

# Uma arquitetura para a gerência de mobilidade para redes veiculares com suporte a ambientes virtuais colaborativos

Rodolfo I. Meneguette<sup>1</sup>, Edmundo R. M. Madeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)  
Av. Albert Einstein, 1251 - Cidade Universitária - Campinas/SP - Brasil

{ripolito, edmundo}@ic.unicamp.br

**Abstract.** *Information technology and mobile communications are being widely used in Intelligent Transport System (ITS), through services for vehicle networks where the vehicle can interact with other vehicles or with an access point. Given the benefits and limitations of each technology, such cell and metropolitan networks, it becomes a challenge to effectively integrate these heterogeneous access networks to provide ubiquitous radio broadcasting services with broad coverage across the handoff. In this work an architecture for management of intra-and inter-system for wireless networks was developed to virtual environments, supporting collaborative virtual simulations, that will assist in the rescue or relief to an accident or even a game. Ns2 simulations were performed to compare the approaches with and without the 802.21 protocol over the MIPv6, considering as base stations, Wifi and WiMax networks. As a result of this work we observed that the mechanism that used the 802.21 protocol had a shorter time of handoff and lower packet loss.*

**Resumo.** *As tecnologias da informação e das comunicações móveis estão sendo amplamente utilizadas no Sistema de Transporte Inteligente (ITS), através de serviços para redes veiculares onde o veículo pode interagir com outros veículos ou com um ponto de acesso. Dados os benefícios e as limitações de cada tecnologia, como redes celulares e metropolitanas, torna-se um desafio integrar essas redes de acesso heterogêneas efetivamente para fornecer serviços de radiodifusão sonora onipresente e com vasta cobertura, através do handoff, e garantir os requisitos mínimos da aplicação. Neste trabalho foi desenvolvida uma arquitetura de gerência de mobilidade intra- e inter-sistema para sistemas sem fio para ambientes virtuais colaborativos dando suporte a simulações virtuais que irão auxiliar no resgate ou socorro a um acidente ou até mesmo de um jogo. Foram realizadas simulações no ns2 para comparar as abordagens com e sem o protocolo 802.21 sobre o MIPv6, tendo como estações base as redes Wifi e WiMax. Como resultado desse trabalho observamos que o mecanismo que utilizou o protocolo 802.21 obteve um menor tempo de handoff bem como uma menor perda de pacotes.*

## 1. Introdução

A tecnologia de comunicação sem fio surgiu como uma alternativa flexível e de baixo custo para redes de acesso, possibilitando aos usuários o acesso contínuo aos serviços e recursos das redes fixas. São boas alternativas para montar uma infra-estrutura de rede

onde as redes cabeadas são difíceis ou impossíveis de montar como, por exemplo, em prédios antigos, prédios históricos, fábricas, etc. As redes sem fio também são ideais para ambientes nos quais o uso da rede é apenas temporário como, por exemplo, em congressos, feiras, etc

As tecnologias da informação e das comunicações móveis estão sendo amplamente utilizadas no Sistema de Transporte Inteligente (ITS), através de serviços *on-the-road*, como *Dedicated Short Range Communications* (DSRC), ponte de acesso Wi-Fi para o viajante e serviço de informação de tráfego GSM / GPRS / celular WCDMA, *Vehicle Ad hoc Network* (Vanet) e Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Cada sistema ou tecnologia tem suas vantagens e desvantagens. O desafio é como integrar essas redes de acesso heterogêneas efetivamente para fornecer serviços de radiodifusão sonora onipresente e com vasta cobertura, através do *hand-off*, para dispositivos que possuem mobilidade entre diferentes redes de serviços de ITS [Chao e Zeadally 2008].

Embora boa parte dos serviços e aplicações de ITS seja desenvolvida para prover a segurança do condutor e viabilizar o tráfego de carros nas ruas, há serviços voltados para o entretenimento e conforto dos passageiros, tais como mensagens instantâneas e transferências de arquivos. Mas ainda há poucos trabalhos na literatura com enfoque para jogos e simulações em redes veiculares que utilizam ambientes virtuais, mesmo estas aplicações sendo bem consolidadas em redes fixas. Aplicações desse tipo são mais eficientes quando podem usufruir de uma conectividade que possibilite comunicação em grupo, ou seja, que permitam que um grande número de usuários possa interagir em um mesmo mundo virtual sem afetar a consistência do ambiente.

Um dos pontos, talvez o mais difícil, a ser atingido em um ambiente virtual colaborativo, é a escalabilidade, pois a cada novo participante no ambiente virtual haverá demanda de mais recursos computacionais, como o poder de processamento da máquina responsável pela entrada e saída do ambiente, e a rede que lida com a transmissão e o transporte dos dados [Tonguz e Boban 2010].

Devido às características da rede, como largura de banda, condições de tráfego e atraso das mensagens, a consistência da visualização do ambiente virtual não é automaticamente garantida para todos os participantes. Identifica-se a limitação de se integrar várias tecnologias para que elas possam trabalhar em conjunto para dar um melhor desempenho para uma aplicação ou para um serviço, possibilitando até o surgimento de ferramentas de auxílio e apoio em vias públicas, bem como os desafios encontrados em ambientes virtuais colaborativos, tais como a escalabilidade e a latência.

Neste trabalho foi desenvolvida e avaliada uma arquitetura de redes multi-acesso sem fio, voltada para as redes veiculares com suporte a ambientes virtuais colaborativos, que considera a necessidade das pessoas se deslocarem, enquanto fazem uso de suas aplicações como jogos ou simulações, sem perder a conexão ao longo do percurso (continuidade de sessão), ainda que alternem entre diferentes redes de acesso ou até mesmo aumentem seu poder computacional. A arquitetura utiliza, dentre outros critérios, parâmetros da aplicação e das condições do enlace da conexão para decidir efetuar uma troca de rede. A arquitetura desenvolvida tem como objetivo resolver esses aspectos criando uma infra-estrutura comum aos usuários fazendo uso de várias tecnologias de acesso de

forma transparente. Foi criada uma arquitetura para redes multi-acesso sem fio, utilizando as tecnologias Wi-fi, veicular, WiMax, com suporte a continuidade de sessão de forma transparente para o usuário, visando obter uma baixa inconsistência no mundo virtual.

