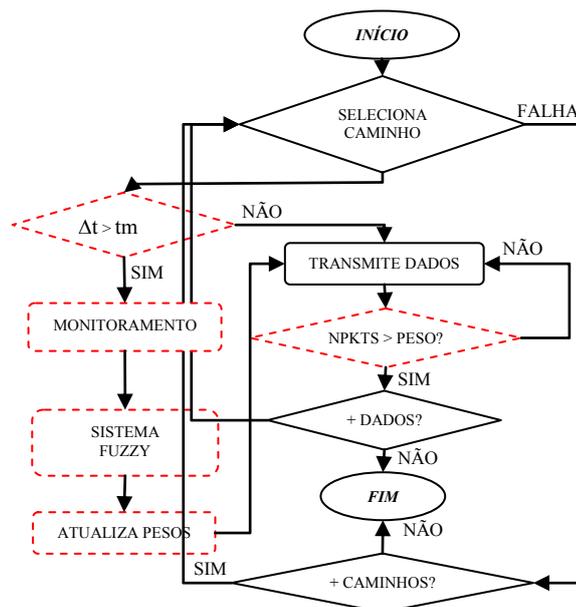


Figura 7. Fluxograma do aCMT.

A Figura 6 mostra o fluxograma do funcionamento do CMT padrão, o protocolo inicia a transferência através de um dos caminhos selecionados e, enquanto existir dados, o CMT prossegue transmitindo, sempre selecionando outra interface para a transmissão no final de cada iteração.

A Figura 7 exhibe o fluxograma do protocolo aCMT, em pontilhado estão destacados os módulos inseridos no CMT para torná-lo adaptativo. Após o início da transmissão, o sistema seleciona um caminho, e monitora, em um intervalo Δt (onde $\Delta t = 1s$), as variáveis $vRTT$ (variação do RTT), vazão e janela de congestionamento ($cwnd$) atuais de cada caminho. Através de experimentos, observou-se que o sistema obteve melhor desempenho quando o caminho era monitorado em intervalos de 1 segundo.

Estas informações são inseridas no sistema fuzzy e os pesos são atualizados de acordo com a resposta do sistema. O número de pacotes (*npkts*) enviados é equivalente ao peso do caminho em questão, quanto maior o peso do caminho, mais pacotes serão enviados por este caminho.

No formato dos conjuntos fuzzy sobre cada uma das variáveis de entrada, optou-se por usar funções de pertinência trapezoidais (Figura 8) devido a sua fácil compreensão e por ser facilmente gerada. Cada variável de entrada tem três conjuntos fuzzy definidos sobre ela.

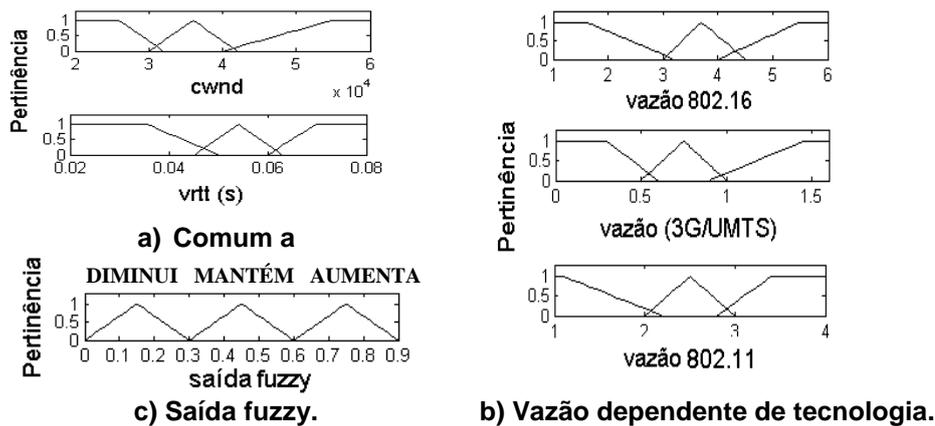


Figura 8. Conjuntos fuzzy criados para a proposta.

Para a janela de congestionamento(c), Figura 8 (a), têm-se os conjuntos PEQUENA (Pc), MÉDIA (Mc) e GRANDE (Gc), para a $vRTT(r)$, Figura 8 (a), têm-se os conjuntos BAIXO (Br), MÉDIO (Mr) e ALTO (Ar) e para a vazão(v), Figura 8 (b), atribuiu-se PEQUENA(Pv), MEDIA(Mv) e ALTA(Av).

Os valores da janela de congestionamento e $vRTT$ não diferem entre as diferentes tecnologias, conseqüentemente, o conjunto de pertinência destas variáveis serve para todos os caminhos. Porém, os valores de vazão são dependentes da tecnologia utilizada, com isso, houve a necessidade de criar conjuntos específicos para cada tecnologia, Figura 8 (b).

