

Gerenciamento de *Handover* Transparente com Suporte Integrado a QoS/QoE em Redes Heterogêneas

Reinaldo Boulhosa¹, Tássio Carvalho¹, José Jailton Junior¹, Diego Passos², Kelvin Lopes Dias², Eduardo Cerqueira¹

¹Pós Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Pará (UFPA)
Caixa Postal 479 – 66075-110 – Belém – PA – Brasil

²Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Caixa Postal 7851 – 50670-901 – Recife – PE – Brasil

{rbr,tassio,jjj,cerqueira}@ufpa.br, {kld,dpsilva}@cin.ufpe.br

Abstract. *The advances in wireless communication technologies, the demand for new real-time multimedia applications in with requirements of Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) and the proliferation of mobile devices have motivated the emerging of solutions that allow seamless horizontal and vertical handovers in heterogeneous networks. This paper proposes a hierarchical technique of transparent handover decision based on cost function in IEEE 802.21 and mapping of applications to service classes to ensure QoS/QoE for users during handovers. The impact and benefits of the proposed solution are evaluated by simulation and by using metrics of QoS and QoE.*

Resumo. *Os avanços nas tecnologias de comunicação sem fio, a demanda por novas aplicações multimídia em tempo real com requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) e Qualidade de Experiência (QoE) e a proliferação de equipamentos móveis vem motivando o surgimento de soluções que permitam handovers horizontais e verticais em redes heterogêneas de forma transparente. Este artigo propõe uma técnica hierárquica de decisão de handover transparente baseado em função de custo, no padrão IEEE 802.21 e mapeamento de classes de serviço para garantir QoS/QoE para usuários em períodos de mobilidade. O impacto e os benefícios da proposta são avaliados através de simulação e métricas de QoS e QoE.*

1. Introdução

As redes sem fio de próxima geração serão baseadas em IP, irão suportar milhares de usuários criando, acessando e compartilhando conteúdo multimídia em tempo real e implementarão diferentes tipos de tecnologias de acesso sem fio, como Wi-Fi (*Wireless-Fidelity*, IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11) e WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, baseado no IEEE 802.16) [Mahajan and Soans 2010]. Neste contexto é necessário prover a mobilidade transparente de usuários de forma vertical e horizontal com suporte a QoS (*Quality of Service*) e QoE (*Quality of Experience*) em redes heterogêneas.

No que diz respeito à mobilidade e interoperabilidade, o padrão IEEE 802.21 [IEEE P802.21 2009], MIH (*Media Independent Handover*), foi definido e possui protocolos de sinalização e algoritmos que viabilizam o suporte ao *handover* entre redes sem fio com tecnologias de comunicação homogêneas e heterogêneas. Os algoritmos disponibilizam informações das camadas inferiores que ajudam na decisão do *handover* e viabilizam o re-roteamento do cliente MS/SS (*Mobile Station/Subscriber Station*) para o novo ponto de acesso AP (*Access Point*) ou para a uma nova estação base BS (*Base Station*). Desta forma, a mobilidade é feita independente de endereço de rede e tecnologia de comunicação sem fio. Entretanto, a tomada de decisão de *handover* no MIH é realizada somente com base na intensidade do sinal (RSS (*Received Signal Strength*)) de um AP/BS sendo insuficiente para assegurar QoS/QoE das aplicações.

Além do suporte ao *handover*, as redes de próxima geração devem assegurar os requisitos de QoS e QoE das aplicações multimídia em tempo real de forma transparente [Cerqueira et. al. 2008]. Apesar de permitirem a diferenciação de tráfego através de utilização de Classes de Serviços (CoS (*Class of Services*)) e escalonadores, as principais tecnologias de acesso sem fio Wi-Fi (IEEE 802.11e) e WiMAX (IEEE 802.16e) não suportam o mapeamento dinâmico de aplicações em CoSs de forma a assegurar QoS/QoE durante *handovers*.

Este artigo tem como objetivo propor uma solução de gerenciamento de *handover* MIH hierárquico e transparente em redes heterogêneas com suporte a QoS e QoE, denominado MIHQoS/QoE (MIH2Q). O mapeamento de aplicações multimídia em CoSs representa um fator importante para atrair e manter clientes em um mercado extremamente competitivo, ao mesmo tempo que maximiza os lucros dos provedores. O impacto e o benefício da proposta são avaliados através do *Network Simulator version 2* (NS-2) e da ferramenta *Evalvid*, onde se pode notar a melhoria do sistema de mobilidade através análise de parâmetros de QoS e QoE de vídeos reais, como vazão, PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), SSIM (*Structural Similarity Index*), VQM (*Video Quality Metric*) e MOS (*Mean Opinion Score*).

O restante do artigo está estruturado em: A seção 2 descreverá alguns dos principais trabalhos relacionados utilizados para a elaboração do artigo. A seção 3 apresenta a proposta da função utilizada para viabilizar o *handover* heterogêneo entre as tecnologias levando em consideração o serviço e descreve o funcionamento da solução proposta. A seção 4 faz uma avaliação dos resultados colhidos em simulação apresentando e descrevendo a contribuição destes. As conclusões apresentadas encontram-se na seção 5 onde é descrito os benefícios da proposta. A seção 6 apresenta as referências utilizadas.

2. Trabalhos Relacionados

Como forma de realçar a contribuição e a relevância do artigo, esta seção analisa o estado da arte com foco em gestão de mobilidade, redes heterogêneas e suporte a aplicações multimídia com QoS e QoE.

