

Handover Ciente de Qualidade de Experiência e Qualidade de Serviço para Transmissão de Vídeo em Redes Heterogêneas

Iago Medeiros¹, Lucas Pacheco¹, Denis Rosário¹, Cristiano Both³,
Jéferson Nobre², Eduardo Cerqueira¹, Lisandro Granville⁴

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA – Brasil

² Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS – Brasil

³ Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA),
Porto Alegre, RS – Brasil

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS – Brasil

{iago.medeiros, lucas.pacheco}@itec.ufpa.br, denis@ufpa.br

cbboth@ufcspa.edu.br, jcnobre@unisinos.br, cerqueira@ufpa.br

granville@inf.ufrgs.br

Abstract. *Heterogeneous networks offer a wide range of multimedia services ranging from safety and traffic warnings to entertainment and advertising videos. In this context, users can access content through the communication between their devices with different wireless networks, such as, LTE and Wi-Fi. However, real-time video streaming at a heterogeneous network with Quality of Experience (QoE) is a challenging task, due to the great diversity of both mobile nodes and radio base stations of a heterogeneous network. To mitigate such factors, this paper presents a handover algorithm that considers QoE, Quality of Service (QoS) and channel quality in heterogeneous networks, known as handover aware of Quality of Service, Experience and Radio (SER). The proposed algorithm considers the Analytic Hierarchy Process (AHP) to adjust the degree of importance of each criteria in choosing the appropriate radio base station that the mobile node must connect to, allowing a more efficient handover decision for video transmission with QoE support. Simulation results show that SER handover delivered videos with QoE 15 % better compared to the algorithms found in the literature.*

Resumo. *As redes heterogêneas oferecem uma ampla gama de serviços multimídia que vão desde segurança e avisos de tráfego até vídeos de entretenimento e publicidade. Nesse contexto, os usuários podem ter acesso ao conteúdo por meio da comunicação entre seus dispositivos com diferentes redes sem fio, tais como LTE e Wi-Fi. Contudo, a transmissão de vídeo em tempo real em uma rede heterogênea com Qualidade de Experiência (QoE) é uma tarefa desafiadora, devido a grande diversidade tanto de nós móveis quanto de estações rádio base de uma rede heterogênea. Para mitigar tais fatores, este artigo apresenta um algoritmo de handover que considera QoE, Qualidade de Serviço (QoS) e qualidade do canal em redes heterogêneas, chamado de handover ciente de Qualidade de Serviço, Experiência e Rádio (SER). O algoritmo proposto considera o Analytic Hierarchy Process (AHP) para ajustar o grau de*

importância de cada critério na escolha da estação rádio base apropriada que o nó móvel deve se conectar, permitindo uma decisão de handover mais eficiente para transmissão de vídeo com suporte a QoE. Resultados de simulação constatam que o handover SER entregou vídeos com QoE 15% melhor comparado aos algoritmos encontrados na literatura.

1. Introdução

Em 2016, a transmissão de vídeo representava cerca de 73% do tráfego da Internet [Cisco 2017], especialmente em redes sem fio. Estima-se que esse percentual até 2021 supere os 82%. Esse tráfego é gerado pelos usuários móveis que utilizam novas aplicações de vídeos, que vão desde avisos de segurança até vídeos de entretenimento ao vivo [Zheng et al. 2015]. Esse aumento do tráfego de vídeo deve-se ao fato de que os usuários produzem, compartilham e consomem serviços de vídeo em tempo real conectados a uma infraestrutura de rede (célula), enquanto se locomovem a pé, em seus veículos ou em transporte de massa [Amadeo et al. 2016]. Essa infraestrutura pode ser composta por redes heterogêneas amplamente utilizada nos ambientes urbanos, permitindo uma maior capacidade de transmissão em uma grande área de cobertura [Zheng et al. 2016].

As células podem ter alcance e características diferentes (e.g., *small cell*, *pico-cell*) para aumentar a taxa de transmissão dos usuários e diminuir o tráfego nas *macro-cells* [Tartarini et al. 2018]. Diferentes áreas de cobertura podem gerar *handovers* verticais (envolvendo diferentes tecnologias) e horizontais (envolvendo tecnologias iguais) para garantir os requisitos das aplicações de vídeo, tais como baixa taxa de perda de pacotes e atraso [Ghosh et al. 2015]. Por exemplo, um usuário locomovendo-se em um veículo pode viajar por várias áreas geográficas diferentes em um curto intervalo de tempo, forçando-o a realizar frequentes *handovers* para manter a conectividade com o serviço de vídeo [Zheng et al. 2015]. Desta forma, o *handover* deve acontecer sem que o usuário perceba a diminuição de Qualidade de Experiência (QoE), *i.e.*, um vídeo sem efeitos fantasma, *pixelization* ou congelamento da tela, independentemente das condições e características da rede e da mobilidade dos usuários [Liotou et al. 2015].

Algoritmos tradicionais de *handover* consideram apenas a potência de sinal recebida pelo dispositivo, ou no máximo consideram métricas de Qualidade de Serviço (QoS) para a tomada de decisão em realizar *handover*. Apesar da potência do sinal ser uma métrica prevalente, considerá-la juntamente com métricas de QoS não é uma abordagem suficiente para prover *handover* eficiente, especialmente durante uma transmissão de vídeo [Ahmed et al. 2014]. Aspectos subjetivos do conteúdo de vídeo em relação à percepção e satisfação do usuário devem ser considerados na decisão de realizar ou não um *handover* [Zheng et al. 2015]. Desta forma, existe a necessidade de selecionar métricas de QoE capazes de auxiliar na decisão de *handover*, garantindo os requisitos de serviço de vídeo prestado para o usuário e melhorando o desempenho global da rede. Uma abordagem ciente de QoE traz benefícios não só ao usuário, mas também a todas as entidades da rede envolvidas no fornecimento de serviços de vídeo [Liotou et al. 2015].

