

Arquitetura Heterogênea com Gerenciamento da QoE e Suporte a Handover Transparente através de um Sistema Fuzzy-Genético

Diego dos Passos Silva, José
Jaílton Ferreira Júnior, Madson
Bruno Silva Coelho, Kelvin
Lopes Dias
Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
{dps,jjj,mbsc,kld}@ufpa.br

RESUMO

Este artigo propõe uma arquitetura para redes de próxima geração capaz de fornecer acesso heterogêneo sem fio e *handover* transparente para aplicações de vídeo. A proposta considera os arcabouços utilizados para engenharia de tráfego (MPLS/RSVP-TE) e gerenciamento de mobilidade na camada de rede (MIPv6), bem como, adota o novo padrão IEEE 802.21 para auxiliar na integração de redes heterogêneas. Além disso, utiliza-se uma política de decisão de *handover* vertical baseada em um sistema *fuzzy* e sua otimização através de um algoritmo genético para cenários que integram as tecnologias de acesso WiMAX e Wi-Fi. A proposta é avaliada via simulação utilizando-se o *ns-2* (*Network Simulator*) e os resultados de desempenho são apresentados através das métricas de QoS (vazão) e QoE (PSNR, SSIM e MSU VQM) que demonstram a eficácia da arquitetura no suporte ao *handover* transparente.

ABSTRACT

This article proposes an architecture for the next generation networks to provide both QoE and seamless *handover* for video applications. The proposal considers frameworks used for traffic engineering (MPLS/RSVP-TE) and mobility management at the network layer (MIPv6), as well as, it adopts the new standard IEEE 802.21 to assist the integration of heterogeneous networks. In addition, it uses a vertical handover decision policy based on fuzzy system and its optimization by a genetic algorithm for scenarios that integrate the WiMAX and Wi-Fi access technologies. The proposal is evaluated via simulation using the *ns-2* (*Network Simulator*) and the performance results are shown through the QoS (throughput) and QoE (PSNR, SSIM and MSU VQM) metrics that demonstrated the effectiveness of the architecture to support seamless *handover*.

Categories and Subject Descriptors

- C.2.1 [COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS]:
Network Architecture and Design – Wireless communication;
C.2.3 [COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS]:
Network Operations – Network management.
C.2.3 [COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS]:
Network Operations - Public networks.

General Terms

Algorithms, Management, Measurement, Design.

Keywords

Seamless handover, IEEE 802.21, WiMAX, Wi-Fi, QoS, QoE, *genetic algorithm*, *fuzzy system*.

1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios na concepção das redes de próxima geração consiste no desenvolvimento de arquiteturas que viabilizem tanto a continuidade do serviço quanto a visão centrada no usuário através do suporte adequado à Qualidade de Experiência (QoE - *Quality of Experience*) [1] para aplicações multimídia e que proporcionem sempre a melhor conectividade (*Always Best Connectivity* - ABC) aos usuários móveis [2]. Várias são as denominações adotadas para estas redes, como 4G (*Fourth Generation*), NGN (*Next Generation Networks*), ou Internet do Futuro (*Future Internet*). Há um consenso de que em qualquer que seja a denominação, o acesso será heterogêneo e sem fio.¹

Nos últimos anos, duas tecnologias complementares vêm se destacando. A primeira delas, baseada no padrão IEEE 802.11 [3], popularmente conhecida como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), tem sido amplamente adotada para permitir conectividade sem fio para redes locais (WLANs – *Wireless Local Area Networks*), porém a cobertura desses *hotspots* ainda é limitada a poucas centenas de metros. Por outro lado, redes sem fio metropolitanas baseadas no padrão IEEE 802.16, como o WiMAX Móvel (IEEE 802.16-2009) [4], oferecem taxas de transmissão elevadas (em torno de

Heterogeneous Architecture with QoE Management and Support for Seamless Handover via a Genetic-Fuzzy System

66 Mbps) e podem cobrir áreas de alguns quilômetros, bem superiores às cobertas por WLANs.

Neste novo cenário, decorrente do fato de que o usuário deve ter a liberdade de acessar qualquer rede e a visão de interoperabilidade e integração de tecnologias heterogêneas para as redes de próxima geração, o IEEE iniciou em março de 2004 e finalizou em janeiro de 2009, o padrão denominado IEEE 802.21 ou MIH (*Media Independent Handover Services*) [5]. O MIH tem como objetivo facilitar a integração entre diferentes tecnologias de acesso IEEE ou não-IEEE como o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) [6] e viabiliza o *handover vertical*, isto é, entre tecnologias distintas, através de um conjunto de serviços, gatilhos, e eventos de sinalização unificados para qualquer tecnologia.

No contexto mais amplo de mobilidade na Internet, alguns protocolos como o IP Móvel (MIPv6 – *Mobile IP version 6*) [7] podem ser usados, em geral, para viabilizar o gerenciamento de mobilidade independente da tecnologia de acesso. Aspectos de engenharia de tráfego (reserva de recursos) podem ser obtidos pela sinalização RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering*) [8] integrante do arcabouço do MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) [9].

Este artigo propõe uma arquitetura para decisão de *handover* baseado em Lógica Fuzzy/Nebulosa, e sua otimização através do uso de Algoritmo Genético (AG), para viabilizar o *handover* transparente (imperceptível para o usuário). Além disso, nossa proposta viabiliza o suporte à QoE para aplicações de vídeo entre redes 802.16 e 802.11, através da integração MIPv6/MIH/MPLS. Não é do conhecimento dos autores que outro trabalho tenha otimizado o conjunto de regras de inferência (CRI) e as funções de pertinência (FP) utilizados na decisão de *handover* por meio de AG ou qualquer outra técnica de computação evolucionária numa arquitetura similar à nossa proposta.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Inicialmente, apresentamos os trabalhos relacionados ao tema na Seção 2. A arquitetura proposta é descrita na Seção 3. A proposta é avaliada na Seção 4 por meio de simulações no ns-2 [10]. A Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem na literatura, diversas estratégias para a decisão de *handover* vertical, cada uma das quais tem suas próprias vantagens e desvantagens [11]. Nesta seção apresentamos os trabalhos relacionados que envolvem os blocos construtores relacionados à nossa proposta: redes heterogêneas, MPLS, MIP e procedimentos de *handover*.