Existem diversas pesquisas presentes na literatura como [Panaousis and Polyzos 2008] e [Meschke and Tavangarian 2010] que fazem *handover* homogêneo entre as redes através de algoritmos que o antecipam, permitindo assim que os clientes móveis possam manter a conectividade. Esses trabalhos levam em consideração apenas a intensidade do sinal como métrica para decidir em que momento deve-se executar o procedimento de troca de redes (não levando em consideração QoS/QoE e nem a heterogeneidade de tecnologias). A métrica RSS é o fator culminante para tal decisão, principalmente por eles utilizarem o padrão IEEE 802.11k, que define e expõe informações de sinal e de rede para facilitar o gerenciamento de serviços móveis em redes sem fio.

Diferentemente dos trabalhos que levam em consideração apenas a RSS no processo de decisão do *handover* horizontal ou vertical, [He2010] e [Kunarak and Suleesathira 2010] já trazem consigo outras métricas a serem utilizadas como fatores importantes para o disparo da decisão do *handover* vertical como taxa de dados, largura de banda disponível, cobertura, distância, velocidade e a preferência do usuário e utilizam respectivamente lógica *fuzzy* e rede neural para analisar e decidir a rede de melhor desempenho e fornecer um *handover* otimizado evitando que o processo seja feito desnecessariamente. Entretanto, o QoS/QoE desejado na nova rede/ponto de acesso não é levado em consideração.

Em [Xie and Wu 2008], os autores apresentam um algoritmo de decisão de *handover* vertical para minimizar o custo das redes através do cálculo da probabilidade de bloqueio e das quedas das chamadas e diferenciando dos demais em sempre utilizar a RSS como padrão em qualquer trabalho que utilize o *handover*. Entretanto, tal como [He2010] e [Kunarak and Suleesathira 2010], os autores não avaliam a qualidade do fluxo multimídia nem a importância do serviço do cliente no processo de decisão.

[Lee *et al.* 2009] apresenta requisitos importantes as redes de próxima geração em suprir a demanda por recursos de tempo real. Eles propõem um algoritmo de decisão de *handover* que, em conjunto com o MIHF (*Media Independent Handover Function*), permite que um cliente móvel decida automaticamente pela melhor rede de acordo com parâmetros de velocidade e RSS. No entanto, eles não levam em consideração métricas de QoS/QoE sobre a importância do serviço no processo mobilidade.

[Putra and Wu 2009] e [Chellappan and Moh 2009] fazem mapeamento de QoS para garantir a qualidade de serviço sobre a largura de banda das redes sem fio. Dependendo das classes de serviço, são aplicados os controles adequados de admissão, conexão e alocação de banda da rede atendendo as necessidades de QoS. Embora possuam o controle e a garantia de qualidade sobre o fluxo da rede, os autores dos trabalhos ficaram vinculados unicamente a rede WiMAX não podendo executar *handovers* verticais e avaliar a QoS em ambientes heterogêneos. No entanto, [Andi *et al.* 2010] viabiliza uma avaliação sobre diferentes redes utilizando o MIH e propõe um ambiente com o gerenciamento de múltiplas interfaces com suporte a QoS para terminais móveis sem fio. Diferente dos demais trabalhos, [Andi *et al.* 2010] comprovam a eficácia da utilização da QoS na decisão do *handover* vertical. Porém,

nenhum deles faz testes com fluxo multimídia de tempo real nem levam em consideração a qualidade final do vídeo que poderiam ser avaliadas pela QoE.

Após a análise do estado da arte, verificou-se que existem muitos trabalhos publicados que envolvem o gerenciamento de mobilidade em redes homogêneas e heterogêneas, outros que utilizam a QoS como métrica importante para a decisão do *handover*. Outros trabalhos realizam testes com aplicações multimídia voltadas para as redes heterogêneas de próxima geração. No entanto, tais trabalhos não satisfazem todos os requisitos para assegurar a mobilidade transparente em redes heterogêneas para aplicações multimídia em tempo real com suporte a QoS e QoE.

3. Gerenciamento de Mobilidade: MIHQoS/QoE (MIH2Q)

De forma a permitir *handover* transparente de clientes multimídia em redes heterogêneas, esta seção descreve a solução hierárquica e gerenciamento de mobilidade entre redes WiMAX ou WMANs (*Wireless Metropolitan Area Networks*) e as redes Wi-Fi ou WLANs (*Wireless Local Area Networks*) com suporte a QoS e QoE através do padrão IEEE 802.21/MIH. O MIH é utilizado para integrar as sessões IP e gerir a sinalização entre diferentes tecnologias sem fio viabilizando *handovers* verticais.

Para a solução MIH2Q, otimizações no padrão MIH foram realizadas para que a mobilidade seja feita não somente com base na intensidade do sinal/RSS do AP/BS, mas também na velocidade e, principalmente, nos requisitos de QoS/QoE das aplicações e na disponibilidade das classes de serviços nos APs/BSs candidatos (localizados em redes Wi-Fi e/ou WiMAX).

As redes WiMAX definem desde sua concepção cinco tipos de CoS para cinco diferentes tipos de aplicações. São elas: UGS (*Unsolicited Grant Service*), para serviços de voz; rtPS (*Real-Time Pooling Service*), para fluxos de vídeo; nrtPS (*Non-Real-Time Pooling Service*), para a transferência de pacotes de dados através do FTP (*File Transfer Protocol*); BE (*Best Effort*), para fluxo de dados sem exigência de qualidade de serviço como no caso do HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) e o ertPS (*Extension-Real-Time Pooling Service*), para serviços de voz com supressão de ruído e VoIP (*Voice over IP*).

