

Algoritmo de *Handover* Vertical Baseado em Função de Utilidade com Prevenção de Decisão Errada

Anderson S. F. da Silva¹, Sávio R. A. A. Silva¹,
Edilayne M. Salgueiro¹, Ricardo J. P. de B. Salgueiro¹

¹Departamento de Computação, Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão, Sergipe, Brasil 49100-000

{andersonsfs, savio.robertto}@gmail.com {edilayne, salgueiro}@uufs.br

Abstract. *The handover decision problem between heterogeneous wireless networks has gained great importance to ensure users a seamless connection and a quality service. This paper presents a decision algorithm which considers vertical handover QoS metrics in a utility function and a probabilistic assesment to avoid wrong handover decisions. Simulations were used to evaluate the algorithm. The simulated scenario adopted the network technologies Wi-Fi and WiMAX and mobile devices with multiple interfaces, performing VoIP calls. The results showed the effectiveness of the algorithm in terms of reducing the number of wrong handover decisions and improvements in quality of service.*

Resumo. *O problema da decisão de handover entre redes sem fio heterogêneas ganhou grande importância para garantir aos usuários uma conexão contínua e um serviço de qualidade. Este trabalho apresenta um algoritmo de decisão de handover vertical que considera métricas de QoS em uma função de utilidade e uma avaliação probabilística para evitar decisões de handover erradas. Para avaliar o algoritmo foram utilizadas simulações. O cenário simulado utilizou as redes das tecnologias Wi-Fi e WiMAX e dispositivos móveis com múltiplas interfaces, os quais estão realizando chamadas VoIP. Os resultados mostraram a efetividade do algoritmo em termos da diminuição do número de decisões de handover erradas e melhorias na qualidade do serviço.*

1. Introdução

Atualmente observa-se uma grande diversidade de tecnologias de redes sem fio. O Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, WiMAX e as redes celulares 2.5G/3G são exemplos de redes sem fio existentes. Vários dispositivos como *notebooks*, *tablets* e *smartphones* já vêm equipados com mais de uma interface de rede para suportar mais de um tipo de rede sem fio. Um dos objetivos das redes sem fio é liberar os seus usuários das limitações decorrentes das redes cabeadas, fornecendo-lhes o recurso da mobilidade. Usuários altamente móveis, isto é, que constantemente estão mudando de localização, possivelmente em altas velocidades, desejam estar sempre conectados a uma rede e manter suas aplicações funcionando enquanto eles estão se deslocando entre vários lugares [Silva et al. 2011].

Devido a esta mobilidade, muitas vezes o dispositivo móvel se desassocia de uma rede para conectar-se a outra. Esse fenômeno é conhecido como *handover* ou *handoff*. Existem duas modalidades de *handover*: horizontal e vertical. O *handover* horizontal

é aquele que envolve as mesmas tecnologias de rede, enquanto que o *handover* vertical abrange diferentes tecnologias. Uma das principais exigências no gerenciamento de *handover* vertical é fazer com que o *handover* seja realizado de forma imperceptível ao usuário [Kassar et al. 2008].

Em ambientes onde há diversas tecnologias de acesso surge o conceito *Always Best Connected* (ABC) [Gustafsson and Jonsson 2003], o qual se refere a um terminal móvel estar sempre conectado à melhor rede candidata, ou seja, a que melhor atenda às suas necessidades. Critérios como parâmetros de QoS (*Quality of Service* - Qualidade de Serviço), potência de sinal recebida, custo financeiro, consumo de energia e outros, poderão ser utilizados para manter essa política [Silva et al. 2012].

No entanto, o número de *handovers* verticais realizado é uma questão importante a ser considerada pelos algoritmos de decisão [Kim et al. 2007]. O efeito “*ping-pong*”, que ocorre quando o terminal móvel alterna repetidamente entre duas redes de acesso, pode afetar significativamente o terminal móvel no tempo de vida de sua bateria, bem como no nível de QoS experimentado por suas aplicações [Tamea et al. 2009].

Do ponto de vista das redes de acesso, a realização de vários *handovers* de forma desnecessária pode causar sobrecarga nas mesmas [Chien et al. 2008]. Essa sobrecarga afeta o desempenho das redes e ocorre devido a troca de mensagens necessárias para realização do *handover*, tais como, a troca de quadros para o estabelecimento de conexão na camada 2, de mensagens do protocolo *Mobile IP* (IP Móvel) para gerenciar a mobilidade na camada de rede, ou de mensagens do protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) que pode ser utilizado para manter as sessões das aplicações do terminal móvel durante o *handover*.

Este trabalho propõe um algoritmo de decisão de *handover* vertical que contempla métricas de QoS, tais como, atraso, *jitter* e perda de pacotes, combinadas em uma função de utilidade para pontuar as redes candidatas, e realiza uma avaliação probabilística de decisão errada de *handover*. O algoritmo proposto utiliza as funcionalidades oferecidas pelo padrão IEEE 802.21 [IEEE 802.21 2008] em um cenário composto pelas redes Wi-Fi e WiMAX, que oferecem o serviço VoIP, sendo este executado entre um nó correspondente e os nós móveis localizados nas redes sem fio.