Em [12] os autores implementam um sistema *fuzzy* na decisão de *handover*, contudo, não consideram a velocidade do usuário, apenas a qualidade do sinal das redes envolvidas (UMTS e Wi-Fi). Yaw Nkansah-Gyekye e Johnson I. Agbinya [13] propõem um algoritmo para decisão de *handover* vertical (VHDA – *Vertical Handoff Decision Algorithm*) composto de duas partes: Um algoritmo para iniciação do *handover*, neste caso, um sistema *fuzzy* definido pelos autores sem qualquer otimização. E, um algoritmo para seleção da rede, neste caso, um AG é usado para encontrar o melhor resultado de uma função de custo. Ambos os trabalhos, [12] e [13], não consideram classes de serviços no algoritmo de decisão de *handover*. Além disso, não sugerem qualquer arcabouço em termos de protocolos para o gerenciamento de mobilidade ou para o provisionamento de QoS

na parte sem fio, tampouco na parte cabeada, que sequer é discutida nestes artigos, com vistas à obtenção do *handover* transparente.

Em [11] os autores abordam as várias estratégias de decisão, mas não apresentam as tecnologias para provimento de *handover* vertical. Os autores propõem que a seleção da rede alvo utilize o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e que a decisão de *handover* seja realizada através de um sistema *fuzzy*. O tipo de *handover* proposto para a solução é sempre controlado pela interface móvel (*Mobile-Controlled Handover* - MCHO), o que exige do mesmo um certo poder de processamento.

No trabalho [14], um sistema *fuzzy* é proposto para a seleção da Estação Base (BS – *Base Station*)/Repetidora (RS – *Relay Station*) ou Ponto de Acesso (AP – *Access Point*). O sistema tem como variáveis de entrada: a relação sinal ruído (*Signal-to-Noise Ratio* - SNR) e um indicador de congestionamento das Estações Base/Repetidoras e dos APs, juntamente com a banda disponível para a Estação Assinante Móvel (MS – *Mobile Subscriber Station*). Também é empregado um algoritmo genético para determinar a banda disponível para cada estação repetidora. Contudo, não considera qualquer política de QoS ou QoE, não detalham a tecnologia adotada para viabilizar o *handover* vertical, e o seu foco se limita a balanceamento de carga.

Os autores desconhecem até o momento algum trabalho que una o MPLS com o IEEE 802.21, e, um Sistema de Fuzzy-Genético (SFG), para suporte de *handover* transparente entre redes IEEE 802.11 e IEEE 802.16 com uma proposta de política de gerenciamento e suporte a QoE. A adequação do MPLS para lidar com mobilidade já está presente em alguns artigos da literatura. No entanto, em geral, as propostas apenas embutem mobilidade sem se preocupar com reserva de recursos, tipo de tráfego ou mesmo integração entre redes heterogêneas.

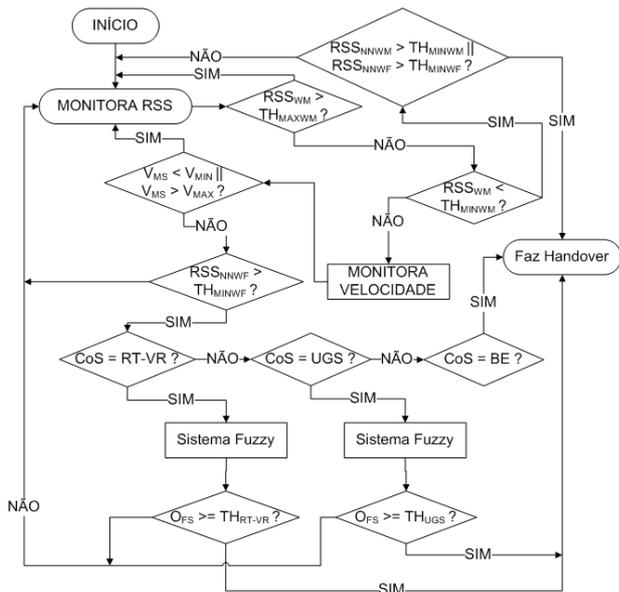
3. ARQUITETURA PARA SUPORTE A HANDOVER TRANSPARENTE

Nesta seção, cada fase do *handover* é apresentada com seus respectivos protocolos, tecnologias, métricas e política. Adotamos o MIH para auxiliar na decisão de *handover*. No cenário, supõe-se que há um MIIS (*Media Independent Information Service*) centralizado. A rede cabeada tem suporte conjunto à mobilidade e reserva de recursos através do MPLS, e a rede sem fio através do protocolo MIPv6. Esta sinalização conjunta, nas camadas L2.5 e L3, é acionada pelo MIH que se comunica com as camadas L2 dos padrões IEEE 802.16-2009 e IEEE 802.11.

Embora o MIH possibilite o *handover* entre diferentes tecnologias, o mesmo não define um sistema de gerenciamento de *handover* inteligente que possa considerar o contexto no qual o dispositivo móvel está inserido. Propõe-se, portanto, um sistema de decisão de *handover* inteligente, que integre algoritmos de decisão mais avançados, onde o resultado final do algoritmo deve ser fortemente dependente dos parâmetros recuperados do contexto.