As redes Wi-Fi, no entanto, definem quatro tipos de CoS ou ACs (*Access Categories*) desde a emenda do IEEE 802.11e para diferentes tipos de aplicações. Essas ACs são semelhantes as CoS apresentadas pelo WiMAX e são: AC_VO (*Access Category Voice*), para serviços de voz; AC_VI (*Access Category Video*), para serviços de vídeo; AC_BK (*Access Category Background*), para tráfego de fundo como FTP e AC_BE (*Access Category Best Effort*), para o melhor esforço sem exigência de QoS.

Como forma de prover mobilidade transparente com suporte a QoS/QoE, o MIH2Q define uma função de custo baseado em uma hierarquia de decisão da melhor rede que verifica as atribuições baseados nas métricas de velocidade, RSS e parâmetros de QoS e QoE das aplicações suportados pelas CoS.

Para a validação do mesmo, esse artigo realizou seus testes através do simulador de redes NS-2 [Network Simulator 2011] adicionado ao *patch* do [Belghith and Nuaymi

2009] que disponibiliza as classes de serviço (UGS, rtPS e BE) para as redes WiMAX. Nesse *patch*, o autor trabalhou com a utilização de fluxos FTP na classe BE. Posteriormente a isso, este *patch* foi adicionado à função de custo em conjunto à arquitetura do MIH2Q.

3.1 Função de Custo Hierárquica

O processo de decisão de *handover* é executado através de uma função de custo em conjunto com o MIH2Q e acontece por meio da Equação 1 (função γ):

$$\gamma = \frac{\{0,25 + [0,25 \times CoS] + [0,25 \times RSS] + [0,25 \times (Velocidade \div 3,6)]\}}{3} \quad (1)$$

Onde:

CoS → Peso atribuído a classe de serviço do cliente móvel

RSS → Peso correspondente a intensidade do sinal recebida

Velocidade → Velocidade do cliente móvel em km/h

Caso o cliente móvel não possua nenhuma prioridade na disputa de tráfego, então o parâmetro CoS receberá valor igual a 0. Se possuir prioridade UGS/AC_VO, a variável receberá atribuição igual a 1. E se o nó pertencer ao serviço RTPS/AC_VI, o valor atribuído será igual a 2.

Para a variável RSS, também existem três atribuições. Caso a intensidade do sinal seja baixa (entre -127dB e -120dB), o peso atribuído será igual a 0. Se a intensidade do sinal for mediana (entre -103 e -85dB), o peso atribuído será igual a 1. Caso a intensidade do sinal seja elevada (acima de -85dB), o peso atribuído será igual a 2. A decisão da rede é tomada de acordo com o resultado final calculado pela função de custo γ através dos parâmetros de CoSs, RSS e a velocidade.

Para os parâmetros de CoS e RSS existem três possibilidades correspondentes a pesos (0, 1 e 2). A velocidade é usada na fórmula com seu valor normal descrito na unidade de medida do quilômetro por hora. Tal valor é obtido através da utilização de um GPS (*Global Position System*) [Guet. al. 2009] [Jingxuan et. al. 2009] presente em muitos dos equipamentos modernos de comunicação e da computação atual. Além disso, pode-se captar informações importantes para prever uma possível perda de sinal e assim evitá-la.

Se o resultado final de γ for inferior a 0,7, então o cliente móvel deve realizar o processo de *handover* para uma nova rede (tecnologia diferente); Se for igual ou superior, então o cliente móvel não tem necessidade de mudar entre as redes. Os valores da função de custo tal como o limiar do resultado γ foram obtidos através de experimentos práticos em redes sem fio e justificam as equivalências às métricas utilizadas em redes de múltiplas tecnologias. A função de custo tem como objetivo

inibir que os clientes móveis de alta velocidade associados ao serviço rtPS mudem de rede, e por isso os parâmetros para essa condição recebem os valores mais altos. O fluxograma na Figura 1 exemplifica o seu funcionamento.