Este artigo está organizado como segue. Na Seção 2 são mostrados os conceitos e tecnologias envolvidas nas redes veiculares (VANET), logo em seguida, são apresentadas formas de gerência de mobilidade e como implementá-las num ambiente heterogêneo, bem como o padrão IEEE 802.21. Na Seção 3 são discutidos os trabalhos relacionados. A Seção 4 apresenta uma arquitetura para a gerência de mobilidade para redes veiculares, enquanto a Seção 5 apresenta uma análise dos resultados obtidos, seguido pela conclusão na Seção 6.

## 2. Fundamentação teórica

Nesta seção são apresentados os conceitos básicos sobre os assuntos envolvidos neste artigo, apresentando os conceitos das tecnologias sem fio envolvidas, a VANET na Seção 2.1, e a gerência de mobilidade na Seção 2.2.

### 2.1. VANET

Redes Ad Hoc Veiculares (VANETs) são uma subclasse de redes ad hoc e têm como objetivo a comunicação entre veículos e/ou entre veículos e uma infra-estrutura de acostamento. Pode-se utilizar as torres da telefonia celular ou mesmo uma ponte de acesso externo para essa comunicação.

Em 1999, a *Federal Communications Commission* (FCC) alocou um espectro de frequência para a comunicação inter veicular e veicular com uma infra-estrutura de acostamento, estabelecendo regras de serviços e licenças para o *Dedicated Short Range Communications* (DSRC) em 2003.

DSRC é um serviço de comunicação que utiliza uma banda de 5.85-5.95GHz (banda de 5.9GHz) de um espectro de 75MHz, com o objetivo de fornecer capacidade de comunicação sem fio para aplicações de transporte a uma distância de um quilômetro [Yousefi et al. 2006].

O padrão desenvolvido pelo *American Society for Testing and Material* (ASTM), conhecido como padrão ASTM E2213, destina o DSRC a ser uma extensão do IEEE 802.11, o 802.11p, sendo uma tecnologia para o ambiente de veículo de velocidade alta. A camada física (PHY) é adaptada da IEEE 802.11a PHY, baseada na tecnologia de *orthogonal frequency division multiplex* (OFDM). A camada de controle de acesso múltiplo (MAC) do DSRC é muito semelhante à do IEEE 802.11 MAC, conhecida como o *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE), baseada no *carrier sense multiple access with collision avoidance* (CSMA / CA), sendo um protocolo com algumas modificações [Yin et al. 2004].

A extensão IEEE 802.11p simplifica a entrada de um nó em um BSS (*Basic Service Set*) dada a dinamicidade das redes veiculares. De acordo com o padrão, uma estação em modo WAVE pode transmitir e receber quadros de dados com o BSSID (*BSS Identification*) coringa, sem a necessidade de estar associada a um BSS. Nesse modo, podem ser enviadas mensagens urgentes no canal de controle.

O padrão IEEE 802.11p faz poucas alterações na camada física do IEEE 802.11, de forma que sejam mínimas as modificações necessárias no projeto de uma interface de rádio IEEE 802.11a [Jiang e Delgrossi 2008]. A primeira modificação, no IEEE 802.11p os canais têm largura de 10 MHz em vez dos 20 MHz definidos no IEEE 802.11a. A segunda modificação diz respeito a requisitos de desempenho do receptor de rádio mais restritivos que no IEEE 802.11a, em especial com relação à rejeição de canais adjacentes. A terceira modificação, específica para utilização dos rádios IEEE 802.11p nos EUA, no espectro DSRC, define quatro máscaras de transmissão dedicadas a quatro classes de operação distintas.

Devido à sua taxa de transmissão de dados de 3 Mbps e pela alta velocidade que o veículo pode atingir em uma auto-estrada ou pelas tomadas de decisões em uma cidade como virar a direita, seguir em frente, o dispositivo sofre frequentes desconexões e mudança entre os pontos de acesso durante o seu percurso [Nandan et al. 2005]. Consequentemente tornando um desafio fazer com que a mudança de pontos de acesso seja suave ao ponto do usuário não abstrair nenhuma inconsistência de sua aplicação [Prakash et al. 2010].

## 2.2. Gerência de Mobilidade

A gerência de mobilidade contém dois componentes principais [Akyildiz et al. 1998]: gerência de localização e gerência de *handoff*. A gerência de localização permite o sistema rastrear a localização dos nós móveis entre comunicações consecutivas. A gerência de *handoff* permite que dispositivos móveis troquem de rede mantendo a conexão ativa.

Nos sistemas de próxima geração (NG) existem dois tipos de *roaming* para os dispositivos móveis: Intra-sistema (Intra-domínio) e inter-sistema (Inter-domínio). O *roaming* intra-sistema acontece na movimentação de dispositivos entre células diferentes do mesmo sistema. Técnicas de gerência de mobilidade intra-sistema são baseadas nos mesmos protocolos e interfaces de rede. Já o *roaming* inter-sistema ocorre na movimentação de dispositivos entre *backbones*, protocolos e tecnologias diferentes. Baseado no *roaming* intra- ou inter-sistema, gerências de *handoff* e de localização podem ser classificadas como gerência intra- ou inter-sistema de *handoff* e gerência intra- ou inter-sistema de localização [Akan e Akyildiz 2004]. Devido à heterogeneidade dos protocolos e das tecnologias envolvidas, a gerência inter-sistema de *handoff* é muito mais difícil de implementar em relação à gerência intra-sistema.