A variável de saída (s), Figura 8 (c), possui três conjuntos fuzzy que indicam como os pesos serão modificados. Em termos linguísticos, são definidos da seguinte maneira: DIMINUI(Ds), MANTEM(Ms), AUMENTA (As), referindo-se ao peso do caminho aCMT. Normalmente, para englobar todas as possíveis regras de inferência, o número de regras é igual ao número de variáveis elevado a ele mesmo, portanto existem vinte e sete regras, tendo em vista que são três variáveis.

Optou-se por utilizar apenas estas três variáveis (RTT,CWND e Vazão) porque quanto maior o número de variáveis mais complexo fica o sistema fuzzy. Se este sistema se tornar complexo, pode haver um grande overhead na rede uma vez que o sistema pode demorar no cálculo de atualização de peso, tornando o sistema inviável.

4. 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 e o módulo NIST mobility [NIST 2011] em um novo patch, para permite 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.

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 objetivas de QoS. O caminho fim-a-fim é pré-estabelecido no início da simulação. O usuário só utiliza as interfaces que possuem cobertura.

A Figura 9 mostra o cenário utilizado nas simulações. Este cenário ilustra a sobreposição de redes heterogêneas composta 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*), o aumento de estações base de celular e a difusão da tecnologia como o 802.16 (WiMAX) e 3G sugere esta tendência.

O cenário da Figura 9 possui, ainda, 4 roteadores cabeados conectando as redes à um nó correspondente (CN ou *Correspondent Node*), que pode ser considerado a Internet, outra rede ou outro usuário qualquer. O dispositivo do usuário móvel (MN ou *Mobile Node*) possui várias interfaces (*multihoming*) que permite a ele conectar-se com várias redes ao seu redor simultaneamente.

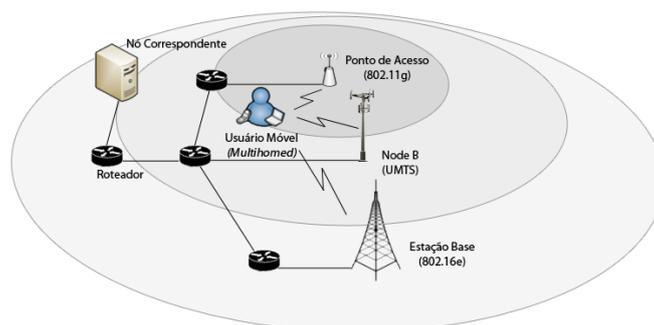


Figura 9. Configuração dos elementos do cenário nas simulações.

A avaliação é conduzida de duas formas, através de modelos de erros que variam de 1% a 6% de perdas nos caminhos e da inserção aleatória de tráfegos UDP (*User Datagram Protocol*) na rede. O sistema fuzzy precisa detectar os caminhos de melhor qualidade de enlace, com isso, ele pode desviar o fluxo para o caminho menos congestionado e com a menor probabilidade de erros na rede.

A Tabela 5 descreve os parâmetros das simulações. Nas simulações, o tráfego *multihoming* é configurado no sentido *downlink* (do CN para o MN). Dez usuários são posicionados de forma aleatória, onde as coordenadas possuem uma distribuição gaussiana com média em torno da posição do AP 802.11 e variância limitada à área de cobertura do UMTS, para haver, em todos os casos, pelo menos duas redes na cobertura do usuário, caso contrário não haveria heterogeneidade.

Tabela 5. 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	10 usuários estáticos posicionados aleatoriamente.	4 (roteadores)
Tipo de Tráfego (para cada usuário)	FTP (limitado a 5 Mbps).	
Avaliação	Modelo de Erro (variando de 1% a 6% de perdas)	
Intervalo de monitoramento (s)	500 ms	
Tamanho do pacote (<i>Data Chunk SCTP</i>)	1468	
Fragmentação máxima dos pacotes	1500	
<i>Warm-up</i>	10% (60s) = 6s	
Tempo de cada simulação	60 segundos	
Número de simulações	100	

Após as simulações, os dados obtidos foram analisados e a Seção 6 mostra os resultados obtidos.

5. Resultados obtidos

A Figura 10 apresenta a média da vazão no receptor em relação à taxa de erro, que varia de 1% a 6%, inserida na rede. Nesta Figura percebe-se que o CMT não se adapta em um cenário heterogêneo desvantajoso. Quando ocorrem erros na rede, o CMT perde pacotes e isso provoca a degradação da vazão total das associações heterogêneas. Por outro lado, o aCMT através do sistema fuzzy, detecta o cenário desvantajoso, desviando o fluxo para o enlace com melhor qualidade, mantendo a vazão quase constante.