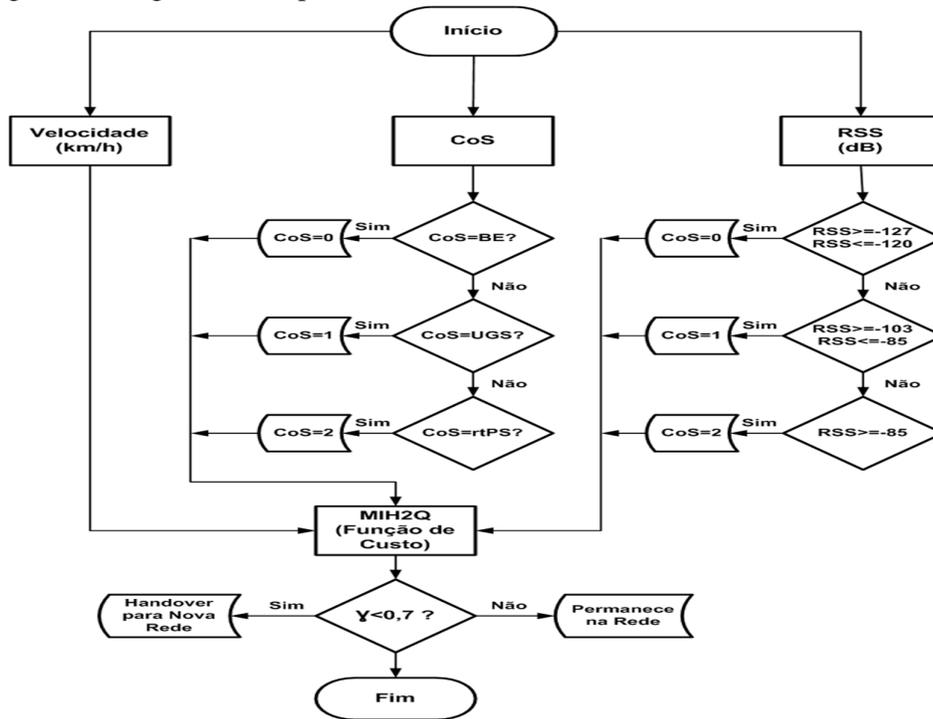


Figura 1. Fluxograma usado para a decisão de mobilidade com o MIH2Q

As redes da próxima geração integram serviços de banda larga (serviço de dados, comunicações multimídia de tempo real, etc.) e serviços de telecomunicações (GPRS (*General Radio Packet Service*), serviços de texto, chamadas em espera, etc.) e, por isso, existe uma necessidade de vazão e conectividades constantes. Com um cenário coberto por diversas redes de diferentes tecnologias sem fio, necessita-se que haja processos que engatilhem a escolha do melhor ponto de acesso dentre as múltiplas interfaces sem fio dos clientes das redes heterogêneas para que estes possam usufruir do melhor serviço, da melhor rede e sempre com a melhor conectividade.

A Figura 2 descreve a arquitetura do MIH2Q para uma rede de próxima geração baseada no *All-IP* exemplificando algumas das possibilidades de clientes móveis se locomoverem horizontalmente ou verticalmente entre as diferentes tecnologias através de equipamentos móveis com múltiplas interfaces (WiMAX e Wi-Fi) com GPS integrado ao MIH que funciona em conjunto a função de custo com suporte a QoS/QoE para a tomada de decisão quanto à necessidade dos *handovers* heterogêneos. A figura exemplifica algumas possibilidades quanto a clientes móveis (SS/MS) em relação ao cálculo da função e em realizarem ou não o *handover* para uma nova rede quando estas estão disponíveis.

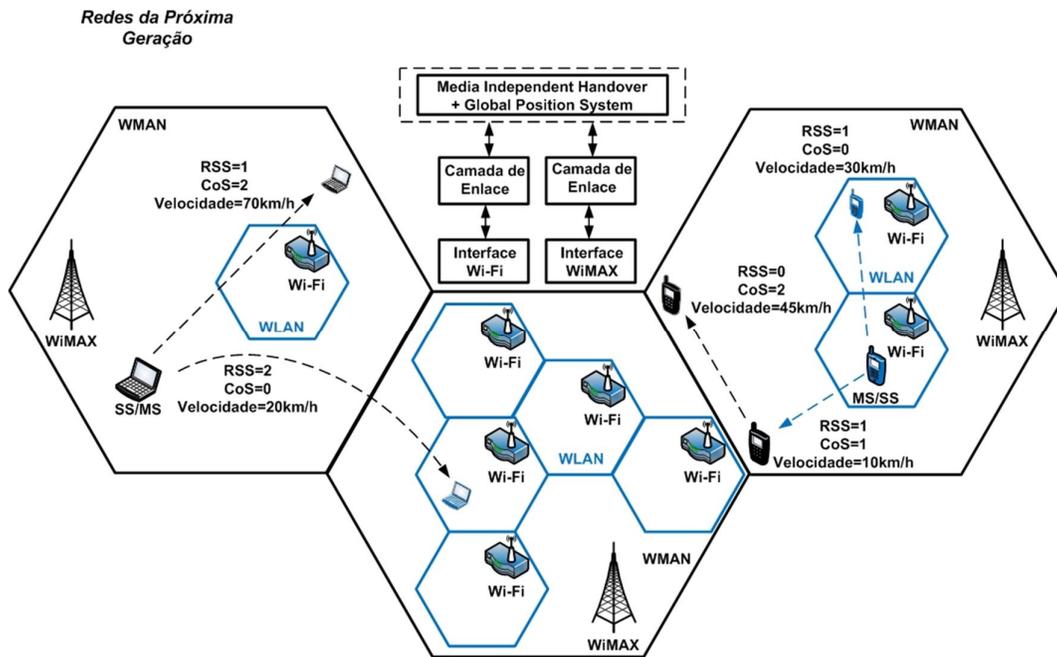


Figura 2. Arquitetura do MIH2Q em Redes Heterogêneas da Próxima Geração

Conforme demonstrado pela figura 2, os clientes podem estar na área de cobertura de uma ou mais redes. De acordo com os valores de RSS, velocidade e a disponibilidade/condições das CoSs (ressaltando que o cliente pode estar recebendo mais de uma aplicação), a solução do MIH2Q pode decidir por uma eventual mudança de rede. Desta forma, o MIH2Q melhora os resultados de vazão e a conectividade impedindo a degradação do enlace da rede e formalizando o ambiente das NGNs com a integração das redes WMAN e WLAN em um ambiente heterogêneo.

4. Avaliação e validação

Conforme mencionado na seção anterior, os resultados deste artigo descrevem a simulação (vinte simulações por experimento) do MIH2Q sobre cenários esperados para as redes sem fio de próxima geração executados no ns-2. O MIH2Q possui uma função de custo que decide o processo de *handover* em uma rede heterogênea WiMAX–Wi-Fi (com 1 km e 100 m de área de cobertura respectivamente) baseado nos parâmetros de velocidade e pesos relacionados a intensidade do sinal e as classes de serviços (rtPS, UGS e BE) utilizadas para o experimento (aplicações com 5 Mbps de vazão). Apesar de não discutido neste artigo, a proposta apresentada pode ser facilmente adaptada para auxiliar no processo de *handover* transparente entre redes com outros tipos de tecnologia de comunicação sem fio como LTE (*Long Term Evolution*).