### 2.2.1. Handoff

Quando um dispositivo conectado a um ponto de acesso (AP) vai afastando-se da área de cobertura, o nível do sinal do dispositivo vai sofrendo uma degradação. Ao se aproximar de outro ponto de acesso, com um nível de sinal mais forte, é necessário um mecanismo na rede para manter o estado de conexão do dispositivo, transferindo a responsabilidade pela comunicação para o novo ponto de acesso. O mecanismo que faz a transferência de conexão de um dispositivo de um ponto de acesso para outro é chamado de *handoff*.

Adicionalmente, a decisão de executar um *handoff* pode ser feita por um agente situado no dispositivo do usuário, baseada em políticas bem definidas tal como largura

de banda, custo, segurança, cobertura da rede, QoS ou até mesmo pelas preferências do usuário [Chen et al. 2009].

Existem dois tipos de *Handoffs* [Yusof et al. 2007]. *Handoffs* que ocorrem entre pontos de acessos de mesma tecnologia são chamados de *handoffs* horizontais. *Handoffs* que ocorrem entre pontos de acessos pertencentes a redes diferentes (Ex. wi-fi para 3G) são chamados de *handoffs* verticais. Assim um *handoff* vertical é usado entre células heterogêneas de redes de acesso, que diferem em muitos aspectos tal como largura de banda, frequência do sinal, etc. Essas características particulares de cada rede fazem a implementação de *handoffs* verticais muito mais difícil se comparado com a dos *handoffs* horizontais, porém já existem padrões para auxiliar em sua implementação, tal como o IEEE 802.21.

### 2.2.2. IEEE 802.21

O IEEE 802.21 [Dutta et al. 2007] é um esforço recente de especificação do IEEE, que visa permitir a transferência e interoperabilidade entre tipos de redes heterogêneas, incluindo os padrões 802 e redes não 802. Uma das principais idéias do IEEE 802.21 é fornecer uma interface comum para a gestão de eventos e mensagens de controle trocadas entre dispositivos de redes que possuem tecnologias diferentes. O objetivo do IEEE 802.21 é melhorar e facilitar o uso dos nós móveis, proporcionando transmissão ininterrupta em redes heterogêneas. Para este efeito, os procedimentos de entrega podem utilizar as informações recolhidas a partir do terminal móvel e/ou infra-estrutura de rede. Ao mesmo tempo, diversos fatores podem determinar a decisão de entrega: Serviço de continuidade, classe de aplicações, qualidade de serviço, negociação de qualidade de serviço, segurança, etc. As tarefas mais importantes do IEEE 802.21 são: a descoberta de novas redes no ambiente e seleção da rede mais apropriada para uma determinada necessidade. A descoberta da rede e o processo de seleção são facilitadas pelo intercâmbio de informações da rede que ajuda o dispositivo móvel a determinar quais são as redes ativas em sua vizinhança, com isso, permite que o terminal móvel conecte à rede mais apropriada com base em suas políticas de *handoff*.

O núcleo do 802.21 é a *Mídia Independent Handover Function* (MIHF). O MIHF terá de ser implementada em todo dispositivo compatível com o IEEE 802.21 (tanto em hardware ou software). Esta função é responsável pela comunicação com diferentes terminais, redes e MIHFs remotos e também pelo oferecimento de serviços de informações para as camadas superiores. O MIHF define três serviços diferentes: *Independent Event Service* (MIES), *Media Independent Command Service* (MICS) e *Media Independent Information Service* (MIIS) [Taniuchi et al. 2009].

O MIES provê classificação, filtragem e relatório de eventos, que correspondem às mudanças dinâmicas que ocorrem no enlace com relação à característica, estado e qualidade. A MIH Function deve se registrar na camada de enlace para receber os eventos de enlace, enquanto as camadas superiores interessadas em eventos MIH devem se registrar na MIH Function para receberem esses eventos. Os eventos podem ser gerados pela pilha local ou pela pilha remota do ponto de acesso (*Point of Access* - PoA) que está atuando como ponto de serviço (*Point of Service* - PoS). Os eventos de enlace e eventos MIH são divididos em seis categorias: administrativo, mudança de estado, parâmetro de enlace,

pré-indicado (predictive), enlace sincronizado e transmissão de enlace.

O MICS permite que usuários MIH possam gerenciar e controlar características do enlace relevantes para o handoff e mobilidade. Os comandos MIH (*MIH Commands*) se originam nas camadas superiores em direção ao MIH Function. Nele, esses comandos tornam-se um comando remoto MIH (*Remote MIH Command*) para uma pilha remota ou/e seguem para as camadas inferiores como um comando de enlace (*Link Commands*) da MIH Function. Os comandos de enlace são específicos da rede de acesso em uso e são apenas locais.

O MIIS provê a capacidade de se obter as informações necessárias para os *handoffs*, como mapa da vizinhança, informações sobre a camada de enlace e disponibilidade de serviços. Resumidamente, esse serviço oferece uma via de mão-dupla para que todas as camadas possam compartilhar elementos de informação (*Information Elements - IE*) que auxiliem na tomada de decisão do handoff.

### 3. Trabalhos Relacionados

O tema handoffs horizontais e verticais tem recebido muita atenção atualmente. Em particular, muitos dos projetos recentes estão tratando de handoffs nas redes sem fio heterogêneas (*handoff* verticais). Nesta seção são apresentadas algumas propostas de mecanismos e arquiteturas relacionadas que, de alguma forma, realizam *handoff* verticais visando a integração de redes sem fio de forma transparente para o usuário móvel, veicular ou não.

