

Uma Arquitetura para Gerenciamento de Mobilidade de Fluxo para Redes Veiculares

Rodolfo I. Meneguette¹,

¹Instituto Federal – IFSP
meneguette@ifsp.edu.br

Abstract. *Vehicular network applications may be benefited by the simultaneous use of more than one network interface, thus maximizing throughput and reduce latency. In order to take advantage of all radio interfaces of the vehicle and to provide a good quality service for vehicular applications, we have developed an architecture for perform the managing the flow of mobility based on some application classes of vehicle network. Our goal is to minimize the time of handover between the rings of flows in order to meet the minimum requirements of vehicular application classes as well as to maximize your income. NS3 simulations were performed to analyze the behavior of our architecture, comparing it to other four. As a result of this work, it was observed that the proposed architecture presented a low delivery time of messages, packets with lower loss and lower delay.*

Resumo. *Aplicações para as redes veiculares podem ser beneficiadas pelo uso simultâneo de mais de uma interface de rede, assim maximizando a taxa de transferência e reduzindo a latência. A fim de tirar proveito de todas as interfaces de rádio do veículo e para proporcionar uma boa qualidade de serviço para aplicações veiculares, desenvolvemos uma arquitetura para realizar a gestão da mobilidade dos fluxos com base em algumas classes de aplicação de rede veiculares. Nosso objetivo é minimizar o tempo de handover entre a toca dos fluxos, a fim de cumprir os requisitos mínimos de classes de aplicação veicular, bem como para maximizar a taxa de transferência. Simulações no NS3 foram realizadas para analisar o comportamento de nossa arquitetura, comparando-a com outras quatro. Como resultado deste trabalho, observou-se que a arquitetura proposta apresentou um baixo tempo de entrega das mensagens, com menor perda de pacotes e menor atraso.*

1. Introdução

Na última década, a utilização de dispositivos móveis, comunicação *ad hoc* e computação ubíqua mudaram o estilo de vida das pessoas, possibilitando a troca de informação em qualquer lugar e a qualquer tempo. Espera-se que a utilização da comunicação móvel em veículos seja realidade em poucos anos, uma vez que a indústria automobilística, governos e universidades ao redor do mundo estão aplicando recursos para criar um sistema de transporte eficiente e seguro [Al-Sultan et al. 2014, Hartenstein and Laberteaux 2008, Marfia et al. 2013, Cesana et al. 2010]. Redes *ad hoc* veiculares ou simplesmente redes veiculares, são um tipo especial de redes móveis *ad*

hoc, onde os veículos são equipados com uma interface sem fio e dispositivos de processamento e sensoriamento. Tais veículos criam uma rede móvel durante seu percurso pelas estradas [Al-Sultan et al. 2014, Karagiannis et al. 2011].

As aplicações em redes veiculares podem ser divididas em três classes [Hartenstein and Laberteaux 2008]: entretenimento, segurança e assistência ao motorista. As aplicações de entretenimento dão suporte ao acesso a internet, propagandas, compartilhamento de conteúdo, chats entre outras. As aplicações relacionadas a segurança tem como objetivo disponibilizar para o motorista informações relacionadas com o tráfego de carros em seu percurso, engarrafamentos, condições da estrada, acidentes entre outras. O propósito dessas aplicações é encaminhar informações para que o motorista possa decidir, em tempo hábil, a melhor solução para um transporte seguro. As aplicações de suporte ao motorista disponibilizam informações sobre abastecimento, alimentação, manutenção do veículo ao longo das estradas entre outras. O conjunto dessas aplicações suportam soluções para os sistemas de transporte inteligentes (ITS) [Caulfield and O'Mahony 2007, Hartenstein and Laberteaux 2008].

Além da comunicação entre veículos, tecnologias de informação e comunicação podem ser utilizadas para suportar as diversas aplicações em sistemas de transporte inteligentes. Através da utilização de diferentes tecnologias de comunicação, os veículos, utilizando diferentes interfaces de rede, podem encaminhar pacotes para diferentes redes com o objetivo de não perder a conexão de dados para suportar uma determinada aplicação. A gestão da mobilidade de redes é feita através do componente de *handover*. Um bom gerenciamento de *handover* pode permitir que um dispositivo móvel mantenha sua conexão ativa utilizando diferentes redes de comunicação.