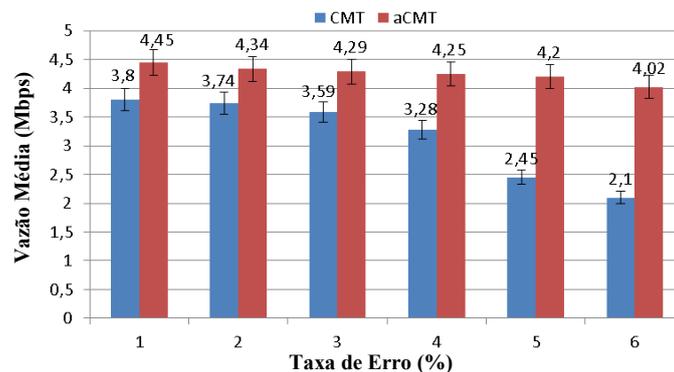


Figura 10. Comparação entre as médias das vazões do CMT e do aCMT que resultaram dos experimentos.

A Figura 11 exibe a média das perdas de pacotes em toda a rede durante as simulações. Nota-se que o aCMT novamente se mostra bastante robusto em comparação com o CMT, quando ocorre erros na rede. Segundo o gráfico, com 6% de taxa de erro ocorre 5,76% de perdas de pacotes utilizando o CMT e apenas 0,9% utilizando o aCMT.

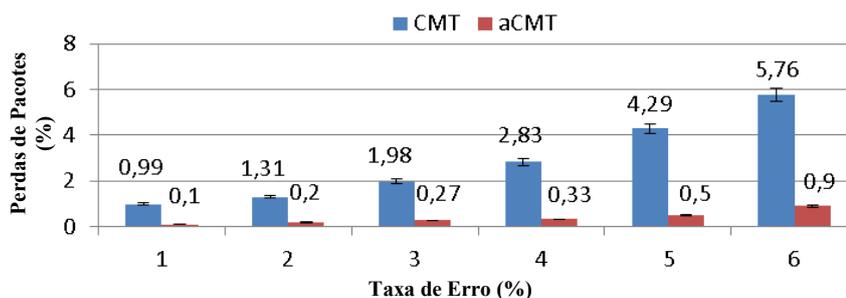


Figura 11. Perda de pacotes no CMT e no aCMT.

A Figura 12 ilustra a vazão no receptor, de uma das simulações, quando o tráfego interferente é inserido na rede no instante 34s. Como o CMT padrão não é adaptativo, a vazão é degradada prejudicando o serviço do usuário. No entanto, o aCMT com o mecanismo de adaptação fuzzy, mostra-se mais robusto e mais adequado a cenários desvantajosos, como é o caso das redes heterogêneas.

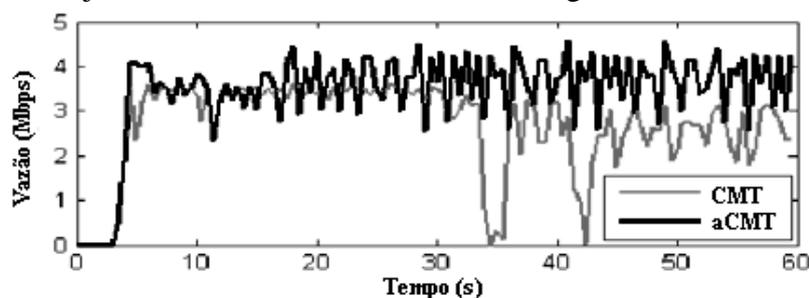


Figura 12. Comparação entre vazões instantâneas do CMT e do aCMT.

A Tabela 6 resume os resultados extraídos das simulações. Examinando a Tabela percebe-se que o aCMT possui um ganho de 34,76% na Vazão média das simulações e perde aproximadamente 746,22% menos pacotes que o CMT.

Tabela 6. Comparação das médias dos resultados extraídos das simulações.

	CMT	aCMT	Ganho da Proposta (%)
Vazão (Mbps)	3,16	4,26	34,76%
Perda de Pacote (%)	2,86	0,38	746,22%

6. Trabalhos Relacionados

A seguir serão apresentados alguns trabalhos que envolvem seleção de caminho e *multihoming* com SCTP e CMT.

O artigo [Kashihara et al. 2004] propõe um algoritmo de escolha do melhor caminho de uma associação SCTP baseado na estimativa do RTT (*Round Trip Time*) e na largura de banda disponível em cada projeto. Porém o trabalho aborda apenas uma métrica, RTT, e a análise é feita em redes cabeadas. Em [Fracchia et al. 2007] é introduzida uma modificação no emissor SCTP, chamada de WISE (*Wireless SCTP Extension*), que combina informações sobre a largura de banda estimada e RTT para caminhos alternativos.