Yang e colaboradores [Yang et al. 2007] usaram um *cross-layer* destinado às redes WiMax em malha, chamado *Coordinated External Peer Communication (CEPEC)*, para fornecer serviços de acesso à Internet em ambiente de auto-estradas. Para apoiar o acesso à Internet, serviços a um veículo alocados fora da cobertura de uma estação base, CEPEC separa a estrada em Multi-segmentos, e utiliza o canal de compartilhamento para retransmitir pacotes. Cada segmento tem um *Segment Head (SH)* para realizar coleta de pacotes locais e retransmissão de pacotes agregados.

Mussabbir e colaboradores [Mussabbir et al. 2007] estenderam o FMIPv6 com a tecnologia IEEE 802.21 sobre as redes veiculares. Os autores propuseram uma melhora no mecanismo FMIPv6 para apoio a *Network Mobility (NEMO)* em ambientes veiculares, e utilizaram o protocolo IEEE 802.21 para obter uma melhor performance na transmissão através do uso de *caches* utilizadas para armazenar e manter as informações da rede.

Dikaiakos e colaboradores [Dikaiakos et al. 2007] introduziram um mecanismo em nível de aplicação sobre as redes veiculares para transmitir e obter informações das condições de tráfego. O mecanismo é adaptado do modelo ad hoc de disseminação dos dados.

Chiu e colaboradores [Chiu et al. 2009] apresentaram um *cross-layer* para acelerar a troca de estações, chamado *Vehicular Fast Handover Scheme (VFHS)*, onde as informações da camada física são compartilhadas com a camada MAC, para reduzir o atraso. A idéia principal da VFHS é utilizar os veículos do lado oposto que se aproximam para acumular informações da camada física e MAC que passam aos veículos de relay, que por sua vez transmitem as informações para veículos que estão temporariamente desconectados. Os veículos inativos podem, assim, realizar uma entrega rápida, quando en-

tram no alcance de transmissão de um veículo relay que se aproxima.

Na arquitetura desenvolvida utilizaremos, além de técnicas de *handoff* vertical, mecanismos para aproveitar os recursos disponíveis pelo protocolo 802.21 para monitorar a rede, ou seja, capturar informações da rede para tomar a melhor decisão na realização do *handoff* sempre levando em consideração os requisitos da rede. Para isso acrescentamos uma informação a mais no serviço de informações do protocolo 802.21, informando qual é o tipo de aplicação que usuário está utilizando, com isso podemos filtrar melhor quem são os usuários da mesma aplicação e onde eles estão conectados, conseqüentemente diminuindo o tráfego na rede.

#### **4. Uma arquitetura para a gerência de mobilidade para redes veiculares com suporte a ambientes virtuais colaborativos**

A arquitetura de gerência de mobilidade intra- e inter-sistema para sistemas veiculares sem fio para suportar a ambientes virtuais colaborativos tem por finalidade fornecer conectividade para a aplicação e garantir que seus requisitos sejam garantidos.

Essa arquitetura é composta na base pelo protocolo 802.21, que fornece informações sobre o estado da rede, possibilitando a escolha da melhor rede para realização do *handoff*. O Mobile IP versão seis (MIPv6) também compõe a arquitetura proposta, realizando a manipulação dos endereços de cada nó na realização do *handoff*, com isso informando à estação base a necessidade de realizar um redirecionamento das mensagens. O protocolo 802.21 é auxiliado pelo MIPv6, enquanto o 802.21 captura as informações do estado da rede e verifica se a estação base está disponível para uma nova conexão, o MIPv6 realiza a troca do endereço do nó, manipula os mecanismos necessários para a realização do redirecionamento dos pacotes para esse novo endereço. Como mecanismo de transporte das mensagens é utilizado o UDP, que não necessita de nenhuma confirmação no recebimento das mensagens, com isso, diminuímos a quantidade de mensagens na rede.

A arquitetura difere das existentes pelo uso e pela extensão do protocolo 802.21, foi atribuído mais um campo no sistema de serviço desse protocolo informando qual a aplicação que os nós estão utilizando, com isso, deixando mais rápida a busca dos nós que fazem parte da mesma aplicação. Motivados pela dificuldade de integrar várias tecnologias de rede, devido às limitações de cada tecnologia, bem como garantir os requisitos mínimos da aplicação, sendo jogo ou simulação de uma situação real como aplicação, torna-se um grande desafio a junção do ambiente de simulação com as diversas redes.

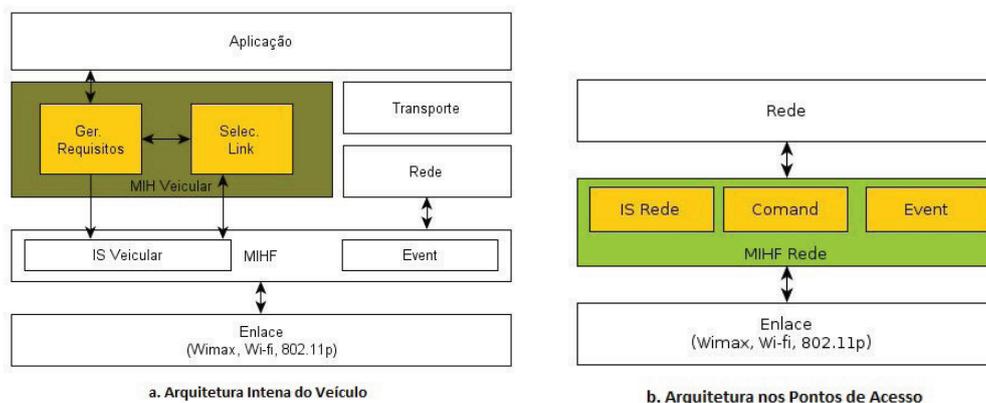
Como aplicação modificamos o suporte *overlay* para ambientes virtuais colaborativos sobre redes veiculares [Meneguette e Araujo 2010] [Meneguette e Araujo 2009], desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Esta aplicação tem como objetivo criar um suporte a simulações de emergência, para auxílio a equipes de resgates e bombeiros na tomada de decisão em alguma ocorrência, sendo executada sobre as redes veiculares.