Este artigo apresenta o algoritmo de *handover* SER (Serviço, Experiência e Rádio) que é ciente de múltiplos critérios de decisão (*Multiple Criteria Decision Making* - MCDM) para entregar serviço de vídeo em redes heterogêneas com suporte a QoE. SER é um algoritmo de decisão baseado na técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

[Saaty 2000] que decompõe um problema complexo em uma hierarquia de subproblemas mais simples. O AHP combina fatores qualitativos e quantitativos para a análise, permitindo encontrar uma solução ideal, quando vários critérios são considerados no processo de *handover*. O algoritmo SER considera o *Reference Signal Received Power* (RSRP) como parâmetro de rádio, Taxa de Entrega de Pacotes (TEP) como critério de QoS, e *Mean Opinion Score* preditivo (MOSp) como parâmetro de QoE. Desta forma, SER é capaz de atribuir diferentes graus de importância para cada critério de acordo com as condições da rede e calcular a qualidade para cada célula durante a decisão de *handover*. Foram realizadas simulações para avaliar o desempenho do algoritmo SER para disseminar vídeos em redes heterogêneas em comparação a outros algoritmos existentes na literatura. Com base nos resultados de simulação, o algoritmo SER apresentou uma melhoria de 15% no QoE dos vídeos em relação aos algoritmos analisados.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são apresentados algoritmos de *handover* existentes. Na Seção 3 são descritas as principais características do algoritmo SER. Na Seção 4, são apresentados os resultados obtidos com diferentes algoritmos de *handover* para transmitir vídeos. Finalmente, na Seção 5, são apresentadas as considerações finais do trabalho e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Pesquisas sobre algoritmos de *handover* eficientes em redes móveis são essenciais para fornecer um desempenho adequado na entrega de conteúdo para os usuários móveis. Entretanto, projetar tais algoritmos não é uma tarefa simples, devido à diversidade das redes e dos requisitos dos serviços solicitados, como baixa taxa de perda de pacote e atraso. Ao longo das últimas décadas, soluções foram propostas, tal como o *Media Independent Handover* (MIH) [Taniuchi et al. 2009], que se propôs a padronizar as diferentes tecnologias relacionadas ao padrão IEEE 802.21 sob uma mesma interface. Com o aumento da heterogeneidade e, conseqüentemente, complexidade dessas redes, houve a necessidade de projetar algoritmos para a tomada de decisão, com o objetivo de realizar ou não um *handover* [Ahmed et al. 2014]. Desta forma, os algoritmos de *handover* passaram por um processo de evolução, considerando diferentes métricas e técnicas.

Algoritmos puramente baseados na potência do sinal (*e.g.*, *RSSI-based* e *strength-based*) foram inicialmente projetados e implementados em larga escala. Esses algoritmos geralmente funcionam bem quando o sinal da célula é pior que um *threshold* e quando o sinal da célula vizinha é melhor do que tal *threshold* [3GPP 2015]. Entretanto, esses algoritmos demonstraram ser ineficientes em cenários heterogêneos, *i.e.*, que consideram células com diferentes tecnologias e áreas de cobertura [La-Roque et al. 2015].

Com o aumento da heterogeneidade e, conseqüentemente, complexidade das redes, houve a necessidade de projetar novos algoritmos para o processo de *handover* [Ahmed et al. 2014]. Uma das alternativas foram os algoritmos baseados em QoS [Drissi and Oumsis 2015, Dimou et al. 2009], que usam parâmetros relacionados aos serviços de rede, como a largura de banda do canal, vazão, atraso e *jitter*. Por exemplo, o algoritmo de *handover* chamado de *traditional power budget algorithm* (PBGT) [Dimou et al. 2009], é ativado quando detecta um maior valor de sinal nas células vizinhas comparado ao da célula original. Como requisito de QoS, são utilizados histerese e *time-to-trigger* para poder ativar o *handover* [3GPP 2016]. Ambos os parâmetros servem

como alternativa para diminuir a recorrência de *handover* desnecessários. Outros algoritmos de *handover* que consideram diferentes métricas de QoS foram propostos nos últimos anos. Por exemplo, [Chaudhuri et al. 2017] apresenta um algoritmo para LTE-A, controlando *Time-To-Trigger* e histerese, *i.e.*, uma extensão do PBGT [Dimou et al. 2009]. [Xenakis et al. 2016] detalha a respeito dos benefícios e desafios do uso de *small cells* em redes heterogêneas, destacando a importância de considerar as células menores no balanceamento de carga da infraestrutura da rede.

Em relação aos algoritmos de *handover* baseados em MCDM, a literatura apresenta trabalhos que consideram apenas redes homogêneas. [Chinnappan and Balasubramanian 2016] utiliza os pesos de uma AHP em um ambiente WiMAX. A técnica AHP mostra que seu uso proporciona uma baixa complexidade de resolução e apresenta uma boa resposta. [Drissi and Oumsis 2015] também usa AHP para um *handover* multicritérios, porém em um ambiente Wi-Fi apenas com parâmetros de QoS. Por fim, [Hussein et al. 2016] avalia e resolve uma MCDM por meio de *fuzzy TOPSIS*, considerando critérios mais focados em aspectos de rádio, como a potência de sinal e capacidade de *uplink* das células.

Com base na evolução da literatura especializada em *handover*, pode-se observar que em um ambiente heterogêneo, é fundamental utilizar diferentes tipos de parâmetros, por exemplo, projetar um algoritmo que seja ciente de QoE, além dos já tradicionais parâmetros de QoS e potência do sinal. Além disso, devido à diversidade das métricas que devem ser consideradas, os algoritmos devem ser baseados em MCDM para apresentar um bom desempenho em termos de rapidez de resposta [Chandavarkar and Guddeti 2016].

3. Algoritmo de *Handover* SER

Esta seção apresenta uma visão geral do algoritmo SER, o qual considera o RSRP, TEP e MOSp como parâmetros para a tomada de decisão de *handover*. O SER considera o AHP para ajustar o grau de importância de cada parâmetro, permitindo assim uma tomada de decisão de *handover* mais eficiente. Desta forma, o SER é capaz de disseminar vídeos para usuários móveis conectados a redes heterogêneas com suporte a QoE.