O artigo [Ilknur A. et al. 2009] analisa a vazão de aplicações que utilizam SCTP-CMT sobre redes 802.11 com múltiplos saltos estáticos através do simulador QualNet. Apesar de este trabalho abordar o CMT em redes móveis, limita-se a redes homogêneas e os autores não propuseram nenhuma política que reduzisse os impactos gerados pelo uso do CMT.

O trabalho [Xiaofei Zhang et al. 2009] avalia o CMT em redes sem fio com uma abordagem *cross-layer* em função de dois parâmetros: FER (*Frame Error Rate*) na camada de enlace e RTT na camada de transporte. Porém, também analisa apenas redes homogêneas. Em [Jiemin L. et al. 2009] é proposta uma política de controle de congestionamento (SPCC-SCTP – *Sub-Path Congestion-Control policy for SCTP*) sob o cenário de um remetente limitado pelo buffer de recepção. Apesar de haver uma política que melhora o SCTP, a análise é feita apenas em redes cabeadas.

Os artigos [Lukasz B. et al. 2009] e [Budzisz et al. 2010] abordam os protocolos SCTP e SCTP-CMT utilizando *multihoming* em ambientes de mobilidade. Porém os artigos que tratam mobilidade, não atentam para a distribuição de carga que pode ser feita antes e depois do processo de *handover*, ficando limitados apenas ao momento de execução do processo, para evitar perdas de pacotes.

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 [Wallace T. et al. 2011] são abordados os principais problemas envolvendo a utilização do *multihoming*. Os autores citam uma série de contribuições que melhoraram a eficácia operacional do CMT. No entanto, concluem que ainda é necessário realizar mais pesquisas que envolvam seleção de caminhos de transmissão para redes sem fio. As referências citadas naquele *survey* não apresentam propostas de algoritmos para a seleção de caminhos e não abordam o CMT em ambientes heterogêneos.

7. 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 aCMT os caminhos com maior qualidade são priorizados, com isso percebeu-se um ganho significativo tanto na vazão quanto na redução da perda de pacotes em comparação aos valores obtidos pelo CMT.

Referências

- Kelly, A. et al (2004) “*Delay-centric handover in SCTP over WLAN*”, Transactions on Automatic Control and Computer Science, v. 49, n. 63, p. 1-6.
- Stewart, R. et al. (2000). “*Stream control transmission protocol*”. IETF RFC 2960.
- Kashihara S. et al. (2004) “*Path Selection Using Active Measurement in Multi-Homed Wireless Networks*”, IEEE SAINT’04, vol. 00, p. 273.

- Fracchia R. et al. (2007) “*Best-Path Selection in Wireless Multihoming Environments*”, IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 6, no. 10, p. 1130–1141.
- Ilknur A. et al. (2009) “*Performance Evaluation of CMT Using SCTP Multihoming in Multihop Wireless Networks*”, Network Computing and Applications, IEEE International Symposium, p. 234-241.
- Jiemin L. et al. (2009) “*Sub-Path Congestion Control in CMT*”, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom, p. 1- 4.
- Xiaofei Zhang et al. (2009) “*A Cross-layer Approach to Optimize the Performance of Concurrent Multipath Transfer in Wireless Transmission*”, Wireless Days (WD), 2009 2nd IFIP , vol., no., pp.1-5.
- Lukasz B. et al. (2009) “*An MIH-Assisted Handoff Mechanism for Concurrent Multipath Transfer in Wireless Multihomed Networks*”, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, p. 778 – 782.
- Budzisz et al. (2010) “*On Concurrent Multipath Transfer in SCTP-Based Handover Scenarios*”, IEEE International Conference on Communications, p. 1-6.
- Iyengar, J.R. et al (2006) “*Concurrent Multipath Transfer Using SCTP Multihoming Over Independent End-to-End Paths*”, Networking, IEEE/ACM Transactions on, vol.14, no.5, pp.951-964.
- Iyengar J. (2006) “*End-to-end Concurrent Multipath Transfer Using Transport Layer Multihoming*”, Ph.D. dissertation, University of Delaware, Newark, DE, USA.
- 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
- NIST. (2011). [Online]. Disponível em: <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/pubtool.shtml#tools> Acessado em 20 de agosto de 2011 às 15:00h
- Delaware. (2011) “*University of Delaware*”, [Online]. Disponível em: <http://pel.cis.udel.edu/> Acessado em 21 de agosto de 2011 às 13:00h
- Mamdani, E.H. (1974) Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. IEEE (Control and Science), v.121(12), p.1585-1588.
- 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.
- 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
- 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
- TimeNET(2011). Disponível em < <http://www.tu-ilmenau.de/fakia/8086.html>>. Acesso Setembro/2011.