O *handover* é necessário quando um dispositivo, conectado a outro dispositivo/ponto de acesso, se afasta da sua área de cobertura, entrando na área de cobertura de um outro dispositivo/ponto de acesso. Nesse contexto, é necessário um mecanismo de transferência de conexão para que a conexão atual não seja interrompida. O *handover* pode ser dividido de duas formas: horizontal e vertical. O *handover* horizontal acontece quando é necessário a transferência de conexão entre dispositivos que possuem a mesma tecnologia de rede. O *handover* vertical acontece quando é necessário a transferência de conexão entre dispositivos que possuem tecnologias de redes diferentes, ou seja, redes heterogêneas. Assim, ao executar o *handover*, questões como segurança, largura de banda, atraso e fluxo de dados devem ser levadas em consideração.

Dessa forma, é necessário uma arquitetura de comunicação para o gerenciamento de diferentes conexões considerando diferentes tecnologias de rede. O objetivo desse trabalho é propor uma arquitetura de comunicação comum para realizar o *handover* vertical de maneira eficiente. Foi feito um estudo sobre as diferentes classes de aplicações, definindo requisitos mínimos referentes a perda de pacotes, vazão e atraso na comunicação. O gerenciador de fluxo analisa o estado das conexões ativas que podem ser utilizadas para realizar o *handover* com base nos requisitos mínimos da aplicação. O *handover* vertical é feito considerando as seguintes tecnologias de comunicação, WiFi, LTE (*Long Term Evolution* e 802.11p). A solução proposta foi comparada com soluções da literatura considerando as seguintes métricas de rede: atraso na comunicação, tempo para realizar o *handover*, quantidade de mensagens de controle, perda de pacotes e vazão de dados. Os

resultados mostram que a arquitetura proposta é capaz de realizar *handover* vertical de maneira mais eficiente em comparação com as demais soluções.

O restante do trabalho está estruturado da seguinte maneira. A seção 2 apresenta os trabalhos da literatura. A seção 3 propõe a arquitetura para realizar o *handover* vertical em redes veiculares. Os resultados da comparação da arquitetura proposta em comparação com outras soluções da literatura são apresentados na seção 4. A seção 5 apresenta a conclusão e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Essa seção apresenta algumas trabalhos relacionados com mecanismos que, de alguma forma, melhora o desempenho de *handover*, permitindo a utilização simultânea de múltiplas interfaces durante a mobilidade dos veículos para garantir um fluxo de dados contínuo.

Kim e colaboradores [Kim et al. 2012] propuseram um mecanismo de *handover* para o fluxo contínuo sobre IP. O mecanismo é otimizado para tráfego de pacotes e é baseado em gerência de mobilidade *network-based*. O mecanismo proposto utiliza o protocolo *fast handover for PMIPv6* (FPMIPv6). Por esse protocolo não suportar gerenciamento de fluxo, os autores definiram novos cabeçalhos de mobilidade, como o *handover initiation for flow mobility* (HIF), que envia informações de uma MAG (*Mobile Access Gateway*) para a outra sobre o nó móvel. Outra mensagem que foi incorporada pelos autores foi a *handover acknowledge for flow mobility* (HAF), que é uma extensão da mensagem *handover acknowledge* (HACK) responsável por enviar comandos para a MAG. A mensagem HACK é definida pelo protocolo FPMIPv6. Esses cabeçalhos são uma extensão do *handover initiate* (HI), que é responsável pelo gerenciamento de mobilidade do protocolo FPMIPv6. Essa extensão foi realizada com o intuito de obter maior eficiência no suporte a mobilidade de fluxo no FPMIPv6. Além disso, uma nova opção de mobilidade é definida para a transmissão de informações da interface de comunicação, opção chamada de *interface-status-and-action* (ISA), que indica o estado do nó móvel bem como a ação desejada da interface de rede do nó móvel.

Em [Makaya et al. 2012], os autores propuseram um novo mecanismo para *selective IP traffic offload* (SIPTO) considerando redes de comunicação veiculares. Este mecanismo fornece suporte para *offload* de dados, transferência sem descontinuidades e mobilidade de fluxo IP para dispositivos móveis equipados com múltiplas interfaces. Os autores criaram um mecanismo chamado *multilink striping management* (MSM), que permite o descarregamento de dados e fluxo de mobilidade entre diferentes tecnologias de rede de acesso. Os relatórios sobre a qualidade do enlace e do estado da rede (ou seja, o núcleo da rede e o acesso) são usados como gatilhos para o MSM decidir se haverá uma mudança no fluxo, ou um *offload* de dados ou um *handover*, necessário para evitar interrupções da sessão. Os serviços MIH são usados para acionar a necessidade de uma troca de fluxo, *offload* de dados, ou de *handover*. Usando as primitivas MIH, a mobilidade do fluxo IP, o *handover*, e o *offload* de dados são feitos sem problemas e permitem uma melhor utilização dos recursos da rede, reforçando simultaneamente a capacidade da rede.