O SFG proposto é composto de duas partes: MDS (Módulo de Decisão de *Handover* Vertical e Seleção da Rede Alvo) e MOHV (Módulo de Otimização do *Handover* Vertical). A Figura 1 apresenta o MDS para provimento de *handover* transparente e QoE em redes heterogêneas. Adotamos neste trabalho uma política de decisão de *handover* baseada em classes de serviço (*Class of Services* - CoS), velocidade da MS, qualidade do sinal recebido e por um sistema de decisão de *handover* baseado em um

sistema *fuzzy*. A ideia é garantir QoE evitando, por exemplo, que usuários RT-VR (*Real Time Variable Rate*) utilizando aplicações de *video streaming* (fluxo de vídeo), façam *handover* desnecessariamente. Vale ressaltar que o pressuposto da disponibilidade da informação sobre a velocidade da MS, através de GPS, por exemplo, é adotado em vários problemas de monitoramento da mobilidade do usuário e decisão de *handover* como em [14] [15] [16].



1. RSS_{WM} : RSS da rede WiMAX;
2. RSS_{WF} : RSS da rede Wi-Fi;
3. TH_{MINWM} (-128,08 dB): Limiar mínimo de recepção para a rede WiMAX;
4. TH_{MAXWM} (-16,02 dB): Limiar máximo de recepção para a rede WiMAX;
5. TH_{MINWF} (-92,79 dB): Limiar mínimo de recepção para a rede Wi-Fi;
6. RSS_{NNWM} : RSS da rede WiMAX vizinha;
7. RSS_{NNWF} : RSS da rede Wi-Fi vizinha;
8. CoS: Tipo de Classe de Serviço;
9. O_{FS} : Saída do sistema *fuzzy*;
10. TH_{UGS} (0,8): Limiar de possibilidade de *handover* para a classe UGS;
11. TH_{RT-VR} (0,6): Limiar de possibilidade de *handover* para a classe RT-VR;
12. V_{MS} : Velocidade da Estação Móvel;
13. V_{MIN} (1 m/s): Velocidade Mínima;
14. V_{MAX} (120 km/h): Velocidade Máxima.

Figura 1. Fluxograma do MDS.

O *handover* nunca ocorrerá enquanto o sinal recebido (*Received Signal Strength* - RSS) pela interface WiMAX for maior do que o melhor esperado ($RSS_{MAXWM} > -16,02$ dB), ou a velocidade da MS for muito alta ($V_{MAX} > 120$ km/h), muito lenta ou a MS está parada ($V_{min} < 1$ m/s). Em contrapartida, o *handover* é iniciado imediatamente se o sinal da interface WiMAX for pior do que o limiar mínimo para recepção ($RS_{MINWM} < -128,98$ dB) e o sinal rede vizinha superior ao seu limiar mínimo de recepção ($RSS_{NNWM} > -128,98$ dB ou $RSS_{NNWF} > -92,79$ dB). Para os demais casos, se o sinal rede vizinha Wi-Fi for superior ao seu

limiar mínimo de recepção ($RSS_{NNWF} > -92,79$ dB) o sistema *fuzzy* é ativado para cada CoS menos o BE e a saída (O_{FS}) (possibilidade de *handover*), aciona ou não o processo de *handover*.

Após o armazenamento de um número pré-determinado (por exemplo: 5000) pelo administrador das redes sobre os casos de *handover* ocorridos, neste caso: velocidade, RSS_{WM} (sinal recebido pela interface WiMAX) e saída do sistema *fuzzy*, o MOHV cria através um algoritmo genético, um novo CRI e FP otimizadas para o cenário em questão. Podemos assumir que esta tarefa é executada off-line, antes do início da operação da rede, considerando-se cenários/amostras passadas, como por exemplo, amostras do dia anterior para aquele mesmo período do dia (manhã, tarde ou noite). Em seguida, esta nova configuração para o sistema *fuzzy* é então repassada para o MDS durante um período de inatividade da rede.

O MDS pode estar localizado tanto na MS ou num servidor centralizado. Caso esteja localizado na MS, os novos CRI e FP gerados pelo MOHV podem ser repassados para o dispositivo móvel via TFTP (*Trivial File Transport Protocol*), por exemplo, como o WiMAX faz em relação aos seus próprios parâmetros. A Figura 2 ilustra o processo de *handover* vertical entre redes WiMAX e Wi-Fi para a arquitetura proposta. As mensagens trocadas são explicadas abaixo:

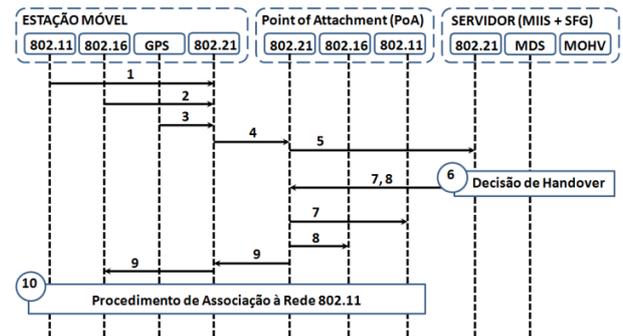


Figura 2. Troca de mensagens durante o *handover* vertical.

1. Quando uma rede vizinha detectada pela MS for Wi-Fi (MIH_LINK_SAP Link_Detected). A interface Wi-Fi envia para o MIH o nível do sinal recebido (Received Signal Strength – RSS_{WF}) via MIH_LINK_SAP Link_Parameters_Report.
2. A interface da rede atual (WiMAX) também envia o seu RSS (RSS_{WM}) via MIH_LINK_SAP Link_Parameters_Report.
3. O sistema de GPS envia ao MIH a velocidade do dispositivo (V_{MS}).
4. Então, o MIH envia esses, através de mensagens (MIH_LINK_SAP Link_Parameters_Report) pela rede WiMAX, para o PoA (Point of Attachment), neste caso, a BS Atual.
5. A BS Atual então repassa os parâmetros para o MIIS via rede cabeada (MIH_LINK_SAP Link_Parameters_Report via MPLS+MIPv6).
6. O MIIS repassa a velocidade e o RSS das redes Wi-Fi e WiMAX para o MDS. Parte do MDS possui um sistema *fuzzy*. Caso a decisão de *handover* seja positiva, o evento (V_M , RSS_{WM} , O_{FS}) é gravado numa base de dados para futuro acesso pelo MOHV e;