A organização do restante do trabalho é descrita a seguir. A Seção 2 apresenta trabalhos relacionados existentes na literatura que abordam algoritmos de decisão de *handover* em redes heterogêneas. A Seção 3 apresenta o algoritmo de decisão aqui proposto, enquanto a Seção 4 realiza sua avaliação de desempenho. A Seção 5 conclui este trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Uma variedade de trabalhos na literatura tratam a questão da decisão de *handover*. Em [Chi et al. 2007] e em [Cai and Chi 2007] foi proposto um algoritmo de *handover* vertical baseado na Probabilidade de Decisão Errada (*Wrong Decision Probability* - WDP) para evitar o efeito *ping-pong*. O algoritmo considera a largura de banda disponível e probabilidade de decisão errada como critérios para a tomada de decisão. A WDP é baseada na variação da largura de banda disponível para os terminais móveis. A análise de desempenho é realizada através de modelagem analítica, onde são utilizadas duas redes candidatas de mesma capacidade e a WDP também é utilizada como métrica para avaliar algoritmo proposto.

A técnica proposta em [Tamea et al. 2009] lida com a medição da probabilidade de decisão errada, para garantir uma relação custo-benefício entre a maximização do desempenho da rede e a mitigação do efeito *ping-pong*. O trabalho referido considera que terminal móvel está se movendo em uma área onde há cobertura de duas tecnologias de redes sem fio. O *goodput* do terminal móvel, especificamente, o *goodput* em nível de aplicação, é considerado como critério de decisão, o algoritmo proposto seleciona a rede com maior nível de *goodput* a qualquer momento. Para avaliar o desempenho do algoritmo proposto foram realizadas simulações com redes de mesma capacidade em termos de *goodput*. O número de *handovers* realizados e os *bits* cumulativos recebidos pelos nós móveis foram utilizados como métricas de desempenho do algoritmo.

Em [Baroudi and Al-Nasser 2011] foi proposto um algoritmo de *handover* que tem como critério a potência de sinal e a largura de banda disponível de três redes de acesso. O algoritmo seleciona a rede que apresenta melhor qualidade de sinal e maior largura de banda disponível. Foram utilizadas simulações para avaliar o algoritmo proposto. A probabilidade de decisão errada de *errada* foi utilizada na avaliação de desempenho do algoritmo.

O algoritmo proposto em [Akhila et al. 2011] considera a probabilidade de decisão errada de *handover* baseada na largura de banda disponível de três redes de mesma capacidade. O algoritmo realiza sua decisão analisando a largura de banda disponível da rede à qual o nó móvel está conectado e de duas redes candidatas. Se a largura de banda disponível de uma das redes candidatas for maior que a da rede atual, com uma diferença pré-definida, então o nó móvel muda para esta rede. Se as duas redes candidatas atenderem a esta condição, a WDP é utilizada como critério de desempate entre elas, a rede que apresentar a WDP menor em 50% com relação a outra é selecionada. Para a avaliação de desempenho foram utilizados modelos analíticos e simulações. A WDP também é utilizada como medida de desempenho neste trabalho.

Dentre as soluções apresentadas, as que avaliam a probabilidade de decisão errada de *handover* consideram somente um parâmetro de QoS em sua avaliação, como largura de banda [Chi et al. 2007] e *goodput* em [Tamea et al. 2009]. Este trabalho propõe um algoritmo de *handover* vertical baseado na probabilidade de decisão errada, considerando o atraso, perda de pacote e *jitter* das redes candidatas, combinados em uma função de utilidade.

3. Algoritmo Proposto

Considere situações onde um nó móvel (*NM*) possa realizar *handover* vertical entre duas redes candidatas *A* e *B*. Considere ainda que a área de cobertura da rede *B* é maior e sobrepõe completamente a área da rede *A*. Esta situação representa casos comuns em que pelo menos uma conexão é oferecida ao terminal móvel. Eventualmente migrar para rede menor pode oferecer vantagens, por ela apresentar largura de banda maior, melhor QoS ou custo financeiro reduzido.

O algoritmo de *handover* proposto neste trabalho utiliza como critérios de decisão: potência de sinal recebida (*Received Signal Strength* - *RSS*), atraso, taxa de perda de pacotes e *jitter*. Para a tomada de decisão o algoritmo divide o processo de *handover* em duas fases: Avaliação de *RSS* e Avaliação de *QoS*. A descrição do algoritmo é dada pelo Algoritmo 1.

Algoritmo 1: Algoritmo de decisão de *handover*

Entrada: P_{Lim} , α , Redes A e B

```

1 início
2 enquanto verdade faça
3     enquanto existir sinal de qualidade para a rede A faça
4         se são obtidas medições de QoS das redes A e B então
5             calcular  $\langle \Delta F \rangle$  ;
6             se o NM está na rede B e  $\langle \Delta F \rangle < 0$  e  $WDP < P_{Lim}$  então
7                 realizar handover para a rede A;
8             fim se
9             se o NM está na rede A e  $\langle \Delta F \rangle > 0$  e  $WDP < P_{Lim}$  então
10                realizar handover para a rede B;
11            fim se
12        fim se
13    fim enqto
14    se o NM está conectado a rede A então
15        realizar handover para rede B;
16    fim se
17 fim enqto
18 fim

```

A avaliação de RSS consiste em verificar se o valor de RSS da *rede A* atingiu um nível mínimo de potência para receber pacotes sem erro. Quando esta condição é verdadeira o algoritmo passa para a fase de avaliação de QoS. Se não, o algoritmo permanece na mesma fase. Esta fase define um estágio de pré-decisão, onde o terminal móvel avalia a viabilidade de realizar um *handover* para a *rede A*. No algoritmo é considerado que o sinal da *rede B* está sempre disponível e com qualidade razoável, por esse motivo avalia somente o RSS da rede A que irá variar de acordo com a movimentação do nó móvel.