A arquitetura está dividida em dois módulos, um módulo embarcado no veículo (Figura 1 a) e outro módulo nos pontos de acesso (Figura 1 b). O módulo embarcado no veículo é composto por:

- Uma aplicação podendo ser um jogo ou um ambiente de simulação de uma situ-

ação real que irá servir de ferramenta para uma equipe de resgate, como mencionado anteriormente.

- Um módulo de gerência de mobilidade denominado MIH Veicular que contém um módulo de gerência de requisitos que recebe os requisitos mínimos de rede que a aplicação precisa para ser executada e armazena os usuários que estão utilizando a mesma aplicação. O módulo MHI veicular também possui um módulo de seleção de *link*, que recebe as informações do estado da rede e com isso pode decidir se realizará um *handoff* e para qual rede irá se conectar. Tanto o módulo de gerência de requisitos quanto o seletor de *link* envia comando para o módulo MIHF
- Um módulo MIHF que é uma extensão das funções do protocolo 802.21. Esse módulo possui o Serviço de informações da rede veicular (IS Veicular), ou seja, esse serviço contém informações sobre o estado da rede veicular, bem como o campo adicional que informa quais aplicações que o nó está utilizando. O MIHF também possui o módulo de *Event* padrão 802.21 que informa se o *link* está ativo ou não.
- O protocolo utilizado para transporte das atualizações do jogo ou do ambiente virtual é o UDP, que não necessita de uma confirmação de recebimento da mensagem, com isso diminuindo a quantidade de mensagens trafegadas na rede.
- Na camada de rede é utilizado o MIPv6 para realizar a manipulação do endereço do nó.
- No enlace pode ser utilizado tanto o Wi-fi, o WiMax quanto o 802.11p (para comunicação entre os veículos)



**Figura 1. Arquitetura para a gerência de mobilidade para redes veiculares**

Já o módulo dos pontos de acesso possui:

- Em sua camada de rede o protocolo MIPv6, para a gerência do endereçamento dos nós e do prefixo do ponto de acesso, necessário para o roteamento das mensagens.
- Também possui um módulo MIHF que possui as funções padrões do protocolo 802.21, entretanto no serviço de informação (IS rede) possui um campo referente aos tipos de aplicação que os nós conectados a ela estão utilizando.
- Na camada de Enlace pode-se ter tanto Wi-Fi quanto WiMax e o protocolo IEEE802.11p.

A Figura 2 ilustra o diagrama de sequência do funcionamento da arquitetura de gerência de mobilidade. No início de uma aplicação, ou um jogo ou uma aplicação de

simulação, o gerenciador de requisitos recebe os requisitos da aplicação (fase 1), passa posteriormente esses requisitos para o selecionador de *link* (fase 2), esse por sua vez envia todas as configurações para o MIHF (3 - 7). Após essa primeira etapa de inicialização a aplicação irá procurar outros participantes, para isso a aplicação envia uma requisição para o módulo de gerência que por sua vez se registra no MHIF e também envia uma requisição de busca de informação da aplicação (8 - 10). O MHIF envia uma busca de informação para outros nós vizinhos e para as estações base que verificam se tem algum nó conectado a elas que está participando da mesma aplicação, caso tenha a estação base envia uma requisição para esses nós com o objetivo de certificar se eles ainda estão participando (11). O nó recebe essas informações, repassa para o MHIF, que por sua vez repassa para o gerenciamento, que monta sua tabela de participantes (11 e 12). Após a realização da busca de participantes de uma determinada aplicação, inicia a verificação dos participantes que estão na mesma área de interesse. Para essa verificação a aplicação envia uma mensagem para todos os participantes da aplicação para verificar quais estão compartilhado a mesma área de interesse, e ao receber as respostas, envia o pedido para todos os participantes que confirmaram seu pedido para receber e enviar as informações de atualização do ambiente (13 - 16).