7. O MIIS informa que haverá o *handover*, e, repassa os parâmetros sobre a futura conexão para o PoA Alvo (MIH_SAP MIH_N2N_HO_Commit.response);

8. O MIIS informa, e repassa os parâmetros para o *handover*, para o PoA Atual (MIH_SAP MIH_N2N_HO_Commit.response);

9. Após o recebimento do aval para o início do *handover* através de mensagens MIH_SAP MIH_N2N_HO_Commit.response e MIH_SAP MIH_MN_HO_Commit.response;

10. A interface 802.11 associa-se ao AP Alvo.

3.1 Algoritmo para a Decisão de Handover Vertical

Diferentemente da lógica tradicional, que trabalha com valores exatos, a lógica *fuzzy* permite um nível de incerteza, tornando-a ideal para variáveis imprecisas como a velocidade e a RSS. Um conjunto *fuzzy* tem uma função de pertinência associada que define para cada elemento do conjunto universo um grau de pertinência que pode variar dentro do intervalo real [0,1]. O valor obtido da função de pertinência para um determinado elemento mostra o quanto aquele elemento pertence ao conjunto. Desse modo, um elemento pode pertencer mais a um conjunto *fuzzy* e menos a outro.

Um sistema *fuzzy* possui três principais blocos componentes: um fuzzificador (*fuzzifier*), um motor de inferência *fuzzy* (*fuzzy inference engine*) e um defuzzificador (*defuzzifier*). Um fuzzificador usa os conjuntos *fuzzy* definidos para as variáveis de entrada e suas funções de pertinência associadas para definir o grau de pertinência de um valor real de uma variável sobre cada um dos conjuntos *fuzzy*. Em seguida, o motor de inferência *fuzzy* usa os dados resultantes do fuzzificador para determinar a intensidade de disparo das regras de inferência e obter o conjunto *fuzzy* resultante na saída. Por fim, o defuzzificador deve empregar algum método de defuzzificação (*defuzzification*) para converter o conjunto *fuzzy* de saída para um valor real que possa ser processado externamente ao sistema.

As duas das regras *fuzzy* mais utilizadas são as do tipo Mamdani e Takagi-Sugeno. O formato geral para regras *fuzzy* do tipo Mamdani, adotadas neste trabalho, é:

$$SE x_1 \in A_1 e x_2 \in A_2 e \dots e x_n \in A_n ENTÃO y \in B_j \quad (1)$$

Onde, x_1, \dots, x_n , são variáveis de entrada; A_i representa um dos conjuntos *fuzzy* definidos sobre o domínio da variável *fuzzy* de entrada x_i ; y é a variável *fuzzy* de saída, B_j é um dos conjuntos *fuzzy* definidos sobre o domínio da variável y .

O número de regras *fuzzy* depende do número de variáveis de entrada e do número de conjuntos *fuzzy* definido para cada uma delas. Muitas regras podem ser disparadas em paralelo. É empregado no MDS um sistema *fuzzy* do tipo Mamdani cuja intensidade de disparo de uma regra de inferência será uma média aritmética dos graus de pertinência obtidos. Os conjuntos *fuzzy* são combinados pela escolha do valor máximo e o defuzzificador usa o chamado método da centróide sem sobreposição.

3.2 Algoritmo Para Otimização da Decisão de Handover Vertical

Além da importância da escolha das funções de pertinência, o aumento do número de entradas para o sistema *fuzzy* aumenta o tamanho da base de regras exigida por um fator multiplicativo. A concepção de um sistema *fuzzy* (conjunto de regras de inferência e funções de pertinência) pode ser formulada como um problema de

busca num grande espaço multidimensional, onde cada ponto representa um conjunto de regras, funções de pertinência e comportamento do sistema correspondente.

Desenvolver a concepção ideal do sistema *fuzzy* é equivalente a encontrar o ponto ótimo desta hipersuperfície. Esta característica faz dos algoritmos evolucionários, como os algoritmos genéticos, os melhores candidatos para pesquisar a hipersuperfície do que os métodos convencionais de busca escalar [17].

Vale ressaltar que um AG sozinho não é capaz de propor um sistema *fuzzy*. Objetivo do AG empregado na arquitetura proposta é:

1. Ajudar o projetista a reduzir o CRI e buscar melhores curvas para as FP empregadas. Caso o sistema *fuzzy* inicial já satisfaça, em termos de saída/resposta, as necessidades da rede onde é empregada. Este será o nosso caso de análise.

2. Ou então, a partir de uma população inicial (série de casos com as variáveis de entrada, somada a(s) saída(s) desejada(s)), juntamente com um CRI e FP iniciais que o projetista acredita satisfazer o problema. Gerar um CRI e FP otimizados que satisfaçam o problema.

Os AGs são algoritmos de pesquisa que refletem de uma forma primitiva alguns dos processos de evolução natural, incluindo *crossover*, mutação, e sobrevivência dos mais aptos. Embora de natureza estocástica, os AGs são altamente eficazes, pois trabalham com um conjunto de pontos (população) ao invés de um único ponto. Cada ponto no hiperespaço é um vetor representando uma potencial solução para o problema de otimização. A população é, portanto, apenas um conjunto de vetores do hiperespaço. Cada vetor é chamado de cromossomo. O número de elementos em cada cromossomo depende do número de parâmetros do problema de otimização.

Todos os AGs realizam as seguintes operações:

1. Geração da população inicial;
2. Cálculo da aptidão de cada cromossomo da população;
3. Reproduzir cromossomos selecionados para formar uma nova população;
4. Realizar cruzamento e mutação da população;
5. Retorna para a etapa 2 até que alguma condição seja satisfeita.

Em geral usa-se como critério de parada um limiar máximo para a aptidão ou o para o número de gerações, mas também é usado, por exemplo, o número máximo de iterações sem melhora do melhor indivíduo. A população inicial pode ser gerada: por um algoritmo de geração de números aleatórios, ou obtida através de amostragem. Após o cálculo da aptidão, geralmente usa-se o Erro Médio Quadrático (*Mean Square Error* - MSE), o próximo passo é a reprodução.