3.1. Visão Geral

Figura 1 apresenta uma visão geral do algoritmo SER em três instantes tempos (*i.e.*, t_1 , t_2 e t_3). Nesse cenário é representado apenas um nó (*i.e.*, veículo) consumindo um determinado serviço de vídeo locomovendo-se da esquerda para a direita, que pode estar conectado a diferentes células (*e.g.*, *macrocell* A ou C, e *small cell* B). É importante notar que existem outros nós conectados as células ilustradas na figura, no entanto eles não foram representados para facilitar a compreensão do funcionamento do algoritmo. As tabelas na parte inferior da figura exemplificam as informações de RSRP, TEP, MOSp e qualidade para cada célula disponível, bem como qual célula o nó esta conectado nos três diferentes tempos e para qual célula o nó realizará o *handover*.

O algoritmo SER considera o RSRP ($\in [-100,-80]$), TEP ($\in [0,1]$) e MOSp ($\in [0,5]$) como parâmetros de entrada para o AHP, que processa essas informações e produz um valor ponderado chamado qualidade AHP para cada célula ($\in [0,1]$). Para todos estes parâmetros, quanto maior seus valores, maior também são as qualidades nestes critérios. O RSRP é informado pelo nó, enquanto MOSp e TEP são informados pelas estações rádio

base das células. No instante t_1 , o nó está consumindo um vídeo conectado à *macrocell* A, a qual apresenta melhores condições em termos de RSRP, MOSp e TEP comparada as células B e C. No instante t_2 , o veículo se move mantendo-se conectado na célula A, mas os valores de RSRP, TEP e MOSp para as três células foi alterado, conforme pode ser observado na tabela correspondente ao tempo t_2 . Desta forma, o algoritmo SER recalcula a qualidade para cada célula, e a célula B passa a ser considerada como célula alvo, pois apresenta melhores condições para prover uma conexão confiável para o nó móvel. O algoritmo executa o *handover* da *macrocell* A para a *small cell* B, onde o instante t_3 representa o nó conectado na *small cell* B, após ter realizado o *handover*.

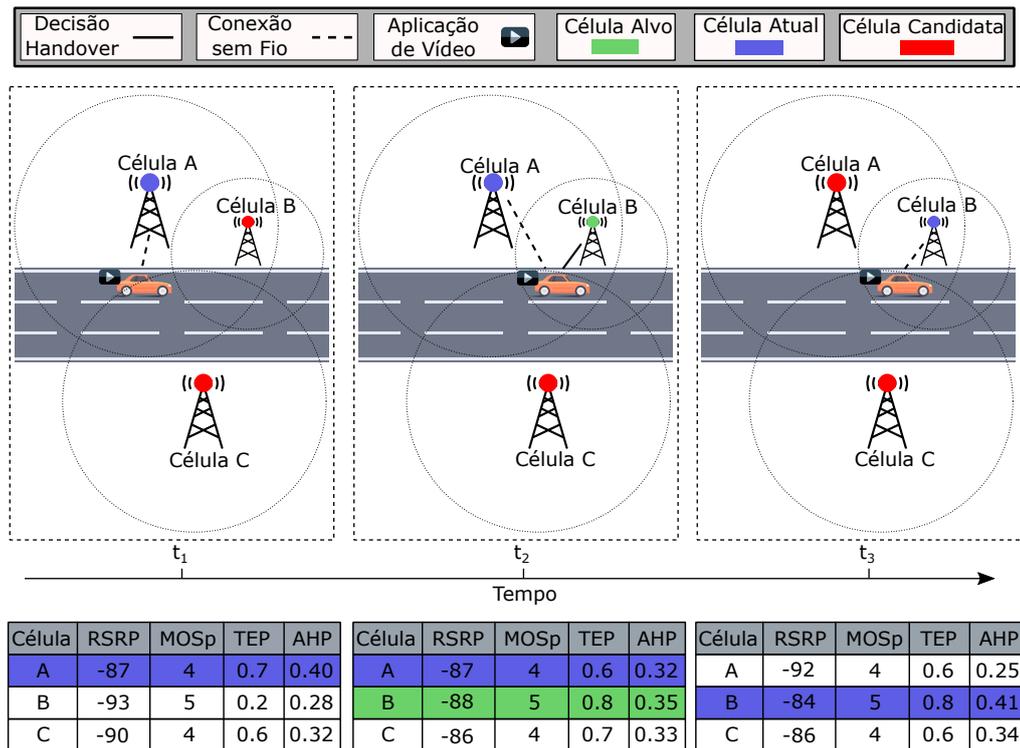


Figura 1. Visão Geral do Algoritmo SER

3.2. Algoritmo de *handover*

A decisão de *handover* é realizada por uma entidade chamada de *Handover Manager*, tal como o *Mobility Management Entity* das redes 4G. O *Handover Manager* tem uma conexão com as células da rede, tal como a interface S1 das redes 4G. A execução do *handover* é realizada em três etapas, nomeadamente (i) coleta de informação, (ii) decisão do *handover* e (iii) execução do *handover*. O Algoritmo 1 apresenta as principais operações realizadas pelo algoritmo SER. Enquanto o nó móvel estiver conectado (linhas 1-5 do Algoritmo 1), o *Handover Manager* realiza as três fases. Na etapa de coleta de informações, o *Handover Manager* deve obter informações necessárias para decisão de *handover*, tais como, RSRP, TEP e MOSp (linha 6 do Algoritmo 1). A etapa de decisão do *handover* é responsável por selecionar qual é a melhor célula em que o nó móvel deve se conectar através do AHP, considerando informações coletadas na etapa anterior (linhas 7-11 do Algoritmo 1). Por fim, a etapa de execução do *handover* é responsável por realizar a troca da conexão de uma célula atual para uma célula alvo, escolhida pelo *Handover Manager* (linhas 12-14 do Algoritmo 1).

