

Suporte a QoE e QoS em Redes em Malha Sem Fio

Rafael Lopes Gomes, Jose Jailton
Júnior, Antônio Gomes Abelém
Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
rafaellgom@gmail.com, {jjj, abelem}@ufpa.br

Waldir Moreira Júnior
Instituto de Engenharia de Sistemas e
Computadores (INESC) do Porto
Porto, Portugal
wjunior@inescporto.pt

RESUMO

A crescente demanda das aplicações multimídias exige um novo comportamento dos protocolos de roteamento para as redes em malha sem fio (*Wireless Mesh Network* – WMN), por isso que além de suprir os requisitos mínimos de Qualidade de Serviço (QoS), as WMN também precisam suprir os requisitos mínimos de Qualidade de Experiência (QoE). Este artigo complementa a proposta do protocolo de roteamento OLSR-DC, apresentando uma análise não somente de um ponto de vista da rede (QoS), mas também de um ponto de vista do usuário (QoE). Os resultados das simulações comprovaram o desempenho dos protocolos, analisando a vazão, a probabilidade de bloqueio dos tráfegos e a qualidade do vídeo recebido pelo usuário.

ABSTRACT

The increasing demand of multimedia applications requires a new conduct of routing protocols for Wireless Mesh Networks (WMN). It is necessary to support the minimum requirements for Quality of Service (QoS), but the WMN also need to support the minimum requirements for Quality of Experience (QoE). This article complements analysis of the proposed routing protocol OLSR-DC, from a perspective of the network (QoS) and from a perspective of the user (QoE). The simulations were performed to demonstrate the performance of the protocols, analyzing the throughput, the traffic blocking probability and the video received by the user.

Categories and Subject Descriptors

C.2.1 [Computer - Communication Networks]: Network Architecture and Design – Wireless communication;
C.2.3 [Computer - Communication Networks]: Network Operation - Public Networks.

General Terms

Performance, Verification.

Keywords

Protocolos de Roteamento, Redes em Malha sem Fio, QoS, QoE.

1. INTRODUÇÃO

As redes em malha sem fio (*Wireless Mesh Network* – WMN) são um caso especial de redes *Ad Hoc* [1], entretanto seus nós podem ser fixos bem como móveis. Os nós clientes de uma WMN não necessitam atuar como roteadores, podendo simplesmente fazer uso da infra-estrutura que é oferecida.

Apesar da constante evolução das redes sem fio, estas ainda possuem largura de banda limitada e uma grande sobrecarga

oriunda dos pacotes de controle. Além de serem muitos os fatores ambientais que influenciam no desempenho, tais como clima, obstáculos, interferências e outras [2].

Os protocolos de roteamento para WMNs precisam ter as características de auto-gestão, auto-configuração, e de auto-recuperação [2]. Ao longo do tempo diversos protocolos foram desenvolvidos objetivando atender as demandas das aplicações para as quais foram desenvolvidos, sendo que cada aplicação possui suas características em particular [3].

O crescimento da utilização da Internet através de redes sem fio motivou o desenvolvimento de aplicações e dispositivos que usam os recursos deste tipo de utilização da Internet. Deste modo, estes usuários de redes sem fio esperam obter os mesmos tipos de serviços que são oferecidos quando se encontram em redes cabeadas, assim como esperam o mesmo, quicá superior, nível de qualidade [4]. Com o crescimento das aplicações multimídias, as WMNs devem ser projetadas para transportar simultaneamente voz, dados e vídeo, que têm diferentes requisitos de desempenho.

Diferentes soluções foram desenvolvidas para proporcionar Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS), sendo propostos diferentes mecanismos e algoritmos foram propostos, em sua maioria, para duas camadas do modelo OSI: aplicação e rede. O termo QoS refere-se à capacidade da rede garantir um certo nível de performance para um fluxo, em sua maioria um tráfego multimídia. O QoS faz uma perspectiva técnica do serviço. O QoS é um conceito técnico medido, expressado e compreendido em nível de rede e seus elementos, e geralmente tem pouco significado para o usuário.

Acima das tradicionais camadas é possível imaginar uma pseudo-camada de percepção, que preocupa-se com a experiência do usuário final. O conceito que expressa o desempenho desta camada de percepção é a Qualidade de Experiência (*Quality of Experience* - QoE).

O conceito de Qualidade de Experiência está relacionado à avaliação das aplicações multimídia do ponto de vista da percepção do usuário. O termo surgiu para suprir as “lacunas” deixadas pela avaliação tradicional realizada pelas métricas de QoS tais como: vazão, *jitter* e atraso, que avaliam o impacto das aplicações do ponto de vista da rede para suprir tais requisitos de desempenho. As métricas de QoS não refletem a experiência do usuário diante de um vídeo, não permitindo afirmar se a qualidade do vídeo recebido pelo

mesmo pode ser qualificada como boa. Pois se tratando de avaliações de aplicações multimídias, a sensibilidade humana é primordial [5] [6].

Neste contexto, este artigo apresenta uma análise complementar do protocolo de roteamento para as WMNs, baseado no protocolo OLSR (*Optimized Link State Routing*) [7], OLSR-DC (*Dynamic Choice*), analisando este e outras principais extensões do protocolo OLSR sobre um ponto de vista não só da rede mas do usuário final também.