Chen-wen e Ping [Chen-wen and Ping 2009] propuseram o "*improved fast han-*

do ver scheme for hierarchical mobile IPv6" (IF-HMIPv6) de modo a reduzir o atraso de transferência e perda de pacote. O *Mobile Node* (MN) envia a mensagens de solicitação de roteador para o *proxy* (IRtSolPr). A mensagem IRtSolPr contém informações sobre o endereço MAC ou o identificador do AP. Além disso, como uma maneira de identificar o MAP que MN segue durante o processo de IF-HMIPv6, um "I Flag" foi incluído na mensagem IRtSolPr. Ao utilizar este "I Flag", MAP foi capaz de processar o novo processo de configuração CoA e envia uma mensagem *mensagem handover initiation* (HI) para o NAR, a fim de estabelecer um túnel.

Meneguette e colaboradores [Meneguette et al. 2013] propuseram o desenvolvimento de uma arquitetura, chamada de *Seamless Flow Mobility Management Architecture* (SFMMA), que consiste de uma infraestrutura comum para tecnologia multi-acesso de forma transparente em redes sem fio, trabalhando com tecnologias como WiMax e LTE, além de tecnologias sem fio para redes veiculares, provendo uma conexão contínua e transparente para as aplicações veiculares. O objetivo desta arquitetura é maximizar o tráfego da rede, mantendo os requisitos mínimos das aplicações veiculares, tais como perda de pacote, vazão e atraso. Para isso, foi criado um gerenciador de fluxo baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e no estado de cada rede ativa no ambiente. Entretanto, essa proposta possui um alto número de mensagens de controle para estabelecer a troca de fluxo entre as interfaces. Devido ao uso do protocolo 802.21 para a realização da troca de fluxo, a arquitetura SFMMA usa uma quantidade significativa de mensagens de controle, por exemplo, para uma troca de fluxo iniciada pelo MN é necessário pelo menos 13 mensagens de controle, o que pode deixar a gerência de mobilidade lenta e possivelmente instável.

Neste trabalho é proposto uma arquitetura que supera as limitações da arquitetura SFMMA. Na arquitetura proposta AMOMENT foi retirada os mecanismos de decisão de mudança tanto no MAG como no Nó móvel, assim a decisão de qual rede irá mudar ficara somente a cargo do LMA diminuindo assim trocas desnecessárias, além disso diminuindo a inconsistência que existia no SFMMA. Além das modificação do mecanismo de decisão de troca do fluxo da mensagem, o protocolo AMOMENT propõe uma estruturação nas mensagens que são trocadas entre os elementos da rede, o LMA, MAG e NM, com o objetivo de diminuir a quantidade de mensagens de controle na rede.

3. Uma Arquitetura para Gerenciamento de Mobilidade de Fluxo para Redes Veiculares

Neste artigo, propomos o desenvolvimento de uma arquitetura, chamada *MObility Management NeTworks - AMOMENT*, que consiste de uma infraestrutura comum para tecnologia multi-acesso de forma transparente em redes sem fio, integrando tecnologias como LTE, além de tecnologias sem fio para redes veiculares com o objetivo de prover uma conexão contínua e transparente para as aplicações veiculares. O objetivo desta arquitetura é maximizar a vazão da rede, mantendo os requisitos mínimos das aplicações veiculares, tais como perda de pacote, vazão e atraso. Para isso, criamos um gerenciador de fluxo baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e no estado de cada rede ativa no ambiente.

Essa arquitetura é uma evolução do *Seamless Flow Mobility Management Archi-*

tecture (SFMMA) [Meneguette et al. 2013]. A arquitetura AMOMENT utiliza o protocolo PMIPv6 para fazer o gerenciamento de endereço. Além disso, a arquitetura usa somente um mecanismo de decisão encontrada no LMA, com o intuito de diminuir o número de troca de fluxo desnecessárias entre as interfaces de rede [Safa Sadiq et al. 2014]. A arquitetura AMOMENT também propõem uma nova estruturação das mensagens que são trocadas entre os elementos da rede, diminuindo assim a quantidade de mensagens de controle da rede, bem como auxiliando no mecanismo de decisão de troca de fluxo deixando apenas para o LMA esse função, porém o Nó Móvel poderá iniciar o processo de troca.