Algoritmo 1: Principais operações do Algoritmo SER proposto

```
1  $\forall$  nó móvel e  $\forall$  antena
2 antena conecta-se no Handover Manager
3 nó móvel conecta-se na antena mais próxima
4 nó móvel requisita um conteúdo de vídeo
5 while nó móvel está conectado do
6   Handover Manager inicia a fase de coleta de informações requisitando
   medições de RSRP dos nós móveis, bem como informações de PDR and
   MOSp das antenas
7   Handover Manager inicia a fase de decisão
8   for cada célula disponível do
9     | Calcular a qualidade da antena
10  end
11  BestCellId = identificado da antena com maior qualidade
12  if BestCellId  $\neq$  ServingCellId then
13    | iniciar a fase de execução de handover
14  end
15 end
```

3.2.1. Fase de coleta de informações

O algoritmo SER faz a coleta de informações tanto dos usuários quanto das células. Isso deve-se ao fato que para realizar o *handover*, o algoritmo SER considera que as células tem ciência do TEP e MOSp para cada uma das conexões ativas. Dessa forma, da célula atual, são usados os valores atuais de MOSp e TEP que o nó móvel está experimentando atualmente. Para as células candidatas, são usados a média de MOSp e de TEP. Se não existir nenhum nó móvel conectado na célula, o *Handover Manager* categoriza a célula como ociosa e atribui os valores máximos de TEP e MOSp, respectivamente. Esta estratégia é usada para o *Handover Manager* dar preferência às células ociosas, ajustando o balanceamento da carga em todas as células disponíveis. Além disso, assim como nos outros algoritmos de *handover*, os nós móveis enviam periodicamente as informações de RSRP e IDs da célula atual e das células candidatas para o *Handover Manager*, detectadas por cada nó móvel. Desta forma, o *Handover Manager* tem acesso as informações de RSRP, TEP e MOSp para cada uma das células disponíveis para um nó móvel se conectar, podendo avaliar se existe uma célula candidata melhor que a célula atual, iniciando assim a fase de decisão do *handover*.

Em termos de QoS, o algoritmo SER considera a métrica TEP para avaliar a qualidade da conexão entre a antena e o nó, uma vez que o TEP está associado a quão bem-sucedido foi o recebimento de pacotes para um nó comparado ao número total de pacotes enviados para esse nó. Para os aspectos de Rádio, o algoritmo SER considera o RSRP, que é a medida de potência de sinal recebido em uma rede LTE. Para aplicações de vídeo, um *handover* ciente de QoE auxilia na seleção de uma célula que possa fornecer transmissão de vídeo com melhor QoE. O algoritmo SER considera um monitor de QoE capaz de calcular o MOS estimado para um vídeo no nó móvel com baixa complexidade. Isso deve-se ao fato que o nó móvel deverá calcular a taxa de perda para os três tipos de *frames*, *i.e.*,

I, P e B, que compõem um vídeo, pois a perda de cada um destes impactam de forma diferente na QoE [Zheng et al. 2015].

O MOSp considera a taxa de perda dos *frames* I, P e B como entrada de um algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* [Breiman 2001]. O *Random Forest* trabalha com o conceito de formar seleções menores de uma árvore, informar diferentes resultados nessas árvores menores e contar a solução mais escolhida como sendo a resposta para uma pergunta, ou seja, o valor de MOS estimado considerando a taxa de perda dos *frames* I, P e B. Para a construção do MOSp foi realizado um processo inteiro de aprendizado, *i.e.*, treinamento, teste e validação, com uma base de dados de vídeos e MOS obtidos através de um teste de QoE subjetivo realizado com a ajuda de voluntários. Para a criação da base de dados para o treinamento, os voluntários assistiam vídeos com diferentes taxas de perda de pacotes e atribuíam um valor de MOS variando de 1 a 5 para cada vídeo. Após a construção da base de dados, foi possível treinar o MOSp correlacionando a taxa de perda dos *frames* I, P e B com o MOS atribuído através do *Random Forest*.

3.2.2. Fase de decisão de *handover*

Na etapa de decisão, o *Handover Manager* é responsável por selecionar qual é a melhor célula em que o nó móvel deve se conectar considerando as informações de RSRP, MOSp e TEP coletadas na etapa anterior. O algoritmo SER considera o AHP para estimar a melhor resposta de acordo com a importância de cada parâmetro em relação a outro. O AHP provê uma técnica estruturada para a tomada de decisão de problemas com múltiplos critérios envolvidos, através da comparação em pares entre os valores numéricos de cada parâmetro e seus graus de importância relativos, de forma a ajustar seus pesos em tempo de execução. Como resultado, quanto maior o peso, mais importante é o critério correspondente. Foram definidos cinco níveis de importância para a comparação entre cada par de parâmetros, como mostrado na Tabela 1.

$C_{i,j}$	Grau de Importância
1	Duas métricas tem a mesma importância
2	Uma métrica é mais importante que outra métrica
3	Uma métrica é muito mais importante que outra métrica
1/2	Uma métrica é menos importante que outra métrica
1/3	Uma métrica é muito menos importante que outra métrica

Tabela 1. Escala de importância relativa para o AHP

Assim, o *Handover Manager* constrói para cada nó móvel a sua matriz para comparar todos os pares de critérios. A matriz de comparação $C_{i,j}$ da Eq.1 representa o quão importante é um critério i comparado a outro critério j da matriz. Nessa matriz, se o TEP é 2 vezes mais importante que o MOSp, então a relação oposta (*i.e.*, MOSp em relação a TEP) é 2 vezes menos importante. Com base em resultados de simulação, a métrica TEP foi considerada a mais importante, pois seu maior peso conduziu o *Handover Manager* a escolher a célula que possa fornecer transmissão de vídeo com melhores qualidades.