Na fase de Avaliação de QoS, o terminal móvel coleta medições de atraso, taxa de perda de pacotes e *jitter* de ambas as redes. Para avaliar a qualidade das redes candidatas é definida uma função de utilidade, conforme a Equação (1):

$$F_n = W_A \cdot N(P_{n,A}) + W_P \cdot N(P_{n,P}) + W_J \cdot N(P_{n,J}) \quad (1)$$

De modo que, $P_{n,A}$, $P_{n,P}$ e $P_{n,J}$ são os valores das medições de atraso, perda de pacotes e *jitter* da rede n , e W_A , W_P e W_J são os pesos atribuídos a cada métrica de acordo com a sua importância, respectivamente. Os valores das medições de QoS das redes candidatas são normalizadas, o que está representado na equação pela função $N(\cdot)$. O algoritmo considera que quanto maior o valor da função de utilidade de uma rede, pior é a qualidade de serviço apresentada por ela, já que para todas as métricas utilizadas, quanto maior o valor apresentado, maior será o impacto negativo para o usuário que está utilizando a rede. Em outras palavras, a rede que apresenta o valor mais alto da função definida pela Equação (1) apresenta menor utilidade para usuário já que ela não atende da melhor forma as suas necessidades.

Para a obtenção dos pesos das métricas utilizadas na Equação (1), o algoritmo utiliza método AHP (*Analytic Hierarchy Process*)[Saaty 1994]. O AHP define uma hierarquia entre os critérios e as alternativas oferecidas para tomada de decisão. A hierarquia utilizada neste trabalho é mostrada na Figura 1. O objetivo principal está no topo da hierarquia e consiste em selecionar a rede que ofereça a melhor qualidade de serviço para as aplicações utilizadas no nó móvel. Os critérios utilizados pelo algoritmo são mostrados no segundo nível da hierarquia. Na base são exibidas as opções de escolha, as redes *A* e *B*. A partir da comparação par a par dos critérios utilizados na matriz de comparação do método AHP, é possível obter os pesos de cada critério pelo cálculo do autovetor principal desta matriz.

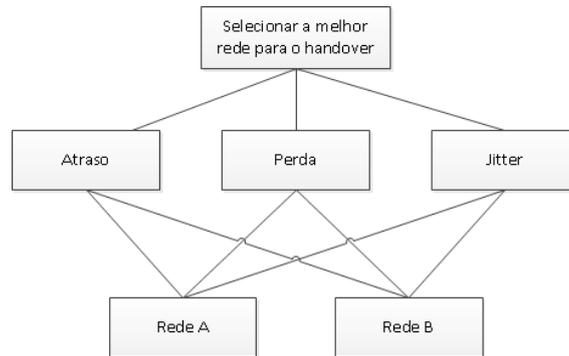


Figura 1. Hierarquia AHP utilizada pelo algoritmo

Periodicamente são efetuadas medições dos parâmetros de QoS, em um intervalo de tempo Δt , e calculados os valores de F_n para ambas as redes. Seja k uma variável discreta que representa os instantes em que ocorrem as medições, onde os instantes consecutivos k e $k + 1$ ocorrem exatamente a cada Δt segundos. Conseqüentemente, a cada k estará disponível um novo cálculo de F_n para as redes *A* e *B*. De forma semelhante ao trabalho [Tamea et al. 2009], que define um processo estocástico para a avaliação das medições de *goodput*, aqui é definido um *processo estocástico* Δ para a função de utilidade F , dada pela Equação (2):

$$\Delta F[k] = F_A[k] - F_B[k] \quad (2)$$

De modo que, $F_A[k]$ e $F_B[k]$ são os valores da função de utilidade F_n para as redes *A* e *B*, obtidas a cada instante k respectivamente.

Um esquema simples de decisão de *handover* poderia ser feito da seguinte maneira: quando a variável $\Delta F[k]$ é negativa, a rede *A* deve ser selecionada pelo algoritmo de *handover*, já que ela possui menor valor da função de utilidade do que o valor para a rede *B*, caso contrário ($\Delta F[k] > 0$) a rede *B* é selecionada. Essa solução remete aos mesmo problemas de instabilidade nas medições de $\Delta F[k]$, relatadas em [Tamea et al. 2009]:

1. Rápidas mudanças de sinal da sequência $\Delta F[k]$, quando a carga em ambas as redes provocam situações onde $F_A[k] \approx F_B[k]$;
2. Baixa acurácia na medição de amostras de $\Delta F[k]$.

Esses problemas podem causar um efeito indesejado de ficar alternando constantemente entre as duas redes desnecessariamente. Tal efeito é causado por decisões erradas

de *handover*, que são decisões tomadas em um instante k a favor de uma determinada rede e no instante posterior, $k + 1$, percebe-se que é mais vantajoso ir para a outra rede candidata. A sucessão desses eventos causa o efeito *ping-pong*.

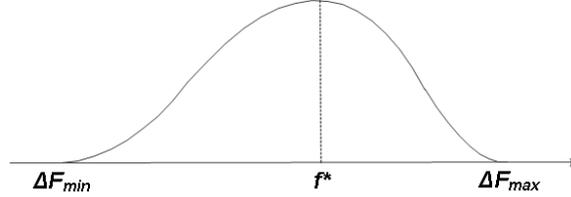


Figura 2. Função de densidade de probabilidade condicional de ΔF

Para tratar do primeiro problema é utilizada uma função de densidade de probabilidade condicional de $\Delta F[k + 1]$ dado $\Delta F[k]$, conforme a Figura 2, onde f^* é valor de ΔF no instante k . Este valor é o máximo da função, pois há uma probabilidade maior de que o valor de ΔF no instante $k + 1$ seja próximo de f^* e, conseqüentemente, o valor da função decresce a medida em que os valores se distanciam de f^* . Vale observar que, não há algum conhecimento prévio acerca do comportamento das funções F_A e F_B que dependem das medições de QoS das redes.