Portanto, este trabalho analisa o desempenho dos protocolos OLSR, OLSR-ETX (*Expected Transmission Count*) [9], OLSR-MD (*Minimum Delay*) [10] e OLSR-DC [8], através de simulações no *Network Simulator* (NS-2) [11], em um cenário com grande concorrência entre os fluxos de dados, áudio e vídeo. O tráfego de vídeo foi avaliado sob a experiência que o usuário obteve diante da aplicação após a transferência, através das métricas de avaliação de QoE.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 mostra alguns trabalhos relacionados, a Seção 3 descreve o protocolo OLSR e as extensões usadas neste artigo, a Seção 4 apresenta o protocolo OLSR-DC, a seção 5 faz uma análise dos resultados obtidos das simulações efetuadas e, finalmente, a seção 6 mostra as conclusões e os trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são mostrados os trabalhos relacionados à área de aplicações multimídia nas WMNs, assim como trabalhos relativos à QoE e QoS presentes na literatura.

Liu[12] propõe um algoritmo de estimação de largura de banda, para prover QoS à aplicações multimídia, realizando um experimento *outdoor* em uma WMN real.

Z. Wang [6] e Chen [13] mostram os problemas básicos para se ter um roteamento que atenda aos parâmetros de QoS em redes de múltiplos saltos, como controle de congestionamento, reserva de banda, mobilidade e outros.

Gallo [14] mostra conceitos importantes e detalhados sobre QoE a partir de um *survey* na área de gerenciamento de QoS, onde o mesmo propõe melhorias que poderiam ser feitas na ontologia de um *framework* de QoE.

Kim [15] propõe uma método para a medição de QoE através de um modelo de correlação entre QoS e QoE. Piemrat [16] e Venkataraman [17] mostram informações relativas aos conceitos de QoE e a escala de qualidade de vídeo MOS (*Mean Opinion Score*).

Em nenhum dos trabalhos citados é encontrada uma análise dos tráfegos em ambientes de concorrência entre os diferentes tipos de fluxos (áudio, vídeo e dados) nas WMNs.

3. PROTOCOLO OLSR

O protocolo OLSR [7] é uma adaptação do algoritmo de estado de enlace tradicional voltado para redes *Ad Hoc*. Trata-se de um protocolo pró-ativo, que utiliza uma tabela de roteamento obtida por meio da troca de mensagens sobre informações da topologia da rede com os demais nós.

O que torna o protocolo OLSR adequado para as WMNs, é o número limitado de pacotes de controle enviados. Esta otimização é alcançada a partir do conjunto de nós *Multi-Point Relays* (MPRs), cujo a seleção evita que a rede seja inundada por mensagens de controle geradas pelo protocolo.

A proposta do OLSR tradicional utiliza o número de saltos como métrica para o roteamento. O número de saltos é utilizado para computar a menor distância (para o protocolo, a melhor rota) para um destino qualquer. De acordo com Leguay [18], uma vantagem do protocolo OLSR do ponto de vista de QoS é que a sua natureza pró-ativa permite que rotas estejam disponíveis antes mesmo que a fonte precise iniciar um fluxo de pacotes para um nó de destino qualquer.

Segundo Leguay [18], outra vantagem do OLSR é que ao utilizar o algoritmo de estado de enlace para a computação das rotas é realizada a partir do conhecimento sobre toda a topologia. Esta característica permite que o OLSR proporcione um melhor suporte a QoS que os protocolos de roteamento baseados no algoritmo de vetor de distância.

Entretanto, para Aslam [19], o critério de número de saltos definido na proposta original do OLSR não é capaz de dar suporte a QoS, uma vez que um caminho selecionado baseado no menor número de saltos pode não satisfazer os requisitos de QoS da aplicação que fará uso da rede.

Restrições quanto à taxa de perdas de pacotes, atrasos, *jitter* e banda mínima não são possíveis de serem garantidas através da seleção de rotas que, apesar de terem menor número de saltos, podem ser extremamente instáveis. Dentro deste contexto foram desenvolvidas algumas extensões para o protocolo OLSR, baseadas em outras métricas para o roteamento. Algumas destas são apresentadas a seguir.

3.1 OLSR-ETX

Considerando a instabilidade de uma rede sem fio, há várias situações em que o menor número de saltos não é a melhor escolha. Em situações em que a rede sem fio é densa, pode ocorrer um grande número de rotas com o mesmo número de saltos, entretanto com diferentes qualidades de enlace. Podem inclusive, ocorrer situações em que uma rota com um número maior de saltos apresente uma qualidade melhor que uma rota com um número menor de saltos.

Uma extensão ao protocolo OLSR usa a métrica ETX, proposta por De Couto [9], para o roteamento. Esta extensão tem como objetivo encontrar rotas com o menor número esperado de transmissões que são necessárias para que um pacote possa ser entregue e tenha seu recebimento confirmado pelo destino final. Em caso de empate entre um número de rotas, a rota com o menor número de saltos é escolhida, para que se possa manter a conformidade com Clausen [7].

3.2 OLSR-MD

A idéia principal desta extensão, OLSR-MD, é medir o atraso dos enlaces, calculando-os através da técnica AdHoc Probe. Com isso, o cálculo da tabela de rotas pode ser feito com base no atraso calculado para cada um dos nós vizinhos [10]. O algoritmo AdHoc Probe utiliza pares de pacotes de tamanho fixo para medir o atraso do enlace em um dos sentidos do mesmo (*One Way delay* - OWD). A partir do cálculo do

OWD mínimo é possível, portanto, determinar o retardo de transmissão e a capacidade do enlace.