$$C_{i,j} = \begin{matrix} & \begin{matrix} TEP & MOS_p & RSRP \end{matrix} \\ \begin{matrix} TEP \\ MOS_p \\ RSRP \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Para cada um desses critérios, é realizada um cálculo específico para avaliar as diferentes células sob a ótica de cada critério, *e.g.*, se a célula atual tem TEP de 1, enquanto o TEP da célula candidata A for de 0.7, então a célula atual tem maior peso neste critério. Assim, existirão três cálculos menores (uma avaliando as células em termos de TEP, outra em termos de RSRP e outra em termos de MOS_p). No final, o AHP multiplica a Eq. 1 com as três equações menores e obtém um resultado numérico ponderado, que é chamado de qualidade. Quem tiver a maior qualidade calculada é eleita como a célula de melhores condições para prover uma conexão confiável ao nó móvel. É importante realçar que a Eq. 1 apresenta sempre este valor, pois foi assim definido durante o julgamento da rede (quando foram eleitos os critérios mais relevantes para o bom desempenho do algoritmo). Entretanto, as equações menores não são mostradas aqui, pois estas são atualizadas constantemente de acordo com o perfil dinâmico da rede através das medições feitas pelos nós móveis e células, como descritos na Fase de coleta de informações.

3.2.3. Fase de execução do *handover*

Caso a qualidade da célula atual seja a mais alta, então não existe necessidade de realizar *handover*. No entanto, se a melhor célula não for a célula atual, o *Handover Manager* deverá iniciar o *handover* para a melhor célula, *i.e.*, célula alvo. Especificamente, na fase de execução de *handover*, o *Handover Manager* informa sua decisão para as células atual e alvo detalhando sobre qual nó móvel irá ser transferido. Entre as células envolvidas, algumas informações são transferidas, como as informações sobre o próprio nó. O *handover* é então realizado na forma de *hard handover*, onde o canal com a célula atual é interrompido antes de estabelecer o novo canal com a nova célula.

4. Avaliação

Esta seção descreve a metodologia e métricas utilizadas para avaliar a qualidade dos vídeos transmitidos em uma rede heterogênea com nós movimentando-se com diferentes velocidades. Foram avaliados o impacto de diferentes algoritmos de *handover* no QoE dos vídeos transmitidos, bem como no número de *handovers* executados.

4.1. Descrição do Cenário e das Métricas

As simulações foram realizadas no ns-3.27¹, que implementa a pilha de protocolos LTE, para comunicação entre os nós com as antenas das estações rádio base. A simulação e seus parâmetros se baseiam no cenário apresentado por [Tartarini et al. 2018]. Desta forma, os nós percorrem uma matriz retangular 2D com área de 3 km² (3000m X 1000m), que foi importado pelo SUMO². Nos cenários de rede atual, podem existir nós locomovendo-se com diferentes velocidades. Desta forma, na simulação existem 50 nós móveis com

¹<http://www.nsnam.org/>

²<http://sumo.dlr.de>

velocidades entre 0-10 km/h (*i.e.*, pedestres), 50 nós com velocidades entre 11-75 km/h (*i.e.*, carros) e 50 nós com velocidades entre 76-145 km/h (*i.e.*, trens). As *macrocells* e *small cells* são distribuídas aleatoriamente no cenário. As simulações foram repetidas 33 vezes, com diferentes sementes de aleatoriedade e os resultados apresentam seus valores em um intervalo de confiança de 95%.

As simulações foram realizadas através da transmissão de diferentes sequências de vídeo, *i.e.*, *Container*, *Highway* e *Akiyo*, disponíveis em um repositório³ na Internet. Consideramos vídeos com diferentes características, já que pequenas diferenças no movimento e nível de complexidades podem influenciar os valores de QoE obtidos. Dessa forma, é importante realizar os experimentos com diferentes características de vídeo. Os vídeos têm durações de 10 segundos (e 20 segundos para *Highway*) e 300 *frames* cada (exceto os 600 do *Highway*), são codificados em H.264 a 300 kbps, 30 fps e tamanho intermediário (352 x 288 *pixels*). O decodificador usa um método *Frame-Copy* para ocultação de erros, substituindo cada *frame* perdido pelo último recebido para reduzir a perda de *frames* e tentar manter a qualidade do vídeo. Os principais parâmetros de simulação podem ser vistos na Tabela 2.

Parâmetro	Valor
Tipo de Nó Móvel [velocidade em km/h]	Pedestre [10], Carro [75], Trem [145]
Número de Nós	150 (50 de cada tipo)
Número de <i>macrocells</i>	1
Número de <i>small cells</i>	8
Potência de Transmissão da <i>macrocell</i>	46 dBm
Potência de Transmissão da <i>small cell</i>	23 dBm
Área de cobertura da <i>macrocell</i>	1 km ²
Área de cobertura da <i>small cell</i>	75 m ²
Modelo de Propagação	Nakagami
Rádio de Transmissão	3GPP LTE
Vídeos Usados	Container, Highway, Akiyo
Características dos Vídeos	H.264, 30fps, 352x288 pixels

Tabela 2. Parâmetros de Simulação

Em termos de avaliação de qualidade de vídeo, as métricas de QoS por si só não são suficientes para avaliar o nível de qualidade das aplicações multimídia. Isso se deve ao fato de que elas falham na captura de aspectos subjetivos de conteúdo de vídeo relacionados com a experiência humana [Liotou et al. 2015]. As métricas de QoE superam essas limitações e, dessa forma, foram consideradas as métricas de QoE objetiva bem conhecidas para avaliar a qualidade dos vídeos transmitidos, nomeadamente *Structural SIMilarity* (SSIM) e *Video Quality Metric* (VQM). SSIM $\in [0,1]$ avalia quadro-a-quadro do vídeo os seguintes componentes: luminância, contraste e similaridade estrutural. Quanto maior for o valor SSIM melhor será a qualidade de vídeo. VQM $\in [0,4]$ avalia danos na percepção do vídeo recebido com base em características do sistema visual humano, incluindo *blurring*, ruído e distorção de cores. Valores de VQM próximos de 0 significam em um vídeo

³<http://trace.eas.asu.edu/yuv/>

com melhor qualidade. O *Video Quality Measurement Tool* (VQMT) foi utilizado para medir o valor SSIM e VQM de cada vídeo transmitido.