A reprodução compreende formar uma nova população, geralmente com o mesmo número total de cromossomos, a partir dos membros da população atual de maior aptidão. A operação seguinte é chamada de *crossover*. Para muitos especialistas em computação evolutiva, o *crossover* é o que distingue os AGs de outros paradigmas de computação evolutiva. *Crossover* é o processo de troca de parcelas das cadeias de cromossomos dos pais. Uma probabilidade de que o processo de cruzamento irá ocorrer é atribuída a todos os pais. Essa probabilidade está muitas vezes no intervalo de 65 % a 80%.

A operação final típica nos AGs é mutação. A mutação consiste em alterar o valor de um elemento/indivíduo/cromossomo ao

acaso, muitas vezes com uma probabilidade constante para cada elemento da população. A probabilidade de mutação pode variar muito de acordo com a aplicação. No entanto, valores entre 0,01% e 1% não são incomuns para a probabilidade de mutação.

4. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA

Foi necessário modificar o núcleo do *ns-2*, já anteriormente alterado pelo pacote NIST mobility [18], para inserir a funcionalidade de um sistema *fuzzy*-genético numa simulação de redes heterogêneas. Os experimentos visam observar os benefícios do protocolo de gerenciamento de mobilidade MIPv6, do mecanismo de reserva de banda do MPLS/RSVP-TE, e do SFG quando utilizados de forma integrada na decisão de *handover*. Os resultados coletados medem o impacto da mobilidade sob o ponto de vista dos usuários por meio de análises objetivas da QoS (Vazão) e da QoE (PSNR - *Peak Signal Noise Ratio* [19], SSIM - *Structural Similarity Index* [20] e MSU VQM - *MSU Video Quality Metric* [21]).

Para definir os conjuntos *fuzzy* para o sinal recebido, os nós móveis adquiriram valores de velocidade de 1 m/s a 16 m/s e o ponto de acesso 802.11 assumiu posições de 100m a 1000m em relação à borda da célula, a cada 100 metros, totalizando cento e sessenta simulações. A topologia utilizada nas simulações é apresentada na Figura 3. Para a obtenção das amostras para o SFG (base de dados), idem, mas com os nós variando de 0 a 20 m/s. Isto criou uma amostra com 5698 casos de *handover* usando o CRI e FP Iniciais.

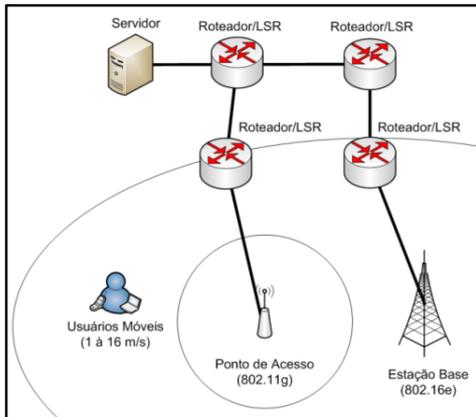


Figura 3. Topologia com e sem a arquitetura proposta.

No caso do formato dos conjuntos *fuzzy* sobre cada uma das variáveis de entrada, optou-se por, inicialmente, usar funções de pertinência triangulares (Figura 4). Cada variável de entrada tem três conjuntos *fuzzy* definidos sobre ela. Para a velocidade (v), têm-se os conjuntos BAIXO (B_V), MÉDIO (M_V) e ALTO (A_V), enquanto que para a RSS têm-se os conjuntos FRACO (FR_{RSS}), MÉDIO (M_{RSS}) e FORTE (F_{RSS}). A variável de saída (h) tem quatro conjuntos *fuzzy* que indicam a possibilidade de um *handover* ser executado. Em termos lingüísticos, são definidos da seguinte maneira: NÃO (N_H), PROVAVELMENTE NÃO (PN_H), PROVAVELMENTE SIM (PS_H) e SIM (S_H).

Para as Regras de Inferência *Fuzzy* iniciais, adotaram-se as seguintes:

1. Se ($v \in B_V$) e ($RSS \in FR_{RSS}$) então ($h \in S_H$);
2. Se ($v \in B_V$) e ($RSS \in M_{RSS}$) então ($h \in S_H$);
3. Se ($v \in B_V$) e ($RSS \in F_{RSS}$) então ($h \in PS_H$);

4. Se ($v \in M_V$) e ($RSS \in FR_{RSS}$) então ($h \in PS_H$);
5. Se ($v \in M_V$) e ($RSS \in M_{RSS}$) então ($h \in PS_H$);
6. Se ($v \in M_V$) e ($RSS \in F_{RSS}$) então ($h \in PN_H$);
7. Se ($v \in A_V$) e ($RSS \in FR_{RSS}$) então ($h \in PN_H$);
8. Se ($v \in A_V$) e ($RSS \in M_{RSS}$) então ($h \in PN_H$);
9. Se ($v \in B_V$) e ($RSS \in F_{RSS}$) então ($h \in N_H$).

O novo CRI, proposto pelo SFG (MOHV) é mostrado abaixo:

1. Se ($v \notin B_V$) e ($RSS \notin M_{RSS}$) então ($h \notin S_H$);
2. Se ($RSS \notin F_{RSS}$) então ($h \in S_H$);
3. Se ($v \in M_V$) e ($RSS \in F_{RSS}$) então ($h \notin S_H$);
4. Se ($v \notin B_V$) e ($RSS \notin FR_{RSS}$) então ($h \in PS_H$).