Por princípio de simplicidade, é assumida uma aproximação linear da função de densidade de probabilidade condicional, o que resulta na forma triangular da Figura 3.

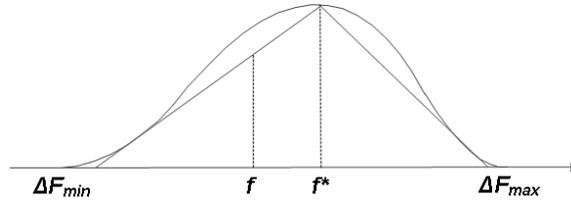


Figura 3. Aproximação linear da função de densidade de probabilidade condicional de ΔF

É possível calcular a probabilidade condicional de $\Delta F[k + 1] = f$, dado $\Delta F[k] = f^*$, pela semelhança entre os triângulos observados na Figura 3 e pela área total da função de densidade de probabilidade que deve ser igual a 1, o que resulta na função da Equação (3):

$$p(\Delta F[k+1] = f | \Delta F[k] = f^*) = \begin{cases} \frac{2(f - \Delta F_{min})}{(\Delta F_{max} - \Delta F_{min})(f^* - \Delta F_{min})}, & \text{se } \Delta F_{min} < f < f^*, \\ \frac{2(\Delta F_{max} - f)}{(\Delta F_{max} - \Delta F_{min})(\Delta F_{max} - f^*)}, & \text{se } f^* < f < \Delta F_{max}. \end{cases} \quad (3)$$

Uma decisão errada é tomada quando esta se baseia no sinal atual da função ΔF para realizar o *handover* e no instante posterior ΔF muda de sinal. A probabilidade de $\Delta F[k + 1]$ ser menor que zero, dado que $\Delta F[k] = f^*$ e $f^* \geq 0$ é dada pela área destacada da Figura 4 e corresponde à probabilidade de decisão errada para este caso.

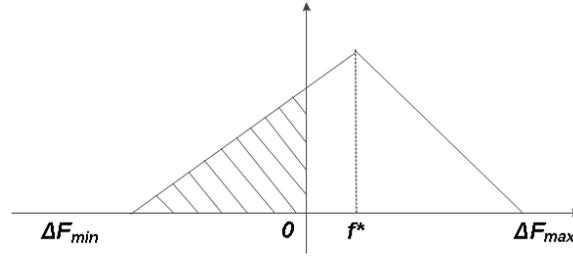


Figura 4. Probabilidade de decisão errada para o caso $f^* > 0$

Essa área pode ser calculada integrando a Equação (3) no intervalo $\Delta F_{min} \leq f \leq 0$, o que resulta em:

$$p(\Delta F[k+1] < 0 | \Delta F[k] = f^*) = \frac{\Delta F_{min}^2}{(\Delta F_{max} - \Delta F_{min})(f^* - \Delta F_{min})} \quad (4)$$

Semelhantemente, a probabilidade de que $\Delta F[k+1]$ é maior que zero, dado que $\Delta F[k] = f^*$ e $f^* \leq 0$, é calculada integrando a Equação (3) no intervalo $0 \leq f \leq \Delta F_{max}$:

$$p(\Delta F[k+1] > 0 | \Delta F[k] = f^*) = \frac{\Delta F_{max}^2}{(\Delta F_{max} - \Delta F_{min})(\Delta F_{max} - f^*)} \quad (5)$$

A probabilidade de decisão errada (*Wrong Decision Probability - WDP*) é dada pelas equações (4) e (5) como segue:

$$WDP = \begin{cases} \frac{\Delta F_{min}^2}{(\Delta F_{max} - \Delta F_{min})(f^* - \Delta F_{min})}, & \text{se } f^* > 0, \\ \frac{\Delta F_{max}^2}{(\Delta F_{max} - \Delta F_{min})(\Delta F_{max} - f^*)}, & \text{se } f^* < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Para prevenir a baixa precisão das medições de $\Delta F[k]$, é aplicada uma suavização exponencial de primeira ordem na sequência $\Delta F[k]$, obtida como:

$$\langle \Delta F[k] \rangle = \alpha \cdot \Delta F[k] + (1 - \alpha) \cdot \langle \Delta F[k-1] \rangle, \quad (7)$$

$\langle \Delta F[k] \rangle$ é usado nas Equações (4) e (5) no lugar de $\Delta F[k]$ para obter uma medição mais precisa para calcular a probabilidade de decisão errada. O parâmetro α está no intervalo $[0, 1]$.

A probabilidade de decisão errada é utilizada como critério de decisão ao se estabelecer um valor de limite superior para ela (P_{Lim}). O algoritmo realiza *handover* somente quando o valor da WDP for inferior ao valor limite. Com essa medida evita-se a realização de decisões de *handover* erradas, já que o algoritmo toma a decisão pelo *handover* somente quando a probabilidade de decisão errada for baixa, tomando como parâmetro o P_{Lim} .