A arquitetura AMOMENT usa o módulo do MAG para fazer o monitoramento dos fluxos de dados, porém não permitindo que o MAG tomem qualquer decisão e iniciativa para a realização da troca de fluxo. Assim, o LMA realiza toda a decisão de troca de fluxo baseado nas informações obtidas. Com essas informações o LMA poderá, além de selecionar a rede, isolar os fluxos de informação de cada MAG que está em seu domínio, obtendo assim uma maior flexibilidade no momento da tomada de decisão de mudança de fluxo.

O módulo embarcado no veículo possui um componente de gestão de mobilidade que é uma reestruturação do protocolo 802.21. Essa reestruturação permitira uma redução no número de mensagens de controle na rede, bem como facilitar na obter informações dos estados das interfaces de rede, ou seja, o MAG em que a interface de rede está conectada, e como essas interfaces estão conectadas. Essa informação é necessária realizar o mapeamento entre os fluxos das mensagens com as interfaces de rede. Além disso, esse módulo possui mecanismos de gerência de requisitos das aplicações. Como o veículo possui múltiplas interfaces de rede é necessário lidar com várias tecnologias de rede, como o WiMax, LTE das redes celulares ou com alguns protocolos da família 802.11.

3.1. Reestruturação do 802.21

Os serviços definidos pelo protocolo 802.21 (MIES, MICS e MIIS) permitem obtenção e armazenamento de informações relevantes sobre o estado da rede, tais como a perda, vazão, e a informação de quais são as sub-redes existentes.

Para a eliminação de mensagens de controle do protocolo 802.21 padrão, criamos uma nova mensagem chamada *Change_Flow* que tem a responsabilidade de indicar, iniciar e auxiliar no gerenciamento da mobilidade do fluxo, ou seja, facilitará na troca de fluxo entre as interfaces de rede. Com essa mensagem podemos diminuir a quantidade de mensagens de controle na rede, agilizando o processo de troca dos fluxos pois carrega consigo informações relevantes para essa troca, assim, eliminando aproximadamente 5 mensagens do protocolo 802.21 padrão.

A mensagem contém os seguintes campos:

- ID_message: identificador da mensagem.
- ID_Source: identificador de quem iniciou a troca: MN ou LMA.
- ID_Flow: identificador do fluxo.
- HNP: indica os prefixos que precisam ser modificados
- MAG: indica o MAG que está atualmente roteando o fluxo que precisa ser modificado.

- MN: indica qual é o MN que está transmitindo o fluxo.

A Figura 1 ilustra os campos da mensagem *Change_flow*. Essa mensagem é utilizada quando o nó móvel solicita a mudança de um determinado fluxo para o LMA. Podemos observar que o campo MN está vazio, pois é o próprio nó móvel que está enviando a solicitação já foi identificado no campo *ID_source*, assim, não precisando usar o campo MN. Além disso, é preciso indicar qual é o fluxo o prefixo e o MAG que ele está conectado. Quando a mensagem tem a intenção de informar algum MAG de alguma mudança, ou seja, uma mensagem que sai do LMA para o MAG, no campo MAG estará o endereço do novo MAG que assumirá o fluxo.

ID_MESSAGE	ID_SOURCE	ID_FLOW	HNP	MAG	NULL
------------	-----------	---------	-----	-----	------

Figura 1. Mensagem *Change_flow*

Quando a troca é estabelecida, ou seja, quando as tabelas do PMIPv6 e do 802.21 são atualizadas, é enviada uma mensagem de reposta a essa requisição (como podemos ver na Figura 2). Essa mensagem contém o ID da mensagem para saber qual foi a requisição e um campo de resposta, que indica a situação da requisição. Caso a atualização de mudança foi realizada com sucesso, a resposta será um OK, caso contrário, será indicado o erro ocorrido. Na presença de algum erro, uma nova solicitação é realizada. As mensagens de *Get_Inform*, mensagem padrão do protocolo 802.21, são mantidas para que o nó móvel e o LMA possam ter informações do estado da rede e de seus fluxos.

ID_MESSAGE	1- MUDANÇA ESTABELECIDA
------------	-------------------------

Figura 2. Confirmação da mensagem *Change_flow*

3.2. Fluxo de Informação

Agrupamos aplicações das redes veiculares em três classes de acordo com seus objetivos gerais: *segurança*, *conforto* e *usuário*. A classe de segurança compreende aplicações destinadas a ajudar motoristas a lidar com eventos imprevisíveis ou perigos das vias públicas através do monitoramento do tráfego próximo ao veículo através de mensagens [Singh et al. 2011]. A classe de conforto inclui aplicações que se concentram no conforto e na eficiência do fluxo de carros nas ruas e estradas. Em outras palavras, esses aplicativos aumentam o grau de conveniência de motoristas e eficiência do tráfego através da troca de informação de tráfego entre as infraestruturas de acostamento e veículos [Singh et al. 2011]. A classe de usuário é composta de aplicações que estão focadas na interação entre os ocupantes do veículo e informações, anúncios, entretenimento e vários tipos de serviço de comunicação.