4.2. Análise de Resultados

Figura 2(a) apresenta o SSIM dos 3 tipos de vídeos, *i.e.*, *Container*, *Highway* e *Akiyo*, enviados pelos 3 algoritmos de *handover* avaliados, *i.e.*, SER, *RSSI-based* e PBGT. Ao analisar os resultados da Figura 2(a), pode-se concluir que o algoritmo de *handover* SER entrega vídeos com SSIM melhor independente do tipo de vídeo comparado com os outros algoritmos de *handover*. Especificamente, o SER tem SSIM 7-24% melhor no vídeo *Container*, de 15-24% no vídeo *Highway* e de 4-7% no vídeo *Akiyo* comparado ao *RSSI-based* e PBGT. Essa melhora do SSIM deve-se ao fato que o algoritmo SER considera MOSp e TEP para decisão de *handover*, uma vez que esses critérios têm grande impacto na seleção de células de forma mais eficiente e confiável. O desempenho dos algoritmos *RSSI-based* e PBGT confirma o fato de não serem mais adequados em redes heterogêneas.

Figura 2(b) apresenta o VQM para os mesmos 3 tipos de vídeos enviados pelos 3 algoritmos avaliados. Vale a pena realçar que menor valor de VQM significa melhor qualidade do vídeo. Ao analisar os resultados de VQM, pode-se observar que o algoritmo SER apresenta um ganho de VQM de 15-32% no vídeo *Container*, de 4-8% no vídeo *Highway*, e de 10-15% no vídeo *Akiyo* comparado com os outros algoritmos. Estes resultados confirmam que o algoritmo SER é capaz de tomar decisões de *handover* de forma mais eficientes, já que apenas informações sobre potência de sinal não estão sendo capazes de garantir um bom QoE para os usuários consumidores.

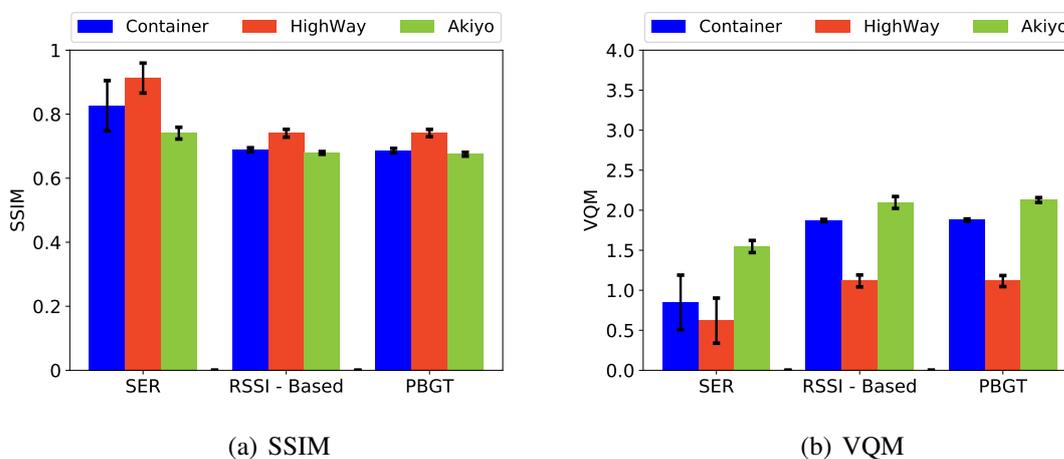


Figura 2. SSIM e VQM para os vídeos transmitidos

A Figura 3(a) apresenta a comparação do número médio de execuções de *handover* para os três algoritmos de *handover* durante a transmissão do vídeo *Container*. O algoritmo SER teve um maior número de *handovers* comparados aos outros algoritmos. Esta quantidade de *handovers* é justificada ou aceitável, especialmente se for levado em consideração que o maior número de *handovers* realizados permitiu alcançar uma distribuição de vídeo com suporte à QoE. Portanto, mesmo realizando um pouco mais de *handover*, o algoritmo SER apresentou resultados superiores e mais satisfatórios. Em relação a quantidade média do TEP nos diferentes vídeos avaliados, pode-se notar que SER continua recebendo uma maior taxa média dos pacotes, como visto na Figura 3(b).

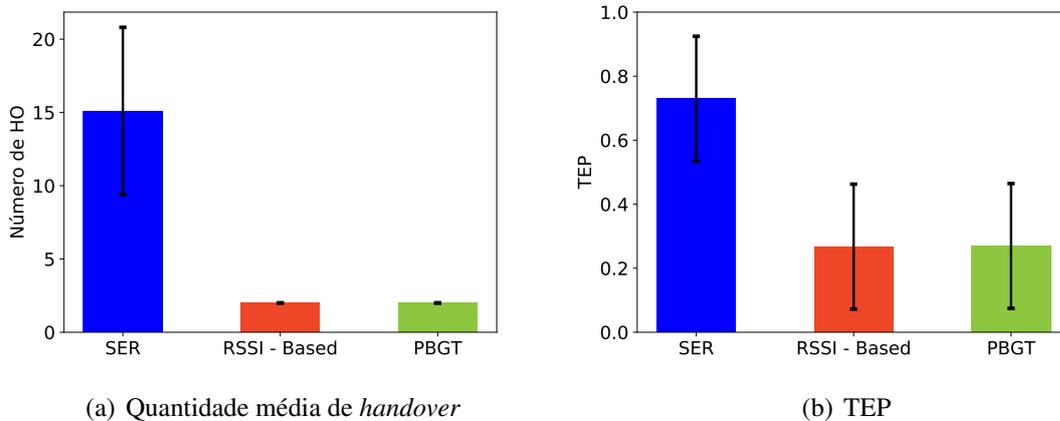


Figura 3. Quantidade média de *handovers* executados e QoS para os vídeos transmitidos