A técnica AdHoc Probe apenas permite calcular o OWD em um dos sentidos do enlace. Para que os nós possam saber o retardo de transmissão do enlace no caminho inverso, é proposta uma extensão da mensagem OLSR_HELLO do protocolo OLSR [7] para carregar informações sobre o retardo de transmissão do enlace no sentido dos nós vizinhos ao nó que atualmente está enviando a mensagem OLSR_HELLO.

Portanto, no protocolo OLSR-MD a seleção de rotas entre o nó atual e um nó qualquer na rede terá como critério o menor retardo de transmissão total.

4. OLSR - DYNAMIC CHOICE

O desenvolvimento de extensões para o protocolo OLSR tem o objetivo de aprimorar suas características e consequentemente seu desempenho. A maior parte destes protocolos existentes visa prover QoS para as aplicações multimídia, que possuem necessidades que estão diretamente relacionadas as medidas de desempenho da rede como atraso, largura de banda, *jitter*, probabilidade de bloqueio, vazão, taxa de erro de bits, entre outras. Esta relação direta ocorre, pois as aplicações multimídia utilizam como protocolo da camada de transporte o protocolo UDP.

Dentro deste contexto ocorre o fato de que a maioria das propostas existentes acaba deixando de fora do seu foco as aplicações mais clássicas das redes de computadores, aquelas que utilizam o TCP como protocolo de transporte.

A partir disso, propusemos a extensão OLSR - Dynamic Choice (OLSR-DC) [8], que visa prover QoS, dando tratamento diferenciado aos tráfegos das aplicações que usam os protocolos TCP e UDP, utilizando a métrica ETX [9] para roteamento dos pacotes TCP e a métrica MD [10] para o roteamento dos pacotes UDP. O protocolo também consegue desacoplar o roteamento dos pacotes TCP dos pacotes UDP, com isso se consegue que cada um dos pacotes possam ser roteados em função das métricas que expressam melhor as suas necessidades.

Em sua maioria, as aplicações que utilizam o protocolo UDP são sensíveis ao atraso, variação do atraso e relativamente tolerante à perdas, sendo assim a métrica MD [10] acaba sendo a mais indicada por caracterizar como melhor rota aquela que possui um menor atraso.

Por outro lado, o protocolo TCP é conhecido por ser um protocolo confiável que se torna eficiente a partir do momento que possui uma pequena taxa de perdas, apesar deste não ser o único fator, resultando em um menor número de retransmissões, e consequentemente uma menor saturação da rede. Portanto a métrica ETX [9] se torna a mais adequada ao protocolo, pois expressa a qualidade dos enlaces, a partir do número de transmissões necessárias para que se possa entregar um pacote e o mesmo seja confirmado, tornando esta métrica mais adequada para o protocolo TCP.

A partir das características mostradas o protocolo OLSR-DC considera a métrica MD para o roteamento dos pacotes UDP e a métrica ETX para roteamento dos pacotes TCP.

A proposta inicial do protocolos OLSR-DC [8] não tinha por objetivo analisar o desempenho do protocolo, e os demais, sobre um ponto de vista do usuário, ou seja, uma análise de QoE dos tráfegos multimídia transmitidos. Sendo assim, este artigo complementa os resultados apresentados anteriormente, mostrando o desempenho dos protocolos em um cenário de grande concorrência. Além da análise do ponto de vista da rede (QoS), faz-se uma análise dos fluxos de vídeo transmitidos, do ponto de vista do usuário (QoE).

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos através das simulações efetuadas no *Network Simulator* (NS-2) [11], que compararam o desempenho do OLSR e suas extensões para um cenário real. O cenário utilizado baseou-se no *backbone* da WMN que se encontra parcialmente implantada na Universidade Federal do Pará (UFPA) como ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Cenário Utilizado

A Tabela 1 mostra os parâmetros usados nas simulações, que tem por objetivo aproximar a simulação o máximo possível da rede real, representando as características da região e dos equipamentos utilizados. Os parâmetros *Path Loss Exponent* e *Shadowing Deviation* foram utilizados de acordo com as medições apresentadas em [2]. Os parâmetros de *Router's Carrier Sense Threshold* e *Router's Transmit Power* foram baseados no padrão 802.11 [20]. Os demais valores foram usados para representarem as antenas e os roteadores usados na WMN presentes na UFPA.

Tabela 1: Parâmetros das Simulações

Parâmetros	Valores
Padrão IEEE	802.11g
Modelo de Propagação	<i>Shadowing</i>
Antenas	Omnidirecional 18dB
<i>Router's Carrier Sense Threshold</i>	-76dBm
<i>Router's Transmit Power</i>	-80dBm
Potência de Transmissão	17 dBm (WRT54G)
Frequência	2.422GHz (Canal 3)
<i>Path Loss Exponent</i>	1.59
<i>Shadowing Deviation</i>	5.4dB

Foram realizadas vinte simulações utilizando diferentes sementes geradoras, para cada protocolo em questão: OLSR, OLSR-ETX, OLSR-MD e OLSR-DC. A Tabela 2 mostra a configuração dos fluxos utilizados nas simulações, todas as simulações tiveram duração de 100 unidades de simulação.