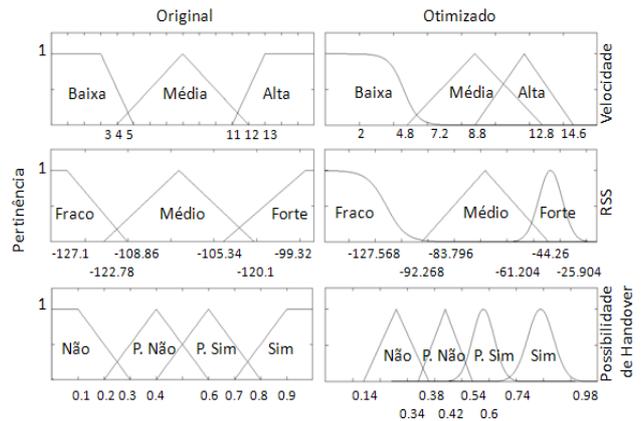


Figura 4. Conjuntos *fuzzy*, inicial e otimizado, para as variáveis.

Foi usado como critério de parada do SFG o percentual de erro do novo sistema *fuzzy* considerando a amostra ($\leq 5\%$). Verificou-se que para uma população de 200 indivíduos e 1000 gerações, o percentual de erro foi de 4,6% (262 casos). O tempo total de processamento do sistema *fuzzy* otimizado para atender a todas as requisições para o cenário proposto é 31,78% menor em relação ao original (Figura 5). A função de aptidão usada foi o Erro Médio Quadrático (*Mean Square Error* - MSE). O melhor indivíduo e a média ao longo das gerações são mostrados na Figura 6. Os demais parâmetros do AG são mostrados abaixo:

- Tamanho da amostra: 5698;
- Tamanho da população do AG: 200;
- Número de gerações: 1000;
- Tipo de *crossover*: Uniforme;
- Taxa de *crossover*: 70%;
- Tipo de representação do cromossomo: Homogênea;
- Taxa de mutação: 1%;
- Tipo de adaptação: Populacional (Pittsburg) e Estática;
- Tipo de seleção: Seleção do Ranking com Estratégia Elitista;
- Função de aptidão: Erro Médio Quadrático;
- Aptidão desejada: 99% de acerto;
- Percentual de erro do sistema proposto em relação ao original: 4,6%.

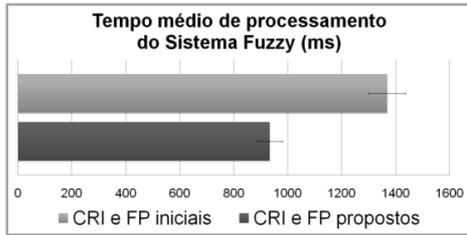


Figura 5. Tempos médios de execução do sistema fuzzy.

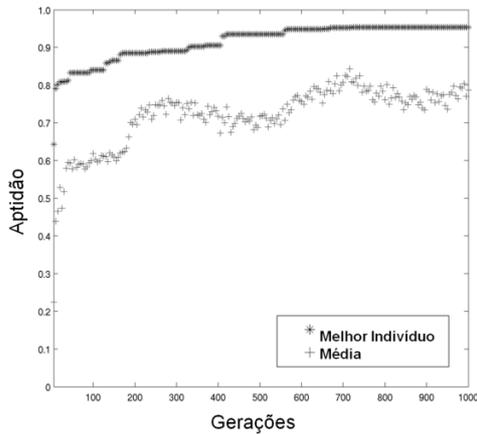


Figura 6. População versus melhor indivíduo e média.

A fim de analisar o comportamento da arquitetura proposta, incluído o CRI e FP gerados pelo MOHV, uma seqüência de vídeo real com o nome "Highway" foi utilizado nos experimentos [22] para o tráfego RT-VR. O vídeo consiste de 2000 quadros com o formato YUV, amostragem 4:2:0, dimensão de 352x288, que foi comprimido através de um codec MPEG-4 e enviado a uma taxa de 30 quadros por segundo. O Grupo de Imagens (Group of Pictures - GOP) da seqüência é composto por 30 quadros e cada quadro é fragmentado em blocos de 1024 bytes.

A avaliação do vídeo foi viabilizada pela ferramenta Evalvid [23] que adiciona a funcionalidade de transmissão real de vídeo ao ns-2. Também inserimos nós móveis do tipo UGS (Unsolicited Grant Service) com tráfegos CBR (Constante Bit Rate - CBR) de 500 kbps e nós do tipo BE (Best Effort) com tráfegos FTP (limitado à 100 kbps no terceiro cenário). A Tabela 1 mostra os demais parâmetros das simulações:

Tabela 1. Parâmetros usados nas Simulações.

Redes	802.11	802.16	Rede Cabeada
Taxa de Transmissão	54 Mbps	75 Mbps	15 Mbps
Raio de Cobertura	50m	1000m	-
Número de nós	16 (de 1 a 16 m/s)		4 (roteadores)
Tipo de Tráfego (para cada usuário)	Streaming de vídeo (1,5 Mbps); CBR (500 kbps); FTP (limitado à 100 kbps no terceiro cenário).		

Tipo de Vídeo	Resolução: 352x288 pixels; Taxa de Frames: 30 frames/s.
Tipo de Escalonamento	Priority Queuing (PQ) (Entre as CoS: UGS, RT-VR e BE)
Tipo de fila	CBQ (40 ms de atraso)
Tamanho do pacote	1052 bits
Fragmentação máxima dos pacotes	1024 bits
Tempo de cada simulação	75 segundos
Número de simulações para cada cenário	100
Intervalo de Confiança	95%

Para verificarmos o impacto da ausência de qualquer política de QoS/QoE, o primeiro cenário simulado foi realizado sem CoS (todos os nós sendo BE), sem o MPLS para reserva de banda e sem o sistema fuzzy para decisão de handover. O segundo cenário não usa o MPLS (apenas SFG + MIPv6), para fins de comparação e observação do impacto da reserva de banda na arquitetura. O terceiro, implementa a política (SFG + MPLS + RSVP-TE + MIPv6) para verificação dos ganhos em termos de QoS e QoE.