A qualquer momento pode ser detectada a queda, ou a proximidade de queda, nos valores de RSS da *rede A* para um valor abaixo do exigido para manter o terminal móvel conectado. Quando isto ocorre, o algoritmo retorna a fase de avaliação de RSS, e se o terminal móvel estiver na *rede A*, ele realizará um *handover* para a *rede B* para evitar a perda de pacotes.

A complexidade computacional do algoritmo é $O(1)$, já que a tomada de decisão é efetuada nas linhas 4-12 e 14-15, e nas instruções restantes são aguardadas as medições de QoS ou de RSS, que são fornecidas pelas redes *A* e *B*, ou monitoradas pelo nó móvel, respectivamente.

4. Avaliação de Desempenho para o Algoritmo Proposto

Esta seção apresenta o cenário de simulação utilizado para avaliar o desempenho do algoritmo proposto, bem como as métricas utilizadas e os resultados da simulação.

4.1. Cenário de Simulação

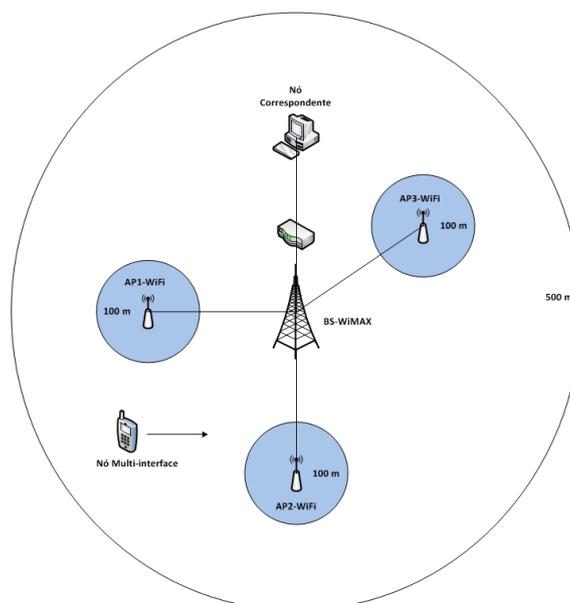


Figura 5. Topologia das redes simuladas

Para realizar a avaliação de desempenho do algoritmo proposto, foram consideradas as tecnologias Wi-Fi e WiMAX como redes candidatas. Foi utilizada uma topologia de rede que consiste em três pontos de acesso Wi-Fi (AP1, AP2 e AP3), uma estação base WiMAX (BS) e um nó correspondente (CN) conectados a um roteador via enlaces cabeados *Ethernet* de 1 Gbps, como representado na Figura 5. A área de cobertura das redes WiMAX e Wi-Fi são de 500 e 100 metros, respectivamente. Os nós móveis possuem interfaces de rede Wi-Fi e WiMAX, podem estar conectados a um dos APs ou à BS e estabelecem chamadas VoIP (*Voice over IP*) com o nó correspondente. Os principais parâmetros de configuração utilizados para a simulação estão descritos na Tabela 1.

Foram utilizados 50 nós móveis que descrevem movimentos retilíneos uniformes a uma velocidade de 50 Km/h, conforme a Figura 6. As trajetórias foram definidas aleatoriamente a cada replicação das simulações, com a condição de que passassem pelo menos uma região coberta por um dos APs. Os nós móveis iniciam as suas movimentações

Tabela 1. Parâmetros de simulação

Parâmetro	Valor
Número dos nós móveis	50
Número de replicações	10
Movimentação dos nós móveis	Movimentos retilíneos a 50 Km/h
Tráfego	Exponencial ON/OFF, com taxa de bits de 26,4 Kbps
Enlaces cabeados	1 Gbps
Cobertura WiMAX	500 m
Cobertura Wi-fi	100 m
α	0,1; 0,5; 0,9; 1,0
P_{Lim}	de 0,25 a 0,5 com incrementos de 0,01

na área de cobertura da rede WiMAX e realizam a sua primeira conexão com esta rede, para poder começar a transmitir o tráfego VoIP. A medida que nós vão se movimentando, eles interceptam a área de cobertura da rede Wi-Fi e, conseqüentemente, detectam o seu sinal.

Neste momento, o nó móvel solicita as medições dos parâmetros de QoS utilizados na função de utilidade descrita na Seção 3 e começa avaliar as redes para tomar suas decisões de *handover*. As medições são realizadas nos pontos de acesso Wi-Fi e nas estações base WiMAX e são enviadas aos nós móveis por meio do protocolo de comunicação definido pelo padrão IEEE 802.21. Dos 50 nós utilizados na simulação, 10 utilizam um algoritmo de decisão que considera somente a potência de sinal como critério e que dá maior prioridade para rede Wi-Fi. Esta medida foi tomada para gerar uma carga inicial na rede Wi-Fi afim de obter medições de QoS dela, para que o algoritmo possa comparar as das duas redes.

Serviços VoIP foram utilizados no cenário em estudo para representar a necessidade de manutenção de chamada durante o *handover* vertical. Para tal, chamadas VoIP foram simuladas utilizando um tráfego exponencial do tipo ON/OFF, onde durante os períodos inativos nenhum quadro é enviado. Esse tráfego gerado corresponde ao tráfego VoIP sem supressão de silêncio. Durante os períodos ativos, os tamanhos de quadro são de 66 bytes, enviados a cada 20 milissegundos. Isso resulta numa taxa de 26,4 Kbps, adequada para chamadas VoIP de boa qualidade. As chamadas VoIP são realizadas entre o nó correspondente e os nós móveis conectados a uma das redes sem fio.