Essa classificação das aplicações da rede veicular permite a divisão do fluxo de informação da rede em três fluxos distintos: o primeiro fluxo para a classe de segurança, o segundo fluxo para classe de conforto e o terceiro fluxo para a classe de usuários. Para diferenciar estes fluxos, utilizamos uma 2-tupla, que consiste no protocolo usado para transmissão e a porta de destino. Em resumo, o fluxo é a agregação do tráfego das mensagens das aplicações de uma mesma classe.

3.3. Procedimento de *Handover*

A criação de um fluxo ocorre quando um nó móvel inicia uma aplicação e começa a enviar mensagens na rede. No entanto, a maneira como o fluxo passa através da rede pode ser alterada ao longo do tempo, ou seja, ao longo da sua existência, um fluxo que foi originalmente definido para ser enviado através de uma tecnologia de rede em particular, pode ser encaminhado por outra tecnologia. Essa alteração no fluxo pode ser inicializada em dois locais diferentes: no nó móvel e no LMA.

A troca do fluxo pode ser inicializada pelo veículo. Essa inicialização pode ocorrer por duas razões: (i) quando da ativação de uma interface de rede, ou (ii) quando os parâmetros de rede ou o estado do fluxo atual não satisfazem os requisitos mínimos da aplicação (vazão, perda de pacotes e atraso).

Quando uma nova interface de rede é ativada, há dois eventos a considerar: (1) se todas as aplicações são mapeadas para outra interface de rede, e (2) se houver um fluxo previamente mapeado para essa interface, e este fluxo foi estabelecido na LMA, a LMA atribui o mesmo prefixo de rede com o fluxo de destino. Caso contrário, a LMA atribui um novo prefixo de rede.

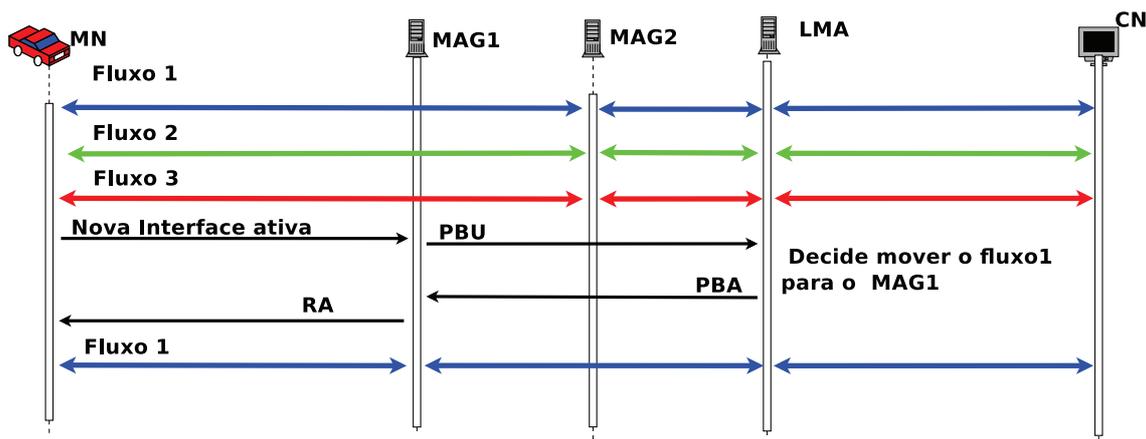


Figura 3. Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo nó móvel devido à disponibilidade de uma nova interface de rede

A Figura 3 ilustra a troca de fluxo para a mobilidade de fluxo pela ativação de outra interface de rede. Há três fluxos de tráfego passando pela interface 1. Supõe-se que a preferência da interface 2 é para o fluxo 1. Quando a interface de LTE é ativada, o fluxo 1 será movido para esta nova interface. No processo de atualização do *binding*, o fluxo de entrega está previsto para a nova interface e o LMA atribui HNP1 para a nova interface. Portanto, a interface LTE fica com o prefixo HNP1 como um prefixo de rede.

Se um parâmetro de rede está fora dos limites esperados (a perda de pacote é elevada, ou o atraso de um dado fluxo é elevado), o nó pode iniciar uma troca de interface para que os requisitos do fluxo possam ser cumpridos.