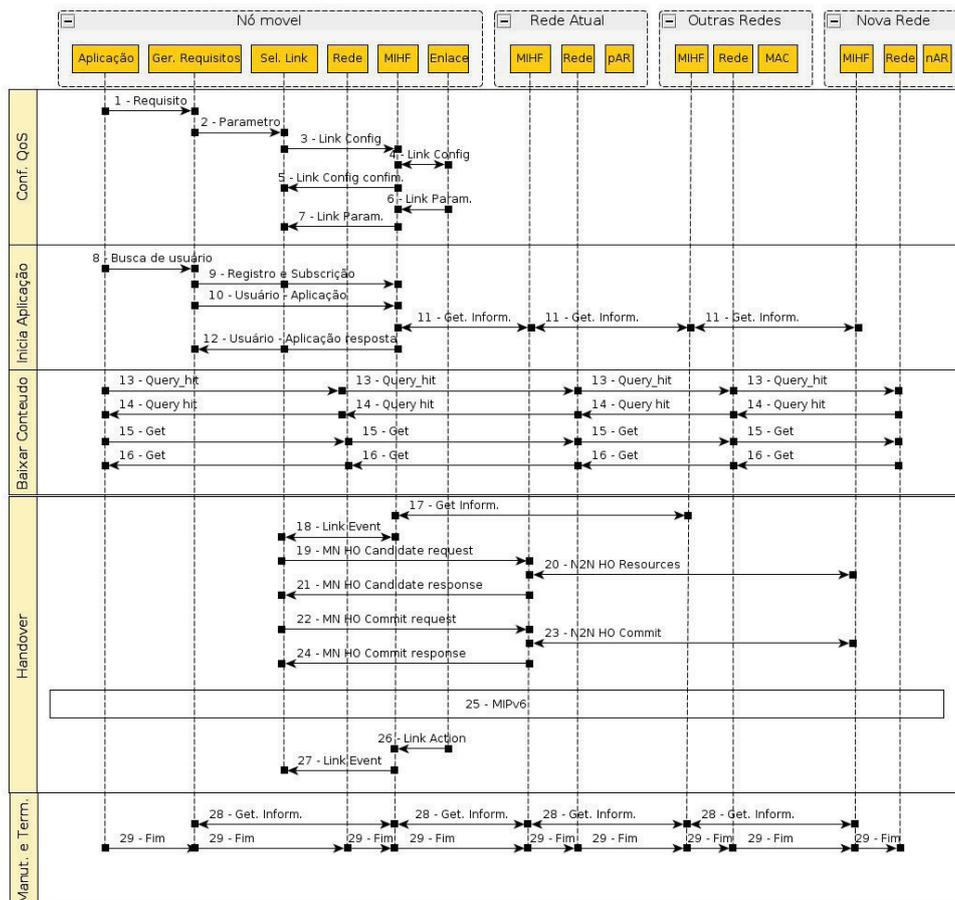


Figura 2. Diagrama de sequência.

Caso haja a necessidade do *handoff*, ou seja o modelo de seleção de *link* recebe um evento de *going down* do MHIF (18), o nó manda uma requisição para sua estação base,

que por sua vez envia requisições para outras estações base, posteriormente responde com informações sobre seus estados, a estação base atual repassa para o nó que requisitou (19 - 21). O nó, através do selecionador de *link* que verifica qual é a melhor estação base que irá cumprir com os requisitos da aplicação, envia um pedido de conexão para sua estação base, essa repassará a requisição para a estação selecionada (22 e 23). Caso a estação selecionada responda com uma confirmação, o protocolo MIPv6 terminará o processo de *handoff*, e o modelo MIHF informará que o link está pronto para o uso (23 - 27).

Para a manutenção dos nós ativos, de tempos em tempos o gerenciador de requisitos envia um pedido de busca de informações para o MHIF, que por sua vez repassa para todos os pontos de acesso em busca da informação do estado da rede, ou seja, do campo das aplicações que estão em execução para verificar se os nós estão compartilhando o mesmo jogo ou simulação que ele (28). Para a saída do jogo ou da simulação é enviada uma mensagem de término que passa por toda a arquitetura retirando todas as informações sobre aquela aplicação, essa mensagem também é passada por todos os pontos de acesso para informar aos seus nós conectados que aquele participante saiu do jogo (29).

## 5. Ambiente de Simulação e Análise de Resultado

A arquitetura foi implementada no *Network Simulator 2* (ns-2), utilizando o modelo do NIST [Nist 2010] que já tem implementado o protocolo 802.21 e fornece a possibilidade de um nó possuir mais de uma interface de rede. Como cenário de simulação utilizamos: o modelo de mobilidade *RandomWaypoint*, 50 veículos se movimentando, um nó cabeado e um roteador que conecta as estações base das redes Wi-Fi e WiMax. Para a aplicação passamos o suporte *overlay* desenvolvido na UFSCar [Meneguette e Araujo 2009] para C++ integrando-o com o simulador ns2. Posteriormente modificamos a estrutura desse suporte retirando as mensagens de manutenção, deixando esta função a cargo do protocolo 802.21 através do módulo de gerência de requisitos. Outra modificação foi passar a tabela de aplicação do suporte *overlay* para o módulo de gerência de requisitos.

Ao término dessas modificações avaliamos nossa arquitetura de gerência por meio de simulações, que tiveram como objetivo avaliar o tempo médio de *handover* e a distribuição das conexões entre as interfaces de rede, para isso, optamos por não ter nós fora do alcance de algum ponto de acesso. A arquitetura foi avaliada em quatro aspectos: vazão da rede, perda de pacotes, tempo de atraso dos pacotes e tempo para a realização do *handoff*. Foram realizados vários testes variando a velocidade do veículo entre 5, 10, 15, 20, 25 metros por segundo, para cada cenário foram realizadas 10 simulações. Calculamos os intervalos de confiança de noventa e cinco por cento, entretanto alguns intervalos não são visíveis nas figuras pelos seus pequenos valores, como podemos ver por exemplo no gráfico da vazão na Figura 3 e no gráfico de perda de pacote na Figura 5.

A Figura 3 apresenta o gráfico de vazão de cada interface de rede. Podemos observar que o mecanismo com o protocolo 802.21 teve um melhor balanceamento entre as redes sem fio, pois o protocolo 802.21 fornecia informações sobre o estado da rede, ou seja, fornecia dados importantes para a melhor seleção da rede, para que os requisitos da aplicação fossem garantidas. Entretanto no caso onde só utilizamos o protocolo MIPv6 é possível observar que grande parte das conexões foi gerenciada pela rede Wi-fi, pois o mecanismo de *handoff* não tinha informações suficientes para realizar a melhor escolha da rede deixando o nó na rede em que já estava conectado. Uma pequena melhoria

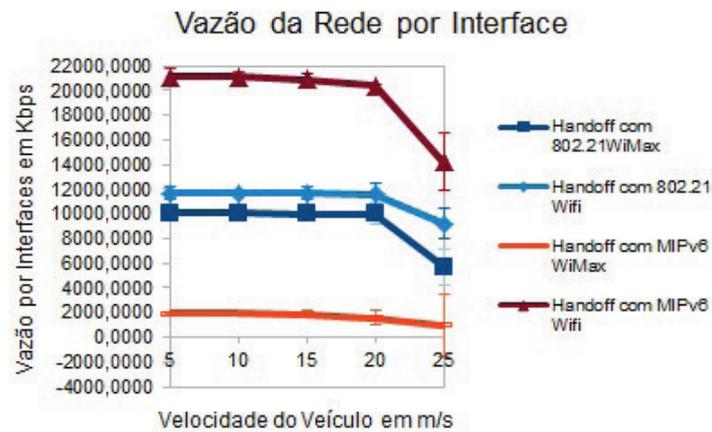


Figura 3. Gráfico da vazão por interface de rede.

com o uso do IEEE 802.21 também pode ser vista quando somamos a vazão de todas as interfaces, como mostrado na Figura 4.