A aferição da qualidade dos vídeos levando em consideração a perspectiva do usuário foi realizada com o auxílio da ferramenta *Evalvid* que é usada para gerir a transmissão e análise do vídeo transmitido na rede. O processo de decisão de mobilidade é implementado de acordo com o tipo de serviço/qualidade da aplicação, parâmetros de mobilidade e disponibilidade das classes de serviços nas redes/pontos de acesso candidatos. As simulações foram realizadas em três cenários com

comportamentos distintos, onde cada cenário apresenta três clientes móveis recebendo aplicações com diferentes requisitos de qualidade.

As classes de serviços escolhidas para avaliação do artigo foram o UGS, que suporta tráfego com taxa constante (CBR (*Constant Bit Rate*)) ou fluxo como voz sobre IP (VoIP) e que precisa de uma alocação de banda constante. O rtPS que é um serviço para aplicações em tempo real com taxa de transmissão variável (VBR (*Variable Bit Rate*)), como vídeo e o BE que é para tráfego de melhor esforço, onde não existe garantia de QoS como o HTTP e no caso do *patch* utilizado, o FTP, onde são os últimos serviços a receber a banda disponível da rede depois da alocação dos demais.

O processo de avaliação do comportamento da transmissão de vídeo é feita através das métricas de qualidade de experiência objetiva e subjetiva em relação às necessidades do usuário. Este artigo considera as principais métricas de QoE de acordo com o PSNR, SSIM, VQM e MOS..

No PSNR o vídeo é avaliado comparando a qualidade do vídeo original ao vídeo recebido pelo cliente, considerando o aspecto de luminosidade e a sua unidade é em decibel. A Tabela 1 demonstra o mapeamento do PSNR (em decibéis) em MOS.

Tabela 1. Mapeamento de PSNR para MOS

PSNR (dB)	MOS
> 37	Excelente
31 – 37	Bom
25 – 31	Aceitável
20 – 25	Ruim
< 20	Péssimo

No SSIM, o comportamento do vídeo é baseado na medição quadro a quadro comparado ao vídeo original, analisando os seguintes itens: contraste, luminosidade e estrutura, onde é gerado um valor decimal entre 0 e 1, no qual quanto mais próximo do 1 apresenta, melhor a qualidade do vídeo analisado. O VQM analisa os aspectos de ruído, distorção dos frames, cor e do quão embaçado está o vídeo, onde quanto mais próximo o valor se aproximar de 0, melhor será a qualidade dele.

4.1 Experimento 1

O primeiro experimento (Cenário 1) possui três clientes com os serviços de BE, rtPS e UGS e se encontram inicialmente na rede WiMAX por ter maior capacidade, alcance e disponibilidade. Mesmo estando sob o alcance das duas redes, como não existe nenhum tipo de solução incluída, os clientes só sairiam da rede WiMAX se quisessem, caso contrário, como demonstrado pela Figura 3, permanecem na rede na qual estão. Conforme indicam os resultados de simulação da Figura 4, os clientes ficam constantemente competindo pela largura de banda da WiMAX prejudicando uns aos outros em suas respectivas aplicações devido a ausência de qualquer tipo de controle para gerenciar a mobilidade dos clientes móveis, suas CoS e consequentemente a QoS.

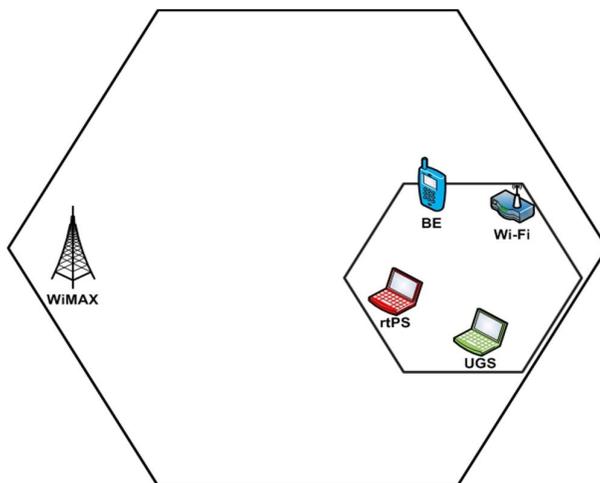


Figura 3. Cenário 1

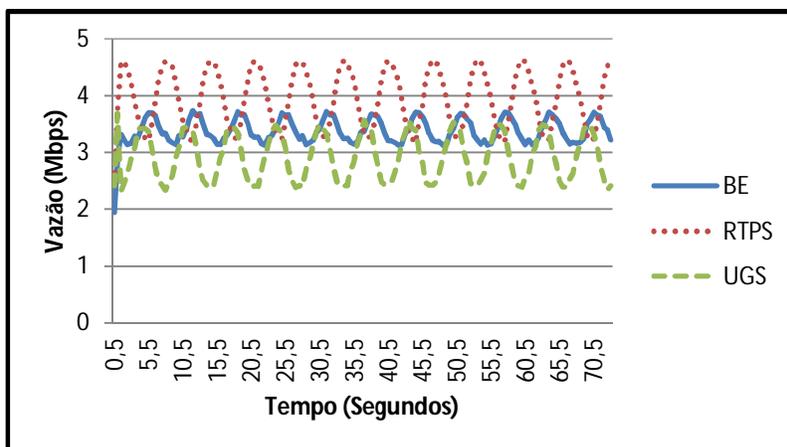


Figura 4. Resultado de Vazão para as CoS no experimento1

A competição pelos recursos de redes prejudica a qualidade das aplicações tanto do ponto de vista da rede (vazão), como do usuário conforme demonstrado na Figura 5 no instante de *frame* 1300.