Com estes cenários, verificou-se que apenas CoS, ou apenas um algoritmo de decisão de handover, ou apenas reserva de recursos, não são, individualmente, suficientes para garantir uma alta qualidade do vídeo recebido pelo usuário, como mostra a Figura 7. As classes de serviço não garantem o máximo de banda disponível para os nós RT-VR e UGS, além disso, percebemos que o tráfego BE, mesmo realizando handover para o Wi-Fi, ainda atrapalha o consumo de banda dos demais nós (principalmente do UGS). Isso ocorre porque além da competição no meio sem fio, os tráfegos também concorrem no meio cabeado (backbone) até chegarem à BS ou AP.

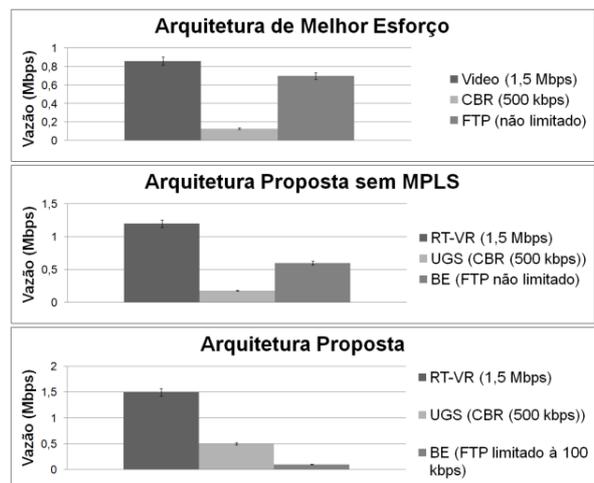


Figura 7. Vazão Média em relação às Classes de Serviço.

Nesse aspecto é que entra o protocolo MPLS, para complementar a prioridade que as CoS dão aos tráfegos, só que agora na parte

cabeada. Os LSPs (*Label Switched Paths*) reservam e garantem o máximo de banda para os usuários RT-VR, e o necessário de banda disponível para o usuário UGS (500 kbps), deixando disponível apenas 100 kbps para cada nó BE, para que não interfiram na qualidade dos demais serviços. Então, com a arquitetura completa percebemos o acréscimo de vazão tanto para os nós RT-VR, quanto para o nós UGS.

A Figura 8 mostra os valores médios para as métricas de QoE para os três cenários. A métrica mais tradicional de QoE é o PSNR, que estima a qualidade do vídeo em decibéis, comparando o vídeo original com o vídeo recebido pelo usuário. Um vídeo com PSNR acima de 37 é considerado excelente. Já um valor de PSNR abaixo de 20 é considerado péssimo.

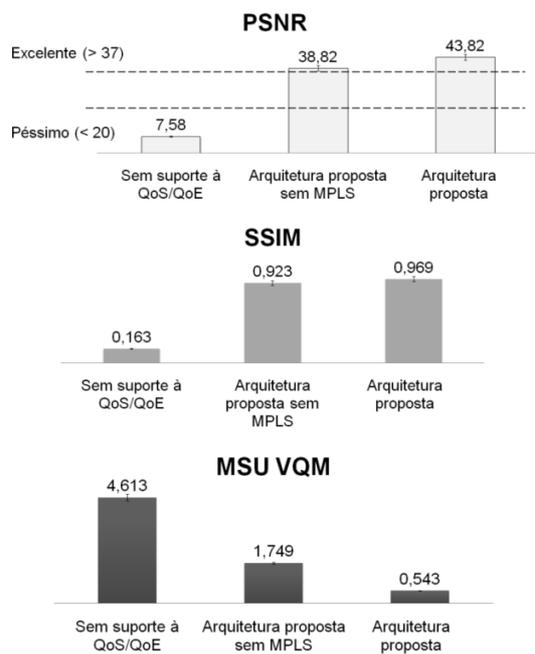


Figura 8. Métricas obtidas para os tráfegos de vídeo.

O SSIM, diferentemente do PSNR que apenas analisa a taxa de erro do vídeo recebido em relação ao original, leva em consideração as características do SVH (Sistema Visual Humano) como similaridade de cores, luminosidade e estrutura. O valor de SSIM é expresso como um valor decimal entre 0 e 1. No caso em que o valor é igual a 1, o vídeo recebido pelo usuário foi reproduzido com 100% de fidelidade ao vídeo original.

O MSU VQM é expresso em um número real e quanto mais próximo o valor for de 0, melhor será a qualidade do vídeo, pois indica que houve menos distorção possível em relação ao vídeo original.

O vídeo quando transmitido sem nenhuma prioridade e sem nenhuma política de decisão de *handover* obteve os seguintes valores médios: 7,58; 0,163 e 4,613 de PSNR, SSIM e VQM respectivamente, sendo qualificado como vídeo péssimo. Neste caso o vídeo teve que disputar banda com as demais aplicações, além do *handover* desnecessário para a rede Wi-Fi.

No segundo caso, o vídeo foi associado à classe de serviço RT-VR. Neste caso, o vídeo possuía prioridade em relação às demais aplicações e por isso obteve um ganho significativo na qualidade obtida recebendo os seguintes valores de QoE: 38,82; 0,923 e

1,749 de PSNR, SSIM e VQM respectivamente, sendo qualificado como vídeo excelente. Além da prioridade dada ao vídeo, o mesmo não realizou *handover* desnecessariamente para a rede Wi-Fi, permitindo esse salto da qualidade péssima para excelente.

No terceiro caso, além da associação do vídeo à classe de serviço RT-VR, e de não ter realizado um *handover* desnecessário, o protocolo MPLS reservou 1,5 Mbps (banda necessária para a transmissão do vídeo) para cada usuário RT-VR na parte cabeada da arquitetura. Desta forma, o vídeo obteve os seguintes valores de PSNR, SSIM e VQM respectivamente: 43,82; 0,969 e 0,543. Note que a qualidade obtida neste terceiro caso é ainda maior em relação ao caso anterior.