Tabela 2: Configuração dos Fluxos

Fluxo	Fonte	Destino	Início	Fim	Tráfego
1	7	3	17	67	TCP - Reno
2	9	4	18	68	TCP - Reno
3	0	5	5	55	UDP - CBR
4	5	0	5	55	UDP - CBR
5	8	1	6	56	UDP - CBR
6	1	8	6	56	UDP - CBR
7	3	6	10	90	Vídeo

Os fluxos UDP possuíram um *Bit Rate* de 8Kb/s e pacotes com tamanho de 40 bytes (RTP + UDP + PayLoad), afim de se representar o codec G.729 [21]. Os fluxos TCP foram caracterizados como aplicações FTP seguindo o modelo de Pareto, possuindo uma taxa de 200k, pacote com 210 bytes de tamanho e 500 ms de duração da rajada [2].

O tráfego de vídeo em questão foi feito a partir da ferramenta Evalvid [22] que permite o controle da qualidade de vídeo em um ambiente de simulação e um vídeo real chamado “Bridge (close)” [23]. Este vídeo possui 2000 *frames* no formato YUV, com uma dimensão de 352x288, o qual foi compactado através do codec MPEG-4 e enviado a uma taxa de 30 frame/s. Cada *frame* foi fragmentado em blocos de 1024 bytes, onde o pacote possuiu um tamanho de 1052 bytes.

As simulações mostram o impacto dos protocolos na qualidade do vídeo transmitido, avaliando os tráfegos não somente do ponto de vista da rede (QoS), mas também em relação ao ponto de vista do usuário (QoE). A análise baseada na percepção do usuário nos mostra o desempenho das aplicações multimídias na rede.

Utilizou-se métricas objetivas e subjetivas para se avaliar a qualidade do vídeo transmitido [24]. As métricas subjetivas de QoE avaliam a qualidade das aplicações multimídias baseado na opinião do receptor. Como métrica subjetiva foi utilizada o MOS.

O MOS é uma escala de avaliação de percepção do vídeo que tenta quantificar a qualidade do vídeo baseada na impressão de qualidade humana. Essa qualificação é feita através de uma “nota” atribuída pelo usuário ao vídeo [25].

As métricas objetivas de QoE estimam a qualidade do vídeo recebido pelo usuário através de modelos matemáticos quantitativos, cujos valores computados são mapeados em valores subjetivos de qualidade. As principais métricas objetivas são: *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index* (SSIM) e *Video Quality Metric* (VQM) [25].

O PSNR é uma métrica objetiva que compara a qualidade do vídeo recebido pelo usuário em relação ao vídeo original, comparando *frame* por *frame*, obtendo valores entre 0 e 100 [26]. A métrica SSIM é uma medição da distorção estrutural do vídeo, tentando assim se ter uma melhor correlação com a impressão subjetiva do usuário, obtendo-se valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor qualidade do vídeo [27] [28].

A métrica VQM mede os danos de percepção que o vídeo sofreu, incluindo em uma única métrica fatores como: embaçamento, ruído, movimentos desritmados, distorção de

blocos e cores. Valores entre 0 e 5, sendo que quanto mais próximo de 0 melhor qualidade do vídeo [29].

A configuração dos fluxos usada tem como objetivo mostrar o desempenho dos protocolos não somente do ponto de vista da rede, mas também para verificar o impacto dos protocolos com relação à percepção do usuário, para isto foi utilizada a transmissão de vídeo em concorrência com os demais fluxos, situação comum nas WMNs.

Os gráficos de probabilidade de bloqueio e vazão foram divididos, nas chamadas VoIP, fluxos TCP e transmissão de vídeo, para se facilitar a visualização dos mesmos. Já os gráficos de atraso e *jitter* são mostrados somente os dados referentes às chamadas VoIP e a transmissão de vídeo.

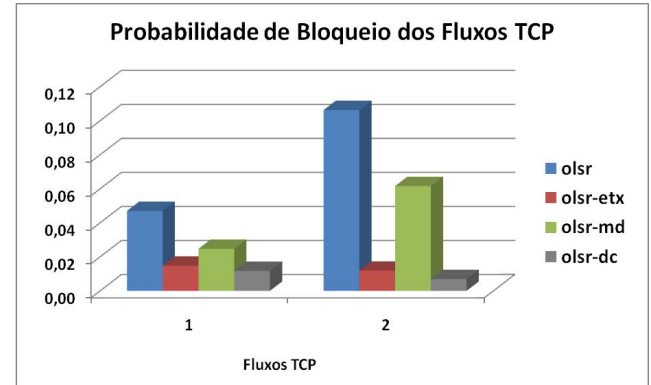


Figura 2: Probabilidade de Bloqueio dos Fluxos TCP

A Figura 2 mostra os resultados da probabilidade de bloqueio dos fluxos TCP. Percebe-se que o protocolo OLSR-DC possui a menor probabilidade de bloqueio, sendo que apenas o protocolo OLSR-ETX se aproxima dos resultados obtidos por este. Isso ocorre devido os dois protocolos usarem a mesma métrica para o roteamento dos pacotes TCP. Entretanto, a diferença se dá por mudanças no algoritmo de roteamento aplicadas no protocolo OLSR-DC [8].