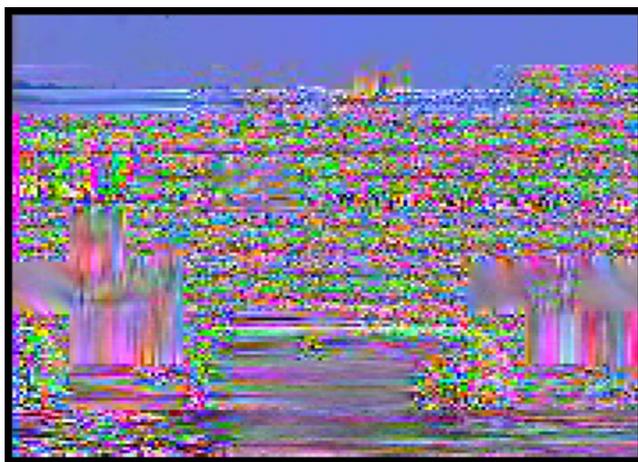


Figura 5. Vídeo de Péssima qualidade no Evalvid do Cenário 1

O valor do PSNR para este vídeo foi de 16.31 e conseqüentemente o MOS é péssimo. O do SSIM foi 0.31 e o VQM 14.57. Dessa forma, pode-se afirmar que o vídeo deste cenário tem uma péssima qualidade de acordo com a perspectiva do usuário devido a constante concorrência entre os três clientes com suas respectivas aplicações o que degrada a qualidade do vídeo do cliente com o serviço rtPS.

4.2 Experimento2

O segundo experimento (Cenário 2) possui três clientes com os serviços de BE, rtPS e UGS e encontram-se inicialmente em uma rede WiMAX. Com o passar do tempo, o cliente com a aplicação que utiliza o serviço do BE e posteriormente outro cliente com uma aplicação que se utiliza do rtPS realizam o *handover* para uma rede Wi-Fi de menor capacidade conforme indica a Figura 6.

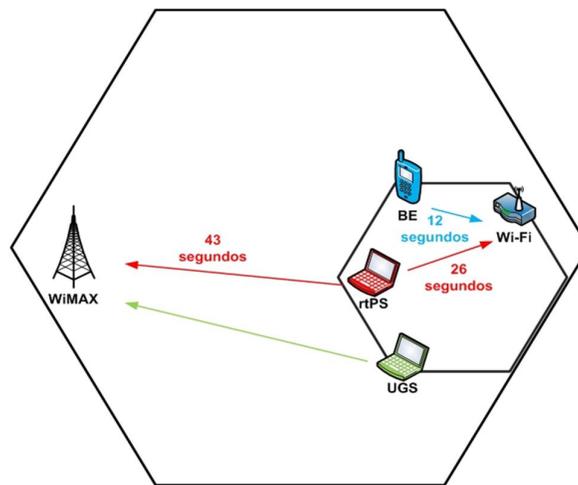


Figura 6. Cenário 2

Durante o instante de tempo de aproximadamente 12 segundos, o cliente com a aplicação que utiliza a CoS do BE faz um *handover* para uma rede Wi-Fi e devido à falta de concorrência consegue temporariamente ter um ganho de vazão. No entanto, aos 25 segundos o cliente com a aplicação mapeada no rtPS faz um *handover* para a limitada rede Wi-Fi e começa a competir pela vazão fazendo com que ambos os clientes percam consideravelmente a mesma e prejudiquem suas aplicações. Assim, o cliente com a aplicação do rtPS tem seu vídeo prejudicado juntamente ao cliente da aplicação do BE, inclusive tendo vazão inferior à vazão enquanto os três clientes competiam na rede WiMAX devido a menor capacidade da rede Wi-Fi atual.

Aos 43 segundos, no entanto, o cliente de vídeo retorna para a rede WiMAX e volta a apresentar vazão suficiente para uma melhor qualidade além de deixar de concorrer pela vazão com o cliente com a aplicação mapeada para o BE conforme demonstram os resultados de vazão apresentados pela Figura 7.