A Figura 4 descreve as etapas envolvidas na troca de fluxo quando a iniciativa é do nó móvel. Quando o nó percebe que alguns dos parâmetros do estado do fluxo ou os parâmetros de rede se encontram fora dos valores esperados (etapa 1), então inicia a troca

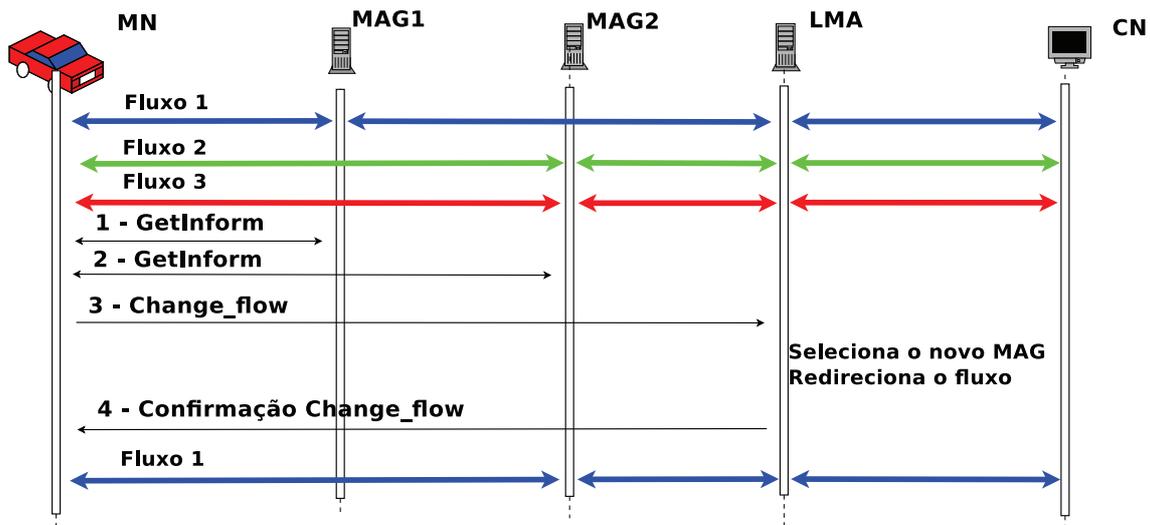


Figura 4. Diagrama de Sequência para troca de interface devido à iniciativa do nó móvel

de fluxo para uma nova interface. Em primeiro lugar, o MN envia um pedido para o LMA (etapa 2), solicitando a troca do fluxo. O LMA irá analisar qual é o melhor MAG para aquele nó móvel e irá se conectar, alterando o fluxo para esse novo MAG e informando o veículo da situação dessa mudança (etapa3). O MN, depois de receber essa mensagem, começa a enviar mensagens para o fluxo através do novo caminho.

O processo de troca de fluxo no LMA é muito mais simples do que no MN porque o LMA possui uma visão geral sobre o estado atual da rede, bem como toda a informação necessária para realizar uma mudança no fluxo. Existem duas maneiras de realizar essa mudança: (i) quando o LMA sabe que o MAG tem um HNP ligado a esse fluxo, e (ii) quando o MAG não tem um HNP ligado a esse fluxo.

A Figura 5 descreve a mudança do fluxo feita pelo LMA. No primeiro caso, o LMA sabe que o MAG2 já tem o HNP1 ligado ao fluxo 1, assim o LMA realiza a mudança do fluxo diretamente. No segundo caso, MAG1 não tem o HNP2 ligado ao fluxo 2, então o LMA informa ao MAG1 que HNP2 será responsável por encaminhar os pacotes do fluxo 2 (1). No final, o MN é notificado e começará a transmitir pacotes para o novo MAG (2).

Para auxiliar na decisão de troca de mensagem é necessário um mecanismo que indique qual será a melhor interface para um determinado fluxo. Para isso, utilizou-se o mecanismo baseado em lógica fuzzy desenvolvido por Meneguette e Colaboradores [Meneguette et al. 2013].

4. Avaliação

Nessa seção são descritos em detalhes os cenários utilizados para realizar as simulações bem como os resultados obtidos da comparação da arquitetura proposta para gerenciamento de mobilidade de fluxo para redes veiculares (AMOMENT) com outras arquiteturas presentes na literatura.