Para definir os pesos de cada parâmetro de QoS da Equação (1) foi utilizada a matriz de comparação par a par do método AHP exibida na Tabela 2. O valores da tabela foram atribuídos considerando a importância relativa de cada critério em relação aos demais para o uso da aplicação VoIP. Com o cálculo do principal auto-vetor desta matriz são obtidos os pesos para cada critério de decisão considerado que são mostrados na

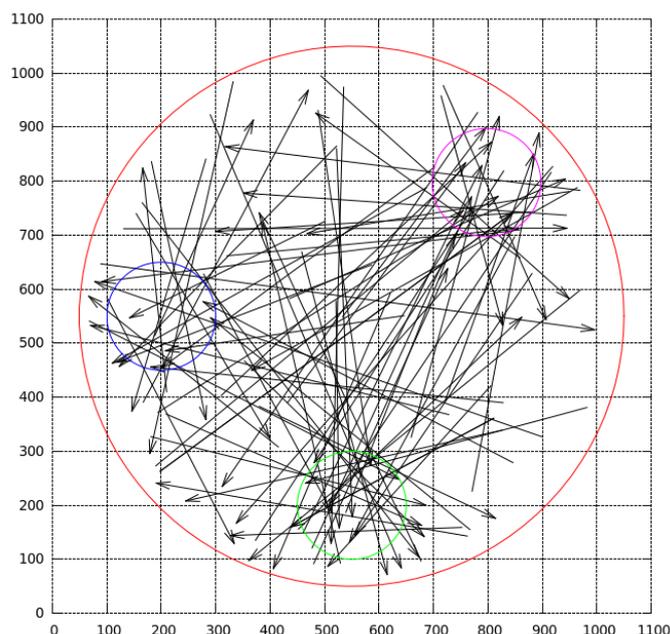


Figura 6. Trajetórias do nós móveis

Tabela 3. A taxa de consistência (*Consistency Ratio - CR*), taxa utilizada para medir a consistência dos julgamentos de priorizações entre os critérios, obtida foi de 6,4%. Segundo [Saaty 1994] o valor da taxa de consistência deve estar abaixo de 10% para que a priorização entre os critérios seja considerada consistente.

Tabela 2. Pesos Atribuídos aos Parâmetros de QoS

Critério	Atraso	Perda	Jitter
Atraso	1	7	2
Perda	1/7	1	1/7
Jitter	1/2	7	1

Tabela 3. Pesos Atribuídos aos Parâmetros de QoS

Parâmetro	Peso
Atraso	0,570575
Perda de pacotes	0,066359
<i>Jitter</i>	0,363065

No projeto de experimentos, foram considerados como fatores os seguintes valores de α da Equação (7) para a análise de desempenho do algoritmo: 0,1; 0,5; 0,9 e 1,0 e os valores limites de probabilidade de decisão errada (P_{Lim}) variaram entre 0,25 e 5,0, com incrementos de 0,01. Os valores de P_{Lim} foram escolhidos no intervalo [0,25; 5,0], porque o mesmo corresponde ao intervalo de valores que a função de probabilidade de decisão errada, definida pela Equação (6), pode ter como resultado. Afim de garantir um nível de confiança de 95% para o experimento, foram realizadas 10 replicações para cada valor de P_{Lim} , que combinadas com os quatro valores de α e os valores de P_{Lim} , resultaram 1040 experimentos.

Para realização dos experimentos foi utilizado o simulador de redes NS-2 (*Network Simulator*) com a implementação do padrão IEEE 802.21 do NIST (*National Institute of Standards and Technologies*) [NIST 2007]. Esta implementação apresenta as principais funcionalidades do IEEE 802.21, como os serviços de eventos e de comandos, além da implementação da tecnologia WiMAX, do MIPv6 (*Mobile IP versão 6*), de um serviço de descoberta de rede e de nós com múltiplas interfaces, recurso não suportado pelo NS-2 padrão.

O algoritmo proposto utiliza as funcionalidades do padrão IEEE 802.21 implementadas pelo NIST no NS-2 para obter as medições de QoS e de RSS das redes Wi-Fi e WiMAX. Isto é feito através dos eventos *MIH_Link_Parameters_Report*, *MIH_Link_Detected*, *MIH_Link_UP*, *MIH_Link_Going_Down* e *MIH_Link_Down* definidos pelo padrão IEEE 802.11. Com o auxílio das medições periódicas, o algoritmo obtém informações sobre as condições de serviço das redes candidatas e assim toma decisões de *handover*. O intervalo de tempo entre as medições é de 1 segundo.

Para a análise de desempenho foram consideradas as seguintes métricas: o número de *handovers* executados, o número de decisões erradas de *handover*, a taxa de decisões erradas de *handover*. A taxa de decisões erradas de *handover* corresponde à razão entre o número de decisões erradas e o número total de decisões de *handover*. Essa métrica nos dá uma estimativa do quanto o algoritmo evita a tomada de decisões erradas, consequentemente evitando assim o efeito *ping-pong*.

4.2. Resultados

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam o número de *handovers* executados, o número de decisões erradas de *handover* e a taxa de decisão errada de *handover*, respectivamente, em função dos valores de P_{Lim} para o cenário definido pelas redes Wi-Fi e WiMAX, e uso da aplicação VoIP.

A Figura 7 mostra o número médio de *handovers* verticais que os nós móveis executam durante o seu trajeto em função dos valores de P_{Lim} e de α , dados como entrada pelo algoritmo de decisão. O gráfico mostra que quanto menor for o valor de P_{Lim} menos *handovers* são realizados, o que torna o algoritmo mais conservador na tomada de decisão. Similarmente, a medida em que são utilizados valores menores de α o número de *handovers* também diminui.