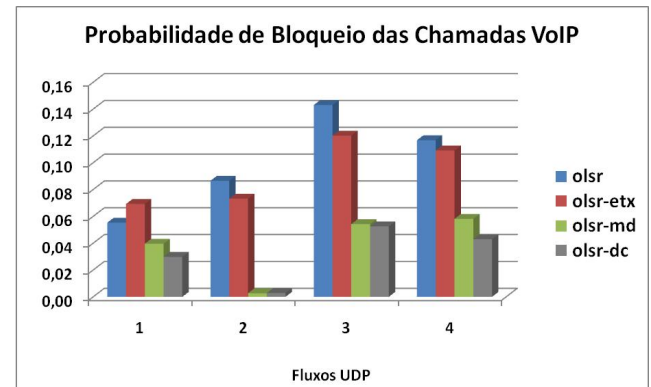


Figura 3: Probabilidade de Bloqueio das Chamadas VoIP

A Figura 3 mostra a probabilidade de bloqueio de cada uma das duas chamadas VoIP, sendo os fluxos UDP 1 e 2 correspondentes a primeira chamada, e os fluxos 3 e 4 correspondentes a segunda. Na maioria dos fluxos UDP o pro-

protocolo OLSR-DC possui a menor probabilidade de bloqueio junto com protocolo OLSR-MD, que em alguns momentos supera o protocolo OLSR-DC. A diferença entre os valores da primeira e da segunda chamadas VoIP se dá pelo fato dos nós envolvidos na segunda chamada VoIP estarem mais distante e numa zona de maior interferência dos demais nós, como ilustrado na Figura 1.

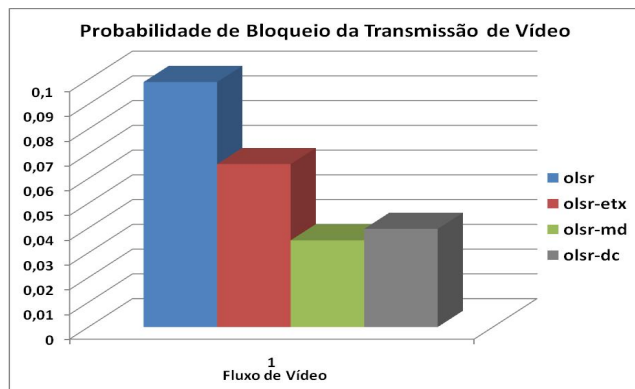


Figura 4: Probabilidade de Bloqueio da Transmissão de Vídeo

O protocolo OLSR-MD possui a menor probabilidade de bloqueio com relação a transmissão de vídeo, como é mostrado na Figura 4. A diferença entre os protocolos OLSR-DC e OLSR-MD acontece, pois o tempo que o protocolo OLSR-DC leva para determinar o tipo de pacote (TCP ou UDP) que irá ser roteado.

Nas chamadas VoIP e na transmissão de vídeo, o desempenho dos protocolos OLSR-DC e OLSR-MD são próximo devido os dois protocolos utilizarem a mesma métrica para o roteamento dos pacotes UDP. Sendo assim, com relação aos pacotes UDP, o protocolo OLSR-DC se aproxima do protocolo OLSR-MD, assim como com relação aos pacotes TCP, o protocolo OLSR-DC se aproxima do protocolo OLSR-ETX.

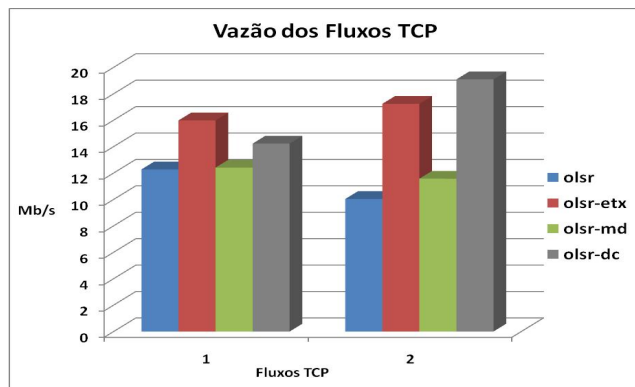


Figura 5: Vazão dos Fluxos TCP

A Figura 5 mostra a vazão dos fluxos TCP. Nota-se que o protocolo OLSR-ETX possui o melhor desempenho dentre todos os protocolos no fluxo 1, seguido pelo protocolo OLSR-DC. O protocolo OLSR-DC possui o melhor desempenho no fluxo 2. Isto ocorre, pois o fluxo 2 possui maior distância e consequentemente mais concorrência com os demais fluxos, portanto o protocolo OLSR-DC conseguiu rotear mais eficientemente os tráfegos.

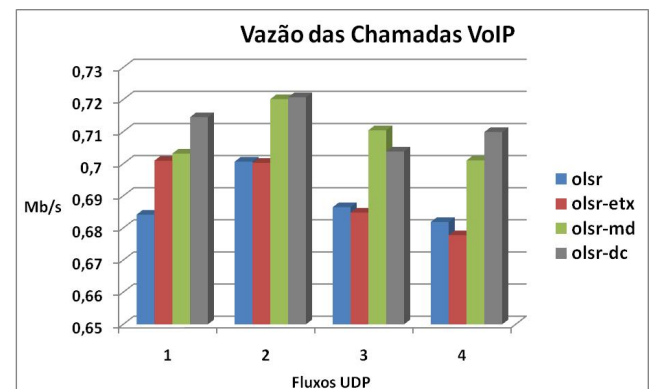


Figura 6: Vazão as Chamadas VoIP

A Figura 6 mostra a vazão dos fluxos UDP das chamadas VoIP. Percebe-se que o protocolo OLSR-DC possui o melhor desempenho, tendo o protocolo OLSR-MD o segundo melhor desempenho. Os protocolos que usam a métrica MD para rotear os pacotes de vídeo obtiveram os melhores valores de vazão, onde o protocolo OLSR-DC obteve uma pequena vantagem, como mostra a Figura 7.