Para ilustrar os casos ocorridos, a Figura 9 mostra dois frames do vídeo recebidos por um usuário de média velocidade (neste caso de 8 m/s (28,8 km/h)). O frame superior representa o vídeo transmitido sem suporte a QoS/QoE, e o frame inferior representa o da arquitetura proposta. Ao compararmos os frames, percebemos que o frame superior está distorcido e apresentando uma péssima qualidade, já o frame inferior foi recebido corretamente e com uma excelente qualidade.



Vídeo sem a arquitetura proposta.



Vídeo com a arquitetura proposta.

Figura 9. Comparativo entre os vídeos recebidos com e sem à arquitetura proposta para um usuário de média velocidade.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este artigo apresenta uma proposta de mobilidade transparente com garantias de QoS e QoE para usuários em redes heterogêneas WiMAX/Wi-Fi integradas aos frameworks MIH, MIPv6 e MPLS. A solução apresentada usufrui das boas características de ambas as tecnologias para o processo de *handover*. Tal solução para decisão de *handover* vertical é baseada na velocidade do usuário, CoS, sistemas *fuzzy* otimizados através de um algoritmo genético e qualidade do enlace das redes Wi-Fi e WiMAX presentes. A eficácia da proposta apresentada foi analisada do ponto de vista da rede e do usuário, onde a qualidade do vídeo é assegurada durante todo seu tempo de transmissão.

Elucidamos também a necessidade não apenas de se considerar o acesso sem fio como, tradicionalmente tratado na literatura 4G, mas, também através de uma visão holística, considerar em conjunto, mecanismos para reserva de recursos na parte sem fio e cabeada da arquitetura e algoritmos para decisão de *handover* inteligentes. Nossa proposta tanto fornece meios para a realização de engenharia de tráfego, quanto inclui mobilidade ao MPLS integrando-o com o MIPv6 e com o MIH.

Para trabalhos futuros propõem-se a melhoria do algoritmo com adição de parâmetros e outros paradigmas de inteligência computacional que leve em consideração o padrão de mobilidade do usuário e as características do dispositivo usado (e.g., bateria, tamanho de tela). Além disso, pretende-se avaliar uma arquitetura integrada com outras tecnologias sem fio como, por exemplo, o LTE (*Long Term Evolution*).

6. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve suporte do CNPq: processos 475814/2008-8 (Universal Faixa A) e 309142/2008-3 (PQ-2).

7. REFERÊNCIAS

- [1] Soldani D., Li M., Cuny R. 2006. QoS and QoE management in UMTS cellular systems, Wiley.
- [2] Gustafsson, E., Jonsson, A. 2003. Always Best Connected, *IEEE Wireless Communications*, IEEE, Volume: 10, Issue: 1, 49-55.
- [3] IEEE 802.11. 2007. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications.
- [4] IEEE 802.16-2009. 2009. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems.
- [5] IEEE P802.21. 2009. Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services.
- [6] 3GPP 2009. DOI=<http://www.3gpp.org/>.
- [7] IETF RFC 3775. 2004. Mobility Support in IPv6, *Internet Engineering Task Force*, DOI=<http://datatracker.ietf.org/doc/rfc3775/>.
- [8] IETF RFC 3031. 2000. MultiProtocol Label Switching, *Internet Engineering Task Force*, DOI=<http://datatracker.ietf.org/doc/rfc3031/>.
- [9] IETF RFC 3209 2001. RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels, *Internet Engineering Task Force*, DOI=<http://datatracker.ietf.org/doc/rfc3209/>.
- [10] ns-2 2010 The Network Simulator DOI=<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [11] Kassar M., Kervella B., Pujolle G. 2008. An Overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks, *Computer Communications* 31, 2607-2620.
- [12] Xia L., Jiang L., and He C. 2007 A Novel Fuzzy Logic Vertical handoff Algorithm with Aid of Differential Prediction and Pre-Decision Method, *IEEE International Conference on Communications*, 5665-5670.
- [13] Nkansah-Gyekye Y., Agbinya I. J. 2007. A Vertical Handoff Decision Algorithm for Next Generation Wireless Networks, *IEEE Third International Conference on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications*, 358-364.
- [14] Hu K.W., Chen I.F., Chen Y.J., and Chen H.X. 2010. An Intelligent Resource Management Scheme for Heterogeneous Wi-Fi and WiMAX Multi-Hop Relay Networks, *Expert Systems with Applications*. Elsevier, 1134-1142.
- [15] Dalu S. S., Naskar M. K., Sarkar C. K. 2008, Implementation of a Topology Control Algorithm for MANETs Using Nomadic Community Mobility Model, *Industrial and Information Systems. ICIS 2008. IEEE Region 10 and the Third international Conference*, 1-5.
- [16] Qiang Z., Hongbo Z., An Optimized AODV Protocol in Mobile Ad Hoc Network, *IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing - WiCOM '08. 4th International Conference*, 1-4.
- [17] Shi Y., Eberhart R., Chen Y. 1999, Implementation of evolutionary Fuzzy systems, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, April, 109-119.
- [18] NIST. 2010. DOI=<http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/pubtool.shtml#tools>
- [19] Winkler S. 2005. Perceptual video quality metrics – a review, in *Digital Video Image Quality and Perceptual Coding*, eds. H. R. Wu, K. R. Rao, cha 5, CRC Press.
- [20] Wang Z., Lu L., Bovik A.C. 2004. Video quality assessment based on structural distortion measurement, *Signal Processing: Image Communication*, vol. 19, no. 2.
- [21] Xiao F. 2000. DCT-based Video Quality Evaluation MSU Video Quality Metric, DOI=http://compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf
- [22] YUF CIF. 2010. DOI=<http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/cif.html>.
- [23] Evalvid. 2010. <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>
- [24] Pontes A., Silva D., Junior J., Rodrigues O., Dias K. 2008. Handover management in integrated WLAN and mobile WiMAX networks, *IEEE Wireless Communications, Volume 15, Issue 5, October*, 86-95.