A Figura 8 exibe o número médio de decisões erradas de *handover* em função dos valores de P_{Lim} e de α . Pela figura é possível perceber que o número de decisões erradas de *handover* aumenta com os valores de P_{Lim} . Isto ocorre porque o algoritmo se torna menos rigoroso na avaliação a cada acréscimo em P_{Lim} , pois para que um *handover* seja realizado é necessário que a probabilidade de decisão errada seja inferior ao P_{Lim} estipulado. Semelhantemente, para valores maiores de α o algoritmo de decisão perde a acurácia, pois efetua um número maior de decisões de *handover* erradas.

A Figura 9 exibe a taxa de decisões erradas de *handover* em função dos valores de P_{Lim} e α . O gráfico mostra a relação entre o número de decisões erradas de *handover* efetuadas por todos os nós móveis e o número total de decisões. De forma semelhante aos gráficos anteriores, é possível perceber o ganho obtido ao serem selecionados valores mais baixos de P_{Lim} e α .

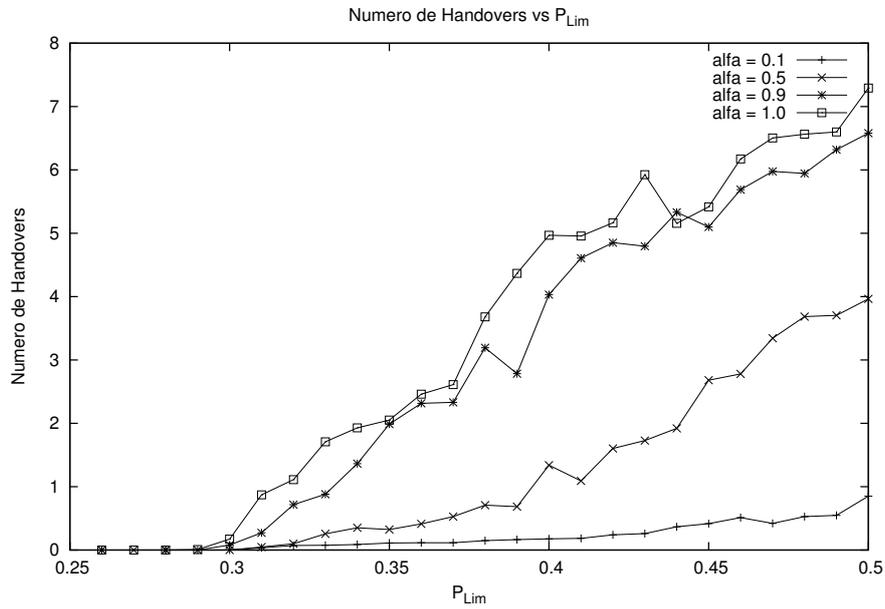


Figura 7. Número médio de *handovers* realizados

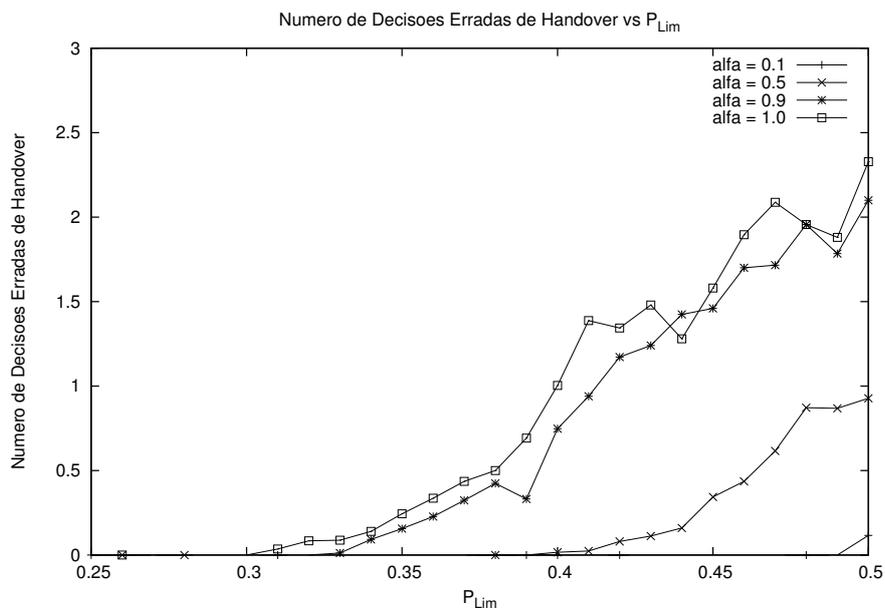


Figura 8. Número médio de decisões erradas de *handover*

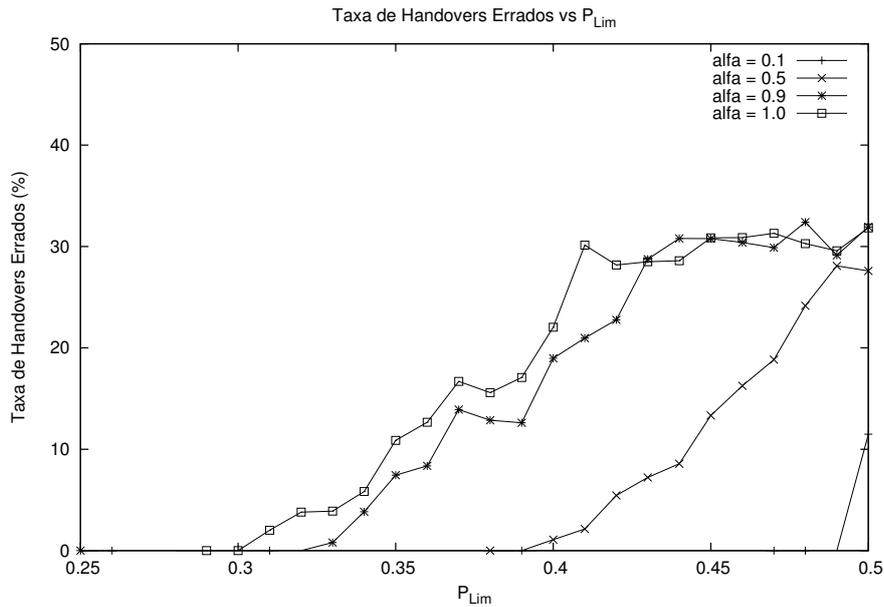


Figura 9. Taxa de *handovers* errados

Com os resultados obtidos, pode-se constatar que com valores apropriados de P_{Lim} e α o algoritmo reduz o número de decisões erradas efetuadas pelo nó móvel, reduzindo assim o efeito “ping-pong”, o que melhora o desempenho experimentado pelo dispositivo móvel.

5. Conclusão

Com a imensa quantidade de redes sem fio disponibilizadas para um dado usuário em um mesmo ambiente, se faz necessário a utilização de métodos que otimizem o processo de decisão de handover vertical em redes sem fio heterogêneas. Critérios como qualidade de serviço, consumo de energia, custo monetário, aplicações suportadas, preferências do usuário, são de suma importância nesse processo de decisão.

Este trabalho propôs um algoritmo de decisão de *handover* baseado em função de utilidade que considera os seguintes critérios de decisão de *handover*: RSS, atraso, perda de pacotes e *jitter* e que utiliza uma abordagem probabilística para evitar o efeito *ping-pong*. Na análise de desempenho foram consideradas as redes candidatas do tipo Wi-Fi e WiMAX. O objetivo principal do algoritmo é maximizar a qualidade de serviço, bem como reduzir o número de decisões erradas de *handovers*.

O algoritmo utilizou a definição de um processo estocástico ΔF da função de custo para monitorar as redes candidatas a fim de observar aquela que oferece melhor qualidade de serviço. Também foi utilizado uma suavização exponencial de primeira ordem sobre a série temporal de ΔF para reduzir o impacto de imprecisões das medições efetuadas. Os resultados obtidos mostraram a redução de decisões erradas de *handover* em função dos valores de α e do valor de P_{Lim} , utilizados como entrada do algoritmo. Com esta redução o efeito “ping-pong” é mitigado, o que resulta na melhoria do desempenho do terminal móvel e na redução de sobrecarga desnecessária nas redes de acesso e de infra-estrutura.