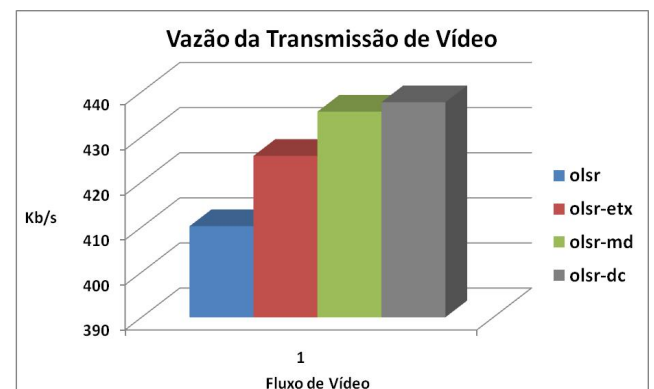


Figura 7: Vazão da Transmissão de Vídeo

A melhor vazão do protocolo OLSR-DC nos tráfegos multi-mídia se justifica pelo fato do mesmo distribuir os fluxos de maneira mais eficiente no período de alta concorrência.

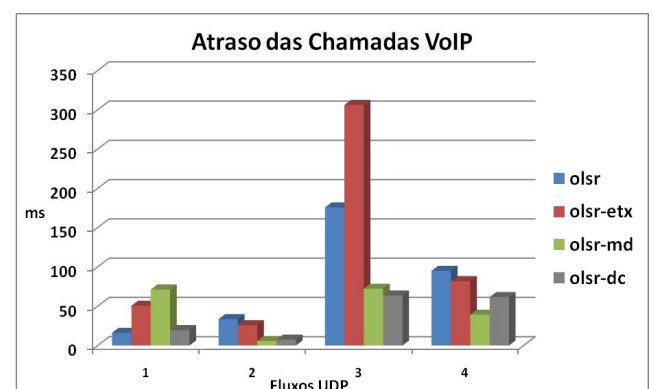


Figura 8: Atraso das Chamadas VoIP

No gráfico de atraso dos fluxos, mostrado na Figura 8, no geral, o protocolo OLSR-DC apresenta os melhores resultados em relação aos demais protocolos. A Figura 9 mostra os

valores de atraso da transmissão de vídeo, onde se destacam os protocolos OLSR-DC e OLSR-MD, que mais uma vez, obtiveram os melhores valores, os quais forem similares.

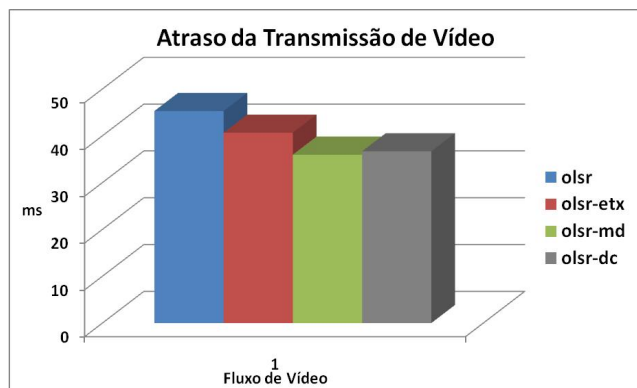


Figura 9: Atraso da Transmissão de Vídeo

O gráfico da Figura 10 mostra as taxas de *jitter* para cada um dos fluxos UDP das chamadas VoIP, nota-se que o protocolo OLSR-DC possuiu as melhores taxas de *jitter*, sendo superado em apenas no fluxo 4 pelo protocolo OLSR-MD.

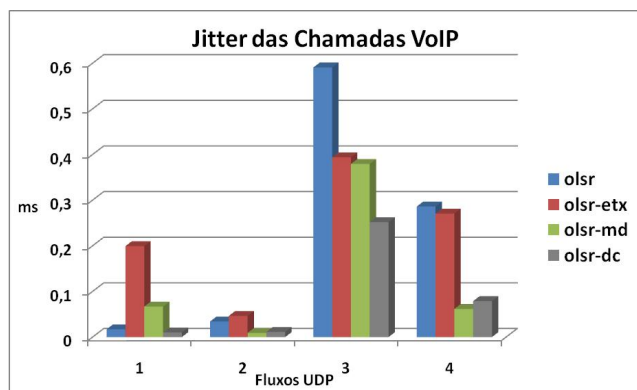


Figura 10: Jitter das Chamadas VoIP

Em relação a transmissão de vídeo, os protocolos OLSR-DC e OLSR-MD possuíram valores de *jitter* muito próximos, como mostra a Figura 11, sendo que o protocolo OLSR-MD obteve uma pequena vantagem.