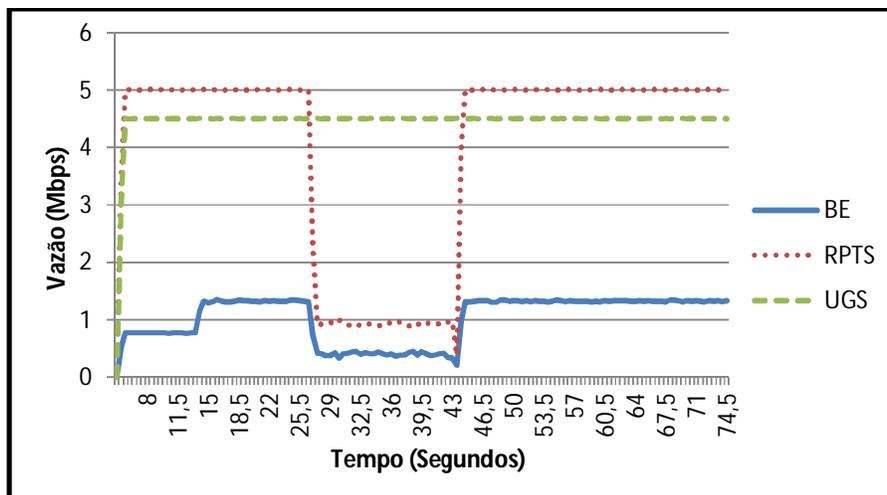


Figura 7. Resultado de Vazão para as CoS no Cenário 2

A Figura 8 comprova a visualização gráfica do vídeo do cliente com o serviço do rtPS no *frame* 1300 durante um *handover*. Os valores do PSNR, SSIM e VQM foram 25.58, 0.8 e 2.15, respectivamente. Além disso, pode-se dizer que o vídeo neste cenário tem uma qualidade aceitável de acordo com o mapeamento do PSNR para o MOS.

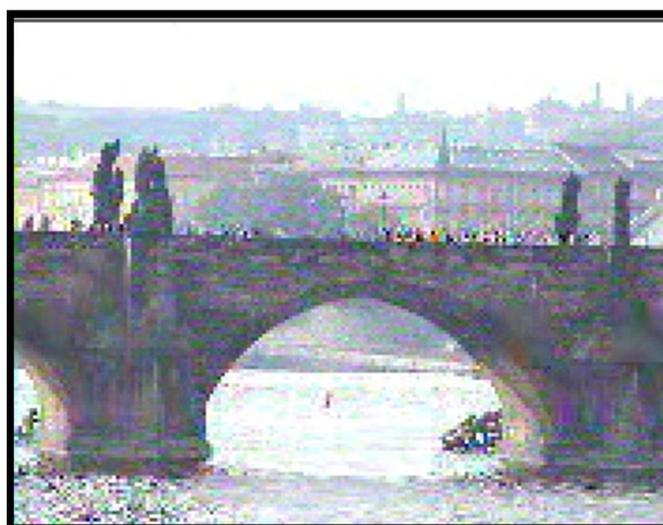


Figura 8. Vídeo de qualidade aceitável no Evalvid do Cenário 2

4.3 Experimento 3

O terceiro experimento (Cenário 3) utiliza o MIH2Q em conjunto a função de custo e possui três clientes recebendo aplicações mapeadas em BE, rtPS e UGS e estão localizados inicialmente em uma rede WiMAX conforme os cenários anteriores. Durante a simulação, a solução proposta faz com que os clientes com aplicações UGS e rtPS que possuem mais prioridade continuem no WiMAX mantendo qualidade de suas aplicações e decide que o cliente com o BE faça um *handover* para a rede Wi-Fi com menor capacidade, mas capaz de suprir sua necessidade já que não apresenta concorrentes para degradar o seu serviço conforme demonstra a Figura 9.

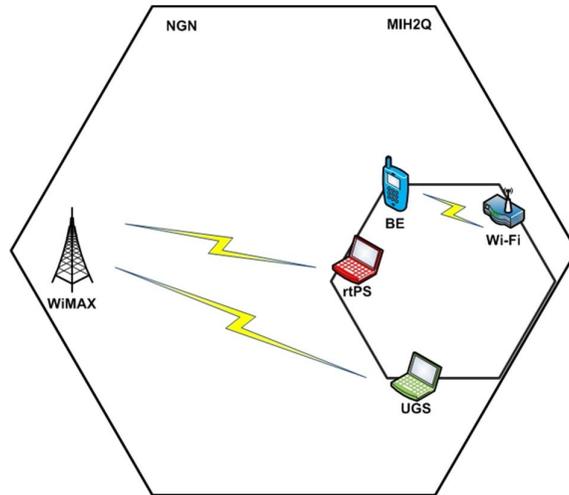


Figura 9. Cenário 3

Conforme o valor de vazão apresentado pela Figura 10 se pode afirmar que a função hierárquica de gerenciamento de mobilidade é eficiente e eficaz, pois faz com que os clientes consigam escolher a melhor rede de acordo com as aplicações e usufruir desta forma da melhor capacidade que as tecnologias podem oferecer para os clientes em determinado momento devido à utilização da proposta do MIH2Q.

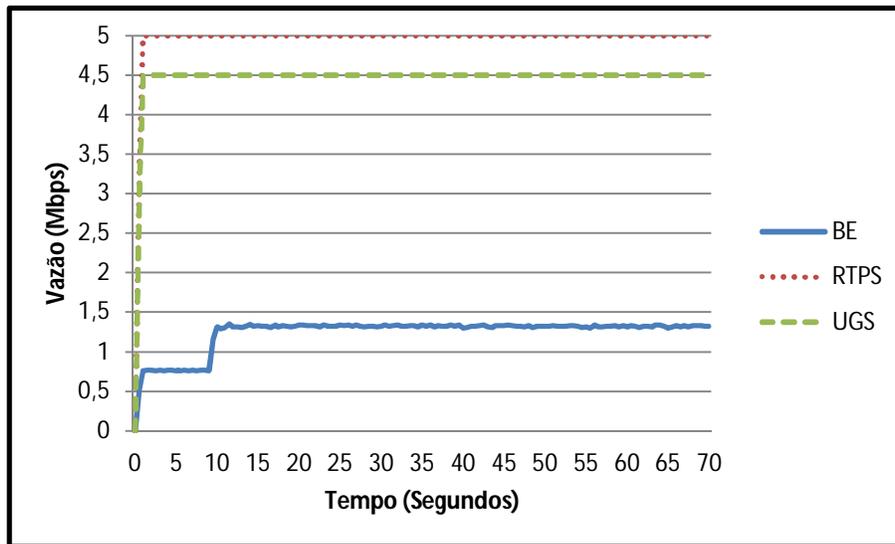


Figura 10. Resultado de Vazão para as CoS no Cenário 3

Analisando o cliente com o serviço rtPS no mesmo *frame* 1300 testado nos cenários anteriores, verifica-se que o PSNR obtém valor igual a 42.16 e o MOS é excelente. Os valores de SSIM e VQM foram 0.98 e 0.51, respectivamente. Dessa forma, pode-se afirmar segundo as métricas de QoE, que o vídeo apresenta uma excelente qualidade conforme pode-se notar e comprovar na Figura 11.