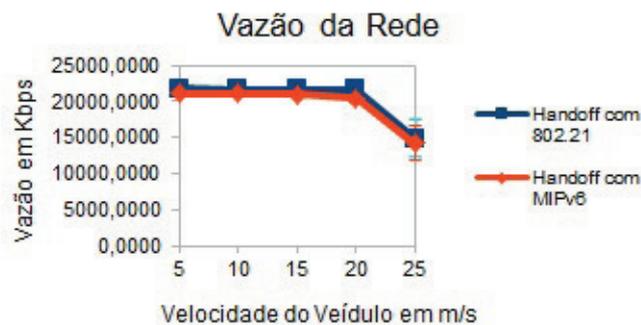


Figura 4. Gráfico da vazão da rede.

Até 20 m/s o mecanismo que utiliza o protocolo 802.21 fornece uma vazão um pouco melhor na rede, devido à menor quantidade de pacotes perdidos, tanto pela desconexão do nó, quanto pela perda de pacote no momento da realização do *handoff*. Podemos observar também uma queda na vazão da rede quando a velocidade aumenta para 25 m/s, isso ocorre pois há um aumento no número de pacotes perdidos, como pode ser visto na Figura 5.

Esta figura mostra a quantidade de pacotes perdidos pela rede. Podemos observar uma maior perda de pacote quando utilizamos somente o MIPv6, pois no momento de *handoff* esse mecanismo teve uma maior perda de pacote. Esse aumento na perda de pacotes ocorre pois o tempo de *handoff* desse mecanismo foi maior do que no caso do mecanismo com o 802.21, como podemos ver na Figura 6, com isso houve uma maior perda de mensagens no momento de *handoff*. Em um cenário onde os nós se movimentam com uma velocidade de 20 m/s ocorrem uma média de 10 *handoffs*, ou seja, uma média 10 veículos desconectados devido ao *handoff*, com uma média de 0.04 s de desconexão. O mecanismo sem o protocolo 802.21 teve uma média de 28 pacotes perdidos a mais do que com o protocolo 802.21 no momento do *handoff*, com tempo médio de atraso superior a 0.06s.



Figura 5. Gráfico da perda de pacotes.

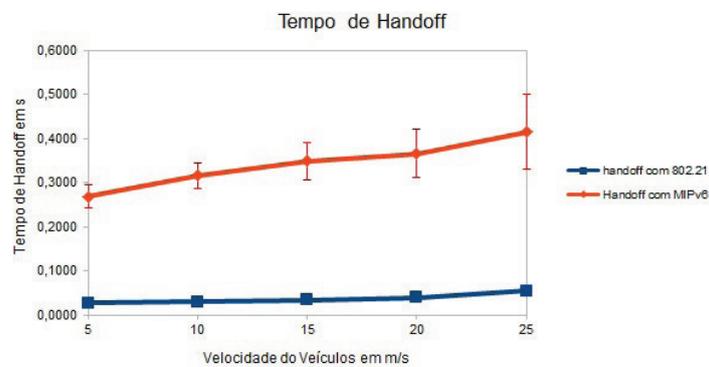


Figura 6. Gráfico do tempo de Handoff.

A Figura 6 mostra que o tempo de *handoff* do mecanismo que utiliza o protocolo 802.21 é menor do que no caso do outro mecanismo, isso porque com o protocolo 802.21 elimina-se a necessidade de algumas mensagens no momento da descoberta e da troca de novas redes. Esse tempo de *handoff* causou um pequeno impacto no atraso dos pacotes, visto na Figura 7.

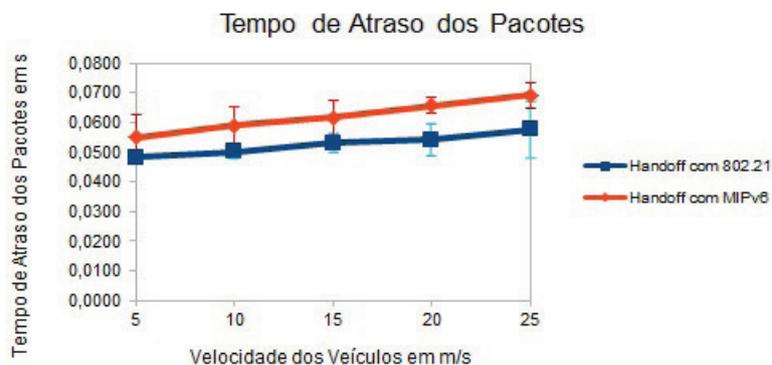


Figura 7. Gráfico do tempo de atraso dos pacotes.

Podemos observar nesta figura que o mecanismo que utilizou somente o MIPv6, ou seja sem o IEEE 802.21, teve um atraso maior na entrega dos pacotes do que no caso

do mecanismo com o uso do IEEE 802.21, devido ao tempo de *handoff* e também pela quantidade de pacotes perdidos, havendo a necessidade de algumas retransmissões.

Em resumo os gráficos demonstram que a arquitetura proposta obteve um melhor balanceamento das conexões, um menor tempo de handover e também um menor tempo no atraso dos pacotes comparado com a arquitetura que só possui o protocolo MIPv6.