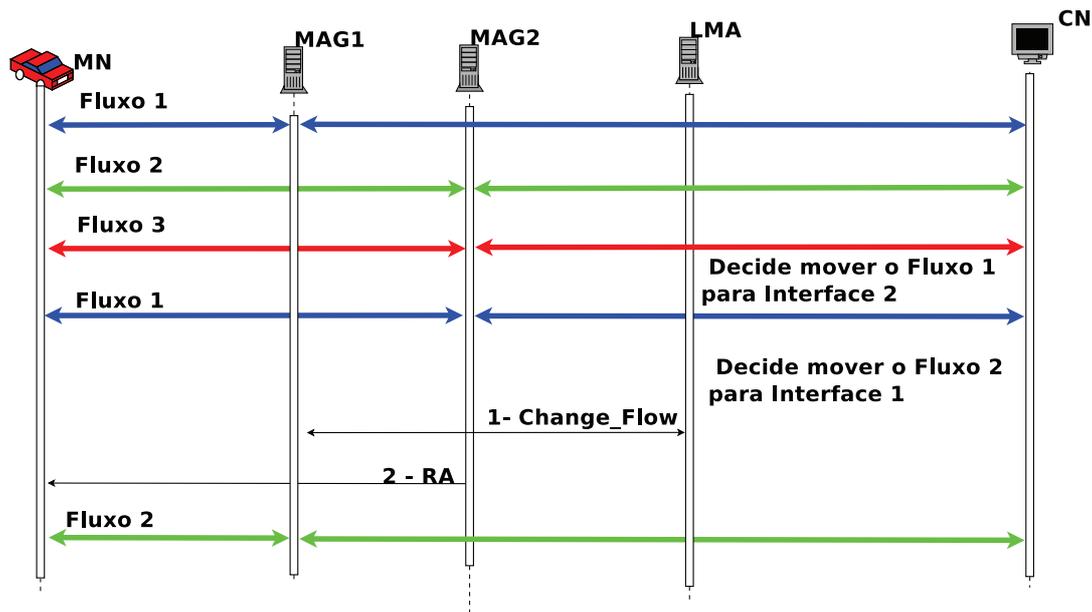


Figura 5. Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo LMA

4.1. Descrição dos Cenários

A arquitetura AMOMENT foi implementada no simulador network simulator (NS 3.13). Usamos o modelo PMIPv6 que foi desenvolvido por Hyon-Young Choi [Choi et al. 2010], bem como o modelo 802.21 [Salumu 2012]. O objetivo das simulações foi verificar o impacto que nossa arquitetura causaria tanto para a rede e as aplicações. Com isso, pretendemos verificar se a nova estruturação do 802.21 não causou uma sobrecarregar a rede e se o tempo de mudança de fluxo não afeta o aplicativo e rede. Para isso, usamos quatro métricas para avaliar a nossa arquitetura: vazão, perda de pacotes, atraso, tempo de *handover*, quantidade de mensagens de controle.

Em nosso cenário de simulação, cada veículo estava executando uma aplicação de cada classe de aplicação, ou seja, uma aplicação de classe de segurança, uma aplicação de classe conforto, e uma aplicação de classe de usuário. A frequência das mensagens para cada aplicação segue os padrões do Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações (ETSI) [European Telecommunications Standards Institute 2009], onde a aplicação de classe de segurança envia uma mensagem a cada 0.1s, a aplicação de classe usuário envia uma mensagem a cada 1s, e a aplicação da classe conforto envia uma mensagem a cada 0.5 segundos. A quantidade de veículos nas simulações variou de 100 a 500 veículos e todos os veículos executaram uma aplicação de cada classe de aplicações ao mesmo tempo. Todos os veículos estavam dentro do alcance de um ponto de acesso de rede celular. Pontos de acesso a rede sem fio foram espalhados pelo mapa. Entretanto, os pontos de acesso não cobrem todos os pontos do mapa.

O mapa utilizado para a simulação foi retirado de um bairro na cidade de Campinas, no Estado de São Paulo, Brasil. Foi utilizado o simulador de Mobilidade Urbana (SUMO) [Behrisch et al. 2011] para converter o mapa extraído do OpenStreetMap [OpenStreetMap 2012], como mostrado na Figura 6(b). Além disso, todos os veícu-

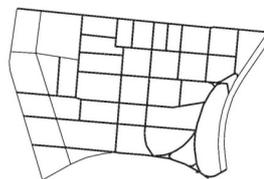
Tabela 1. Parâmetros de simulação

Parâmetros	Valores
Poder de transmissão	1.6 mW
Alcance de transmissão	200 m
Número de veículos	100, 200, 300, 400, 500 veículos/hora
Frequência classe de segurança	0.1s
Frequência classe usuário	1s
Frequência classe conforto	0.5s
Número de execuções	40
Intervalo de confiança	95%

los têm duas interfaces de rede, LTE e 802.11p, e ambas as interfaces têm seus endereços previamente atribuídos. Para a configuração só LTE usamos a configuração padrão do NS-3, que proporciona uma área de cobertura de aproximadamente 5 km para o LTE cobrindo todo o mapa. Entretanto para as configurações do 802.11p utilizamos um modelo de propagação de rádio two-ray ground e o raio de transmissão é 200 m. A Tabela 1 descreve os parâmetros da simulação.