Figura 11. Vídeo de excelente qualidade no Evalvid do Cenário 3

5. Conclusões

Nos cenários das redes da próxima geração, espera-se que existam redes com diferentes tecnologias interligadas horizontalmente e verticalmente e que os clientes móveis com múltiplas interfaces possam mudar entre elas livremente de forma a receber o melhor serviço. Neste contexto, o artigo propôs um gerenciamento de mobilidade vertical baseado em uma função de custo para a decisão da melhor rede nomeada MIH2Q e que não leva em consideração apenas a RSS, mas também a velocidade e o tipo do serviço com suporte à QoS/QoE.

Os resultados de simulação comprovaram a eficácia e a eficiência da solução proposta pelo MIH2Q, mostrando que devido à solução de decisão, clientes de maior prioridade quanto devido à aplicação são impedidos de migrar para redes de menor capacidade e clientes com aplicações de CoS de menor prioridade são alocados em redes menos densas quanto à vazão disponível e a quantidade de clientes concorrentes como as redes Wi-Fi impedindo que diversos clientes de diferentes prioridades possam degradar seus serviços entre si. Com isso, os resultados da CoS BE obtém um ganho de vazão de aproximadamente 72,4% e as aplicações de rtPS e UG mantém vazão máxima e qualidade quanto a QoS e QoE.

Nos trabalhos futuros, espera-se interagir com um número maior de métricas como balanceamento de carga, problemas com propagação de sinal, distância e em outras medidas preponderantes para o processo de decisão da melhor rede.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela CAPES, CNPq e FAPESPA.

6. Referências

Andi, W. C., Yeo, C. K., Lee, B. S. (2010). "Environment-Aware QoS framework for multi-interface terminal". Computer Communications, 33 (2010), 1049-1055.

- Belghith, A. and Nuaymi, L. (2009) "Design and Implementation of a QoS- included WiMAX Module for NS-2 Simulator". Disponível em: <http://perso.telecom-bretagne.eu/aymenbelghith/tools/>. Acessado em: Janeiro de 2011.
- Cerqueira, E. Veloso, L. Curado, M. Monteiro, E. Mendes, P. (2008). "Quality Level Control for Multi-user Sessions in Future Generation Networks". Global Communications Conference, 2008. IEEE Globecom 2008.
- Chellappan, B. Moh, T. Moh, M. (2009) "On Supporting Multiple Quality-of-Services Classes in Mobile WiMAX Handoff". International Conference on Computing, Engineering and Information
- Gu, C. Song, M. Zhang, Y. Man, Y. Hou, C. (2009). "GPS Information assisted handoff mechanism in heterogeneous wireless networks". Communications Technology and Applications, 2009.ICCTA '09. IEEE International Conference on.
- He, Q. (2010). "A Fuzzy Logic Based Vertical Handoff Decision Algorithm between WWAN and WLAN". International Conference on Networking and Digital Society
- IEEE 802.16e, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Dec. 2005.
- IEEE P802.21 WG (2009). "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Part 21: Media Independent Handover Services". IEEE Std. 802.21-2008.
- Jingxuan, W. Mingjun, T. Tong, Z. Wei, Y. (2009). "A GPS-Free Wireless Mesh Networks Localization Approach". Communications and Mobile Computing, 2009.CMC '09. WRI International Conference on.
- Kunarak, S. e Suleesathira, R. (2010). "Predictive RSS with Fuzzy Logic based Vertical Handoff Algorithm in Heterogeneous Wireless Networks". International Conference on Advanced Technologies for Communications.
- Lee, S., Sriram, F., Kim, K.; Kim, Y., e Golmie, N. (2009) "Vertical Handoff Decision Algorithms for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks". IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58, NO. 2.
- Mahajan, A. Soans, S. (2010). "Next Generation Mobile Network Concepts Technology and Sample Applications". Wireless Communications and Sensor Computing. ICWCSC, 2010, International Conference On
- Meschke, R. Krohn, M. Daher, R. Gladisch, A. Tavangarian, D. (2010) "Novel Handoff Concepts for Roadside Networks using Mechanisms of IEEE 802.11k & IEEE 802.11 v".
- Network Simulator.(2011). "The Network Simulator version two – NS 2". Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em: Janeiro de 2011.
- Panaousis, E. Frangoudis, P. Ververidis, C. Polyzos, G. (2008) "Optimizing the Channel Load Reporting Process in IEEE 802.11k-enabled WLANs". Proceedings of the 2008 16th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks.
- Putra, D. Ke, K. Wu, H. (2009) "Self-Similar Traffic Assessment on QoS Service Classes of WiMAX Network"
- Xie, S.e Wu, M. (2008). "Vertical Handoff Decision Algorithm to Minimize the Network Cost".