Outra avaliação consiste em analisar a distribuição de *frames* para os três algoritmos do ponto de vista do usuário. A Figura 4 apresenta o SSIM de cada *frame* que compõe o vídeo *Container* transmitido pelos três algoritmos de *handover*. Ao analisar os resultados, pode-se observar que os três algoritmos começam com um bom desempenho (especialmente SER com mais de 0,95 para SSIM), mas diminuem a qualidade ao longo do tempo. No entanto, no *frame* #200, o algoritmo SER realiza um *handover* que permite aumentar o SSIM drasticamente dos *frames* seguintes. Do *frame* #200 até o *frame* #250 o algoritmo SER aumenta o resultado de SSIM, confirmando a boa decisão e execução do *handover*. No *frame* #260, o algoritmo SER executa um segundo *handover* e continua apresentando um aumento no resultado de SSIM até terminar com um ótimo desempenho. Por outro lado, nos últimos momentos do vídeo transmitido, *i.e.*, do *frame* #200 até o *frame* #300, os algoritmos *RSSI-based* e PBGT terminam com resultados bem insatisfatórios em termos de SSIM: possivelmente como consequência da má conexão entre nó-célula, ou possivelmente devido as interferências sofridas pelo nó. Este resultado de SSIM confirma que a qualidade do vídeo e a disseminação de conteúdo são muito afetadas pelos algoritmos de *handover* e como os algoritmos medem, decidem e executam o processo de *handover*.

Finalmente, um *frame* aleatório do vídeo *Container* foi selecionado (*i.e.*, *frame* #210), para mostrar o impacto da transmissão do vídeo feito por cada algoritmo sob o ponto de vista do usuário final, como mostrado na Figura 5. Especificamente, *frame* #210 da sequência de vídeo é o momento em que o navio cargueiro viaja na baía (e alguns objetos são exibidos na tela, como um pássaro, uma lancha branca e um mastro). Este *frame* transmitido utilizando o algoritmo SER tem a mesma qualidade que o *frame* original, como podem ser vistos ao comparar as Figuras 5(a) e 5(b). Isso torna evidentes os benefícios do algoritmo SER para transmissão de vídeo. Por outro lado, o vídeo transmitido pelos algoritmos PBGT e *RSSI-based* estão deteriorados, conforme mostrado nas Figuras 5(c) e 5(d). Isso ocorre porque esse *frame* foi perdido, e também os anteriores, tornando impossível a reconstrução com base nos *frames* previamente recebidos, resultando assim uma deterioração de QoE do usuário que assiste a um vídeo com *pixelização* e congelamento de *frames*.

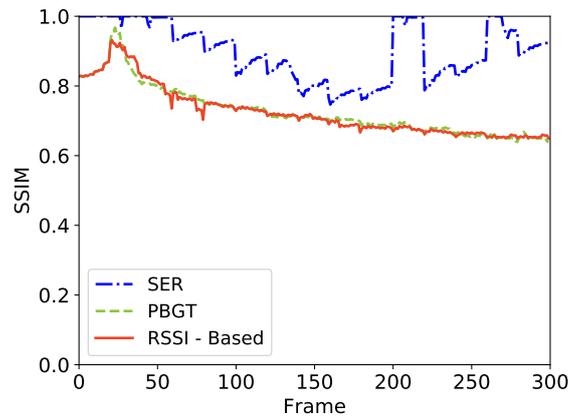


Figura 4. SSIM para cada *frame* de um vídeo transmitido

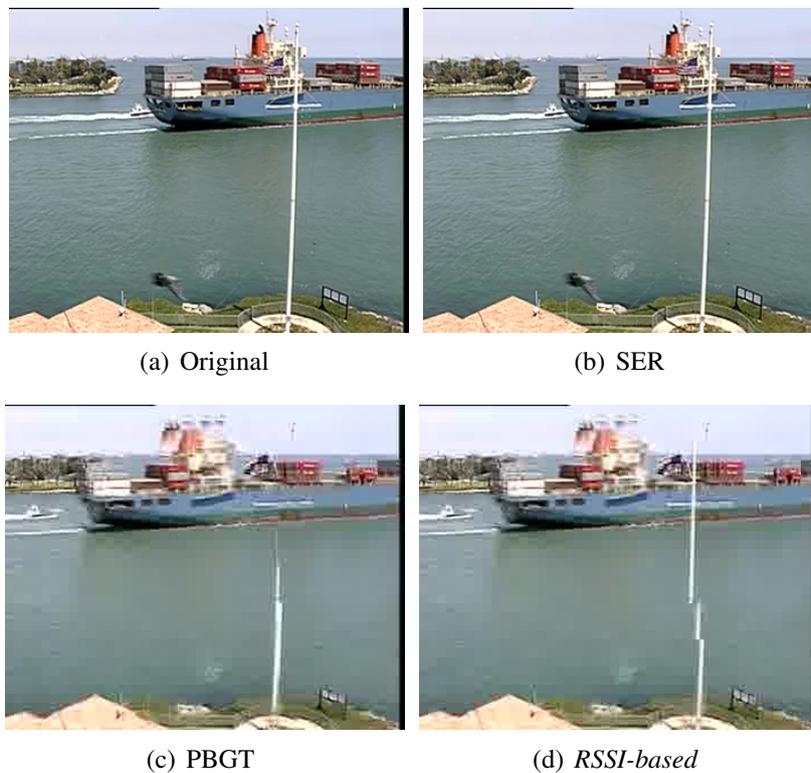


Figura 5. *Frame* #210 do vídeo *Container* transmitido

5. Conclusão

Usuários móveis produzem, compartilham e consomem serviços de vídeo em tempo real conectados a uma infraestrutura de rede celular potencialmente heterogênea. A movimentação entre as diversas células que compõem tal infraestrutura necessita de *handovers* que mantem o QoE dos usuários. Nesse contexto, algoritmos tradicionais de *handover* consideram apenas a potência de sinal e QoS para a tomada de decisão em realizar *handovers*. A combinação de parâmetros de potência de sinal, QoS e QoE podem produzir *handovers* mais eficientes para a disseminação de vídeo. No entanto, é necessária uma

abordagem que integre diferentes parâmetros a fim de aprimorar o serviço ao usuário.