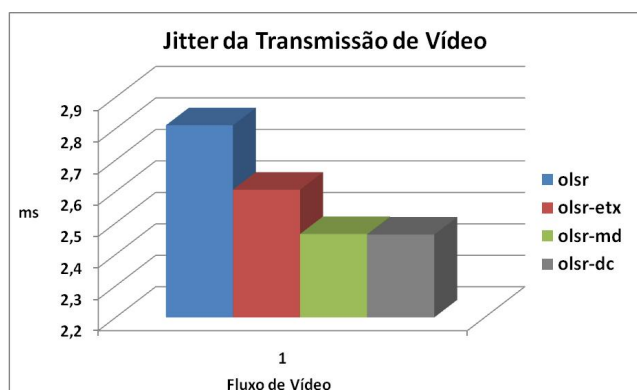


Figura 11: Jitter da Transmissão de Vídeo

De um modo geral, as simulações podem ser divididas em dois momentos, um de maior concorrência entre os fluxos,

e outro onde somente o fluxo de vídeo foi transmitido. Os dados mostraram que no momento em que a rede possui uma maior concorrência entre os fluxos, alguns multimídia (VoIP e vídeo) e outros de dados, o protocolo OLSR-DC apresenta um melhor desempenho, pois visa realizar o roteamento dos fluxos baseados em suas particularidades, como atraso ou qualidade dos enlaces [8], conseguindo assim distribuir os tráfegos de forma mais eficaz.

Levando em consideração a perspectiva do usuário em relação ao vídeo recebido pelo mesmo, a seguir serão mostrados os *frames* resultantes da transmissão de vídeo de cada um dos protocolos. Os *frames* dão um respaldo visual e, conseqüentemente, um retorno sobre a qualidade do vídeo, permitindo comparar o desempenho de cada protocolo em relação as aplicações multimídias. Os *frames* mostrados são correspondentes ao tempo de trinta segundos de transmissão do vídeo em questão, "Bridge (close)" [23].



Figura 12: Frame do Vídeo Original

No tempo de transmissão em questão a concorrência entre os fluxos se encontra no ápice, pois todos os fluxos estão sendo transmitidos. A Figura 12 mostra o *frame* original do vídeo no tempo de trinta segundos.

A Figura 13 mostra o *frame* resultante da transmissão pelo protocolo OLSR, percebe-se que o vídeo se torna de imperceptível, devido ao atraso, e principalmente, a quantidade de perdas resultante da concorrência com os demais fluxos.

A Figura 14 mostra o *frame* referente à transmissão pelo protocolo OLSR-ETX, o vídeo é perceptível ao usuário com uma qualidade regular, entretanto o mesmo possui um grande atraso quando comparado ao *frame* original.

A Figura 15 mostra o *frame* referente à transmissão pelo protocolo OLSR-MD, o vídeo é perceptível ao usuário com uma qualidade boa, sendo este o qual obteve um menor atraso com relação ao vídeo original no *frame* escolhido, referente ao instante de trinta segundos de transmissão.

A Figura 16 mostra o *frame* referente à transmissão pelo protocolo OLSR-DC, o vídeo é perceptível ao usuário com uma qualidade boa, que possibilita uma percepção do usuário semelhante o do vídeo original.

Os vídeos foram analisados utilizando-se o software MSU Video Quality Measurement Tool Software [30]. O valor



Figura 13: Frame Transmitido pelo Protocolo OLSR



Figura 15: Frame Transmitido pelo Protocolo OLSR-MD



Figura 14: Frame Transmitido pelo Protocolo OLSR-ETX

de PSNR é expresso em dB (decibel). Para que um vídeo seja considerado de boa qualidade deve ter um valor médio de PSNR no mínimo de 30dB. Essa afirmação é baseada no mapeamento de valores de PSNR para MOS. Veja na Tabela 3 o mapeamento de PSNR para MOS [25].

Tabela 3: Relação entre PSNR e MOS

PSNR (dB)	MOS
> 37	(5) Excelente
31 – 37	(4) Bom
25 – 30	(3) Regular
20 – 25	(2) Pobre
< 20	(1) Ruim

A Tabela 4 mostra os valores médios de PSNR, os correspondentes valores de MOS dos vídeos transmitidos nas simulações, os valores médios de VQM e os valores médios de SSIM dos vídeos transmitidos por cada um dos protocolos.

Os dados da Tabela 4 mostram que os protocolos OLSR-MD e OLSR-DC possuíram os melhores valores com relação à qualidade geral do vídeo transmitidos, possuindo segundo a escala MOS uma qualidade “boa” de vídeo.

A partir dos dados mostrados, conclui-se que no cenário mostrado, e nas condições em que foram realizadas as simulações o protocolo OLSR-DC é o que consegue se aproximar



Figura 16: Frame Transmitido pelo Protocolo OLSR-DC

dos requisitos de ambos os tipos de tráfego, multimídia e de dados. Isso faz com que o protocolo seja mais adequado as WMNs que possuem os mais variados tráfegos, característica comum nas WMNs com muitos usuários finais que usam os mais diversos tipos de aplicações.

Tabela 4: Valores de PSNR e MOS obtidos pelos protocolos

Protocolo	VQM	SSIM	PSNR	MOS
OLSR	4.9	0.75	15	Ruim
OLSR-ETX	2.7	0.86	27	Regular
OLSR-MD	1.6	0.91	32	Bom
OLSR-DC	1.7	0.90	31	Bom

Entretanto, o mesmo acaba possuindo desvantagens: maior consumo de memória (aumento da tabela de roteamento) e um maior tempo para o encaminhamento do pacote (determinar se um pacote é TCP ou UDP).

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise do desempenho do protocolo OLSR e algumas de suas extensões com relação aos variados tipos de tráfegos existentes, em uma situação de concorrência entre os mesmos. O objetivo é mostrar qual protocolo consegue obter os melhores resultados não somente do ponto de vista da rede, mas também do usuário.