## 6. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvida e avaliada uma arquitetura de redes multi-acesso sem fio, voltada para as redes veiculares para suporte a ambientes virtuais colaborativos, que considera a necessidade das pessoas se deslocarem, enquanto fazem uso de suas aplicações como jogos ou simulações, sem perder a conexão ao longo do percurso (continuidade de sessão), ainda que alternem entre diferentes redes de acesso ou até mesmo aumentem seu poder computacional.

Podemos observar que a arquitetura que utilizou o protocolo 802.21 teve um melhor desempenho do que se utilizássemos somente o protocolo MIPv6. Com o protocolo 802.21 verificou-se um menor tempo de *handoff* e também uma menor perda de pacotes, devido à eliminação de algumas mensagens do MIPv6 no momento de realizar a busca de novas redes. O aumento na perda de pacote do MIPv6 está relacionado à soma da perda por desconexão, bem como com a perda de pacote durante o *handoff*. Com o mecanismo de gerência e o uso do 802.21 obteve-se um balanceamento do uso das redes, devido às informações capturadas pelo 802.21, com isso o mecanismo de seleção de link pode tomar a melhor decisão no momento de se realizar o *handoff*.

Como trabalho futuro serão realizadas novas simulações para verificar o impacto sofrido na aplicação devido a esses tempos de atraso e tempo de *handoff*, através da verificação do tempo de inconsistência do ambiente virtual. O próximo mecanismo de *handoff* será o diagonal que possibilita o uso de mais de uma interface de rede simultaneamente, com isso, aumentando o poder computacional e aumentando a taxa de entrega dos pacotes.

## Referências

- Akan, O. e Akyildiz, I. (2004). Atl: an adaptive transport layer suite for next-generation wireless internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(5):802–817.
- Akyildiz, L., McNair, J., Ho, J., Uzunalioglu, H., e Wang, W. (1998). Mobility management in current and future communications networks. *IEEE Network*, 12(4):39–49.
- Chao, H.-C. e Zeadally, S. (2008). Guest editorial: Mobility protocols for its/vanet. *Comput. Commun.*, 31:2765–2766.
- Chen, Y.-C., Hsia, J.-H., e Liao, Y.-J. (2009). Advanced seamless vertical handoff architecture for wimax and wifi heterogeneous networks with qos guarantees. *Computer Communications*, 32(2):281–293.
- Chiu, K.-L., Hwang, R.-H., e Chen, Y.-S. (2009). Cross-layer design vehicle-aided handover scheme in vanets. *Wireless Communications and Mobile Computing*.
- Dikaiakos, M., Florides, A., Nadeem, T., e Iftode, L. (2007). Location-aware services over vehicular ad-hoc networks using car-to-car communication. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(8):1590–1602.

- Dutta, A., Das, S., Famolari, D., Ohba, Y., Taniuchi, K., Fajardo, V., Lopez, R. M., Kodama, T., e Schulzrinne, H. (2007). Seamless proactive handover across heterogeneous access networks. *Wirel. Pers. Commun.*, 43:837–855.
- Jiang, D. e Delgrossi, L. (2008). Ieee 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*, pp. 2036–2040.
- Meneguette, R. I. e Araujo, R. B. (2009). Rede overlay de suporte a ambientes virtuais colaborativos em redes veiculares. Tese de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos.
- Meneguette, R. I. e Araujo, R. B. (2010). Rede overlay de suporte a ambientes virtuais colaborativos em redes veiculares. Symposium on Virtual e Augmented Reality. Sociedade Brasileira de Computação, Rio Grande do Norte.
- Mussabbir, Q., Yao, W., Niu, Z., e Fu, X. (2007). Optimized fmipv6 using ieee 802.21 mih services in vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(6):3397–3407.
- Nandan, A., Das, S., Pau, G., Gerla, M., e Sanadidi, M. (2005). Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks. In *Wireless On-demand Network Systems and Services, 2005. WONS 2005.*, pp. 32–41.
- Nist (2010). disponível em: <http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm>. acessado em 2010.
- Prakash, A., Tripathi, S., Verma, R., Tyagi, N., Tripathi, R., e Naik, K. (2010). A cross layer seamless handover scheme in ieee 802.11p based vehicular networks. In *Contemporary Computing*, volume 95 of *Communications in Computer and Information Science*, pp. 84–95. Springer Berlin Heidelberg.
- Taniuchi, K., Ohba, Y., Fajardo, V., Das, S., Tauil, M., Cheng, Y.-H., Dutta, A., Baker, D., Yajnik, M., e Famolari, D. (2009). Ieee 802.21: Media independent handover: Features, applicability, and realization. *IEEE Communications Magazine*, 47(1):112–120.
- Tonguz, O. K. e Boban, M. (2010). Multiplayer games over vehicular ad hoc networks: A new application. *Ad Hoc Networks*, 8(5):531–543.
- Yang, K., Ou, S., Chen, H.-H., e He, J. (2007). A multihop peer-communication protocol with fairness guarantee for ieee 802.16-based vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(6):3358–3370.
- Yin, J., ElBatt, T., Yeung, G., Ryu, B., Habermas, S., Krishnan, H., e Talty, T. (2004). Performance evaluation of safety applications over dsrc vehicular ad hoc networks. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, VANET '04*, New York, NY, Estados Unidos. ACM.
- Yousefi, S., Mousavi, M. S., e Fathy, M. (2006). Vehicular ad hoc networks (vanets): Challenges and perspectives. In *2006 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, pp. 761–766.
- Yusof, A., Ismail, M., e Misran, N. (2007). Handoff architecture in next-generation wireless systems. In *2007. APACE 2007. Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics*, pp. 1–5.