O presente artigo apresenta o algoritmo de *handover* SER (Serviço, Experiência e Rádio) que se baseia em MCDM para entregar serviço de vídeo em redes heterogêneas com suporte a QoE. O SER é baseado na técnica AHP para atribuir diferentes graus de importância para potência de sinal, QoS e QoE na tomada decisão de para *handover*. A avaliação do SER foi realizada através de simulações para avaliar o desempenho do algoritmo proposto em comparação a outros algoritmos existentes na literatura no que tange a disseminação de vídeos em redes heterogêneas. Nas simulações realizadas, o algoritmo SER apresentou uma melhoria de 15% no QoE dos vídeos em relação aos algoritmos existentes na literatura.

Apesar dos resultados interessantes encontrados na avaliação do algoritmo SER, trabalhos futuros podem ser considerados. Por exemplo, outros critérios podem ser utilizados pelo SER na decisão de *handover*, como o tráfego de rede nas células de origem e destino. Finalmente, propriedades encontradas em redes de quinta geração (5G) poderão ser utilizadas em conjunto com o SER, além de outras avaliações de SER contra algoritmos que também usem QoE como critério para seleção de célula.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao grupo Gercom (UFPA) pela concessão da técnica MOSp e à agência de fomento CAPES.

Referências

- 3GPP (2015). 3GPP TS 36.133, 3rd Generation Partnership Project; Requirements for support of radio resource management (Release 12). Technical Report V12.6.0, 3GPP.
- 3GPP (2016). 3GPP TS 36.331, 3rd Generation Partnership Project; E-UTRA Radio Resource Control (RRC) protocol specification (Release 13). Technical Report V13.0.0, 3GPP.
- Ahmed, A., Boulahia, L. M., and Gaiti, D. (2014). Enabling Vertical Handover Decisions in Heterogeneous Wireless Networks: A State-of-the-Art and A Classification. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 16(2):776–811.
- Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2016). Information-centric networking for connected vehicles: a survey and future perspectives. *IEEE Communications Magazine*, 54(2):98–104.
- Breiman, L. (2001). Random forests.
- Chandavarkar, B. and Guddeti, R. M. R. (2016). Simplified and improved multiple attributes alternate ranking method for vertical handover decision in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, 83:81 – 97.
- Chaudhuri, S., Baig, I., and Das, D. (2017). Self Organizing Method for Handover Performance Optimization in LTE-advanced Network. *Computer Communications*, 110:151–163.
- Chinnappan, A. and Balasubramanian, R. (2016). Complexity-Consistency Trade-off in Multi-Attribute Decision Making for Vertical Handover in Heterogeneous Wireless Networks. *IET Networks*, 5(1):13–21.

- Cisco (2017). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016-2021. Technical report, Tech Report.
- Dimou, K., Wang, M., Yang, Y., Kazmi, M., Larmo, A., Pettersson, J., Muller, W., and Timner, Y. (2009). Handover within 3gpp lte: Design principles and performance. In *2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall*, pages 1–5.
- Drissi, M. and Oumsis, M. (2015). Multi-Criteria Vertical Handover Comparison between Wimax and Wifi. *Information*, 6(3):399.
- Ghosh, A., Paranthaman, V. V., Mapp, G., Gemikonakli, O., and Loo, J. (2015). Enabling seamless v2i communications: toward developing cooperative automotive applications in vanet systems. *IEEE Communications Magazine*, 53(12):80–86.
- Hussein, Y. S., Ali, B. M., Rasid, M. F. A., Sali, A., and Mansoor, A. M. (2016). A Novel Cell-selection Optimization Handover for Long-term Evolution (LTE) Macrocell using Fuzzy TOPSIS. *Computer Communications*, 73:22–33.
- La-Roque, E., Silva, C. P., and Frances, C. (2015). A New Cell Selection and Handover Approach in Heterogeneous LTE Networks: Additional Criteria Based on Capacity Estimation and User Speed.
- Liotou, E., Tsolkas, D., Passas, N., and Merakos, L. (2015). Quality of Experience Management in Mobile Cellular Networks: Key Issues and Design Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 53(7):145–153.
- Saaty, T. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process*. AHP series. RWS Publications.
- Taniuchi, K., Ohba, Y., Fajardo, V., Das, S., Tauil, M., Cheng, Y. H., Dutta, A., Baker, D., Yajnik, M., and Famolari, D. (2009). Ieee 802.21: Media independent handover: Features, applicability, and realization. *IEEE Communications Magazine*, 47(1):112–120.
- Tartarini, L., Marotta, M. A., Cerqueira, E., Rochol, J., Both, C. B., Gerla, M., and Bellavista, P. (2018). Software-Defined Handover Decision Engine for Heterogeneous Cloud Radio Access Networks. *Computer Communications*, 115:21–34.
- Xenakis, D., Passas, N., Merakos, L., and Verikoukis, C. (2016). Handover decision for small cells: Algorithms, lessons learned and simulation study. *Computer Networks*, 100:64 – 74.
- Zheng, K., Hou, L., Meng, H., Zheng, Q., Lu, N., and Lei, L. (2016). Soft-Defined Heterogeneous Vehicular Network: Architecture and Challenges. *IEEE Network*, 30(4):72–80.
- Zheng, K., Zhang, X., Zheng, Q., Xiang, W., and Hanzo, L. (2015). Quality-of-experience assessment and its application to video services in lte networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(1):70–78.