Referências

- Akhila, S. et al. (2011). Reduction of wrong decisions for vertical handoff in heterogeneous wireless networks. *International Journal of Computer Applications*, 34(2):1–5.
- Baroudi, U. and Al-Nasser, F. (2011). Performance evaluation study on a multiple-parameter handoff algorithm. In *Information Networking (ICOIN), 2011 International Conference on*, pages 273–277. IEEE.
- Cai, X. and Chi, C. (2007). An analytical model for performance evaluation of handover decision algorithms. In *Communications and Networking in China, 2007. CHINA-COM'07. Second International Conference on*, pages 1079–1083. IEEE.
- Chi, C., Cai, X., Hao, R., and Liu, F. (2007). Modeling and analysis of handover algorithms. In *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM'07. IEEE*, pages 4473–4477. IEEE.
- Chien, S., Liu, H., Low, A., Maciocco, C., and Ho, Y. (2008). Smart predictive trigger for effective handover in wireless networks. In *Communications, 2008. ICC'08. IEEE International Conference on*, pages 2175–2181. IEEE.
- Gustafsson, E. and Jonsson, A. (2003). Always best connected. *IEEE Wireless Communications*, 10(1):49–55.
- IEEE 802.21 (2008). IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 21: Media Independent Handover Services. *IEEE Std. 802.21-2008*.
- Kassar, M., Kervella, B., and Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*.
- Kim, W., Lee, B., Song, J., Shin, Y., and Kim, Y. (2007). Ping-pong avoidance algorithm for vertical handover in wireless overlay networks. In *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, pages 1509–1512. IEEE.
- NIST (2007). The Network Simulator NS-2 NIST add-on IEEE 802.21 model (based on IEEE P802.21/D03.00). *National Institute of Standards and Technology*. url: http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/upload/MIH_module.pdf.
- Saaty, T. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6):19–43.
- Silva, A., Aragão, S., Salgueiro, R., and Salgueiro, E. (2012). Avaliação de Desempenho de Aplicações de Voz submetidas a Handover entre Redes Wi-Fi e WiMAX. *Revistas de Sistemas e Computação 2012. (trabalho aceito)*, 2.
- Silva, A., Salgueiro, R., and Salgueiro, E. (2011). Framework de testes para algoritmos de handover vertical em rede heterogêneas. In *Memoria Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones, COMTEL 2011*, volume 3, pages 111–113.
- Tamea, G., Vegni, A., Inzerilli, T., and Cusani, R. (2009). A probability based vertical handover approach to prevent ping-pong effect. In *Wireless Communication Systems, 2009. ISWCS 2009. 6th International Symposium on*, pages 181–185. IEEE.