Foi transmitido um vídeo real, e posteriormente mostrados alguns *frames* do mesmo e a análise do vídeo transmitido. Os resultados mostraram que o protocolo OLSR-DC [8] e OLSR-MD [10] conseguiram obter os melhores resultados, ao se analisar a qualidade do vídeo transmitido e dos dados coletados da rede, como: vazão, bloqueio, atraso e *jitter*.

Entre os trabalhos futuros pretende-se analisar o desempenho de algumas outras extensões dos protocolos OLSR, assim como se analisar o desempenho de outros protocolos pró-ativos, reativos e híbridos.

7. REFERENCES

- [1] Y. Zhang, J. Luo and H. Hu. *Wireless mesh networking: Architectures, protocols and standards*. Auerbach Publications, ISBN 0849373999, 2006.
- [2] W. Moreira, E. Aguiar, A. Abelém and M. Stanton. Using multiple metrics with the optimized link state routing protocol for wireless mesh networks. *26^o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, Maio 2008.
- [3] K. Kowalik and M. Davis. Why are there so many routing protocols for wireless mesh networks? *17th Irish Signal and Systems Conference*, June 2006.
- [4] M. Chinta and S. Helal. Ilc-tcp: An interlayer collaboration protocol for tcp performance improvement in mobile and wireless environments. *Proceedings of the Trird IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, March 2003.
- [5] R. Jain. Quality of experience. *IEEE Multimedia*, 11:90–98, June 2004.
- [6] Z. Wang, A. Bovik and L. Lu. Why is image quality assessment so difficult? *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, May 2002.
- [7] T. Clausen and P. Jacquet. *Optimized link state routing protocol (OLSR) – RFC 3626*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>, 2006.
- [8] R. L. Gomes, W. Moreira, V. Nascimento and A. Abelem. Dynamic metric choice routing for mesh networks. *Proceedings of 7th International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS)*, pages 102–109, 2008.
- [9] D. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing. *9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 134–146, 2003.
- [10] W. Cordeiro, E. Aguiar, W. Moreira, A. Abelem and M. Stanton. Providing quality of service for mesh networks using link delay measurements. *16th International Conference on Computer Communications and Networks*, pages 991–996, 2007.
- [11] K. Fall and K. Varadhan. *The network simulator - ns-2*. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [12] C. Liu, Y. Shu, L. Zhang and M. Ma. Backup routing for multimedia transmissions over mesh networks. *IEEE International Conference on Communications*, June.
- [13] T.-W. Chen, J. Tsai, and M. Gerla. Qos routing performance in multi-hop, multimedia, wireless networks. *Proceedings of IEEE ICUPC'97*, 1997.
- [14] E. Gallo, M. Siller and J. Woods. An ontology for the quality of experience framework. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pages 1540–1544, October 2007.
- [15] H. J. Kim, D. H. Lee, J. M. Lee, K. H. Lee, W. Lyu and S. G. Choi. The qoe evaluation method through the qos-qoe correlation model. *Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, pages 719–725, September 2008.
- [16] K. Piemrat, A. Ksentini, C. Viho and J.-M. Bonnin. Qoe-aware admission control for multimedia applications in ieee 802.11 wireless networks. *IEEE VTC 2008 Fall, The Vehicular Technology Conference*, 2008.
- [17] M. Venkataraman, S. Sengupta, M. Chatterjee and R. Neogi. Towards a video qoe definition in converged networks. *Second International Conference on Digital Telecommunications (ICDT)*, 2007.
- [18] J. Leguay, V. Conan and T. Friedman. Qos routing in olsr with several classes of service. *Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, March 2004.
- [19] N. Aslam, W. Phillips and W. Robertson. Composite metric for quality of service routing in olsr. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, May 2004.
- [20] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING. *IEEE 802.11, 1999 Edition (ISO/IEC 8802-11: 1999): Information Technology - Telecom- munications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Network*. 1999.
- [21] J. Balam and J. Gibson. Multiple descriptions and path diversity for voice communications over wireless mesh networks. *IEEE Transactions on Multimedia*, pages 1073–1088, August 2007.
- [22] *Evalvid*. <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>.
- [23] *Bridge (Close)*. <http://www.tkn.tuberlin.de/research/evalvid/cif.html>.
- [24] ITU - R Recommendation BT500-7. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. *Technical Report*, 1990.
- [25] C. Lambrecht and O. Verscheure. Perceptual quality measure using a spatio – temporal model of the human visual system. *Digital Video Compression: Algorithms and Technologies*, pages 450–461, 1996.
- [26] Z. Wang, L. Lu and A. Bovick. Video quality assessment based on structural distortion measurement. *Signal Processing: Image Communication, special issue on "Objective Video Quality Metrics*, 19(2):121–132, February 2004.
- [27] Z. Wang and A. Bovik. Image quality assessment from error visibility to structural similarity. *IEEE Trans Image Processing*, pages 600–612, 2004.
- [28] Z. Wang and A. Bovik. A universal image quality index. *IEEE Signal Processing Letters*, pages 81–84, 2002.
- [29] M. Pinson and S. Wolf. A new standardized method for objectively measuring video quality. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 50:312–322, 2004.
- [30] *MSU Video Quality Measurement Tool Software*. http://compression.ru/video/quality_measure/index_en.html.