(a) Real OpenStreet map



(b) SUMO map

Figura 6. Mapa de Campinas

Foram realizadas 40 execuções e calculamos intervalos de confiança de 95%. Nós comparamos nossa arquitetura com, SFMMA [Meneguet et al. 2013] e IF-HMIPv6 [Chen-wen and Ping 2009], além disso, definimos 3 cenários para avaliar o modelo de gerenciamento de mobilidade proposto:

- LTE: Todos os nós utilizam somente a rede LTE para transmitir e receber informações.
- WiFi: Todos os nós utilizam somente a rede WiFi para transmitir e receber informações.
- Híbrida: Ambas as redes, LTE e WiFi, estão ativas no ambiente, mas os nós apenas enviam informações sobre uma única interface, isto é, pela interface ao qual o nó está atualmente conectado. Para trocar um nó de interface de rede, utilizamos o mecanismo de limiar considerando a potência do sinal para a execução do *handover*. Todos os nós estão conectados inicialmente à rede WiFi.

4.2. Resultados

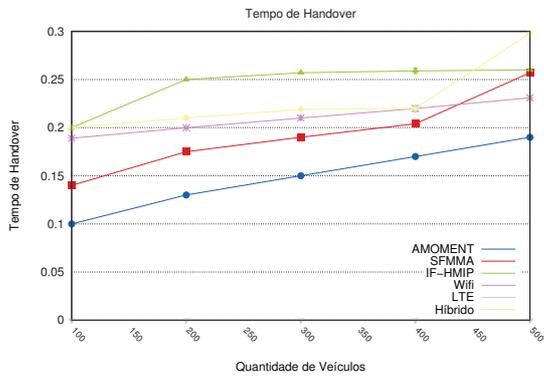
A Figura 7(a) mostra a média do tempo de *handover*. Nesses gráficos, pode-se observar que o AMOMENT tem um menor tempo de *handover*. Esse resultado está relacionado com o número de *handover* ocorridos e o estado da rede no momento do *handover*, além de estar relacionado com a quantidade de mensagens de controle na rede. Analisando o gráfico, o protocolo AMOMENT proporcionou uma redução de aproximadamente 44% em comparação com o SFMMA e uma redução de 60% comparado com o IF-HMIP. Essa redução ocorre devido ao conhecimento prévio sobre as condições da rede e os seus fluxos, evitando mudanças desnecessárias, bem como a diminuição do número de mensagens de controle na rede, como podemos ver na Figura 7(b).

A Figura 7(b) mostra a quantidade de mensagens de controle geradas na rede para a realização do *handover*. Podemos observar que a solução proposta está próximo do cenário que só possui o wifi, na qual as mensagens de controle corresponde somente a conexão do veículo ao ponto de acesso. Portanto, o protocolo proposto gera poucas mensagens devido ao uso da mensagem *Change_flow* que substitui algumas mensagens padrão do protocolo 802.21. O protocolo AMOMENT também ofereceu uma redução de aproximadamente 5% com relação ao Híbrido e uma redução de aproximadamente 50% em comparação ao IF-HMIPv6. O LTE manteve no 0 pois só possui uma única antena, não realizando nenhuma troca de fluxo. A quantidade de mensagens de controle e tempo de *handover* possuem um impacto nos resultados de atraso de mensagem, perda de pacote e, conseqüentemente, na vazão da rede.

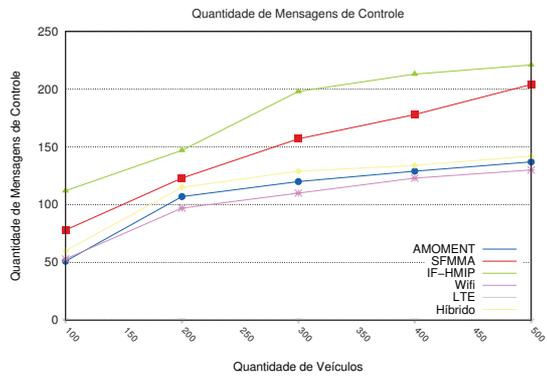
A Figura 7(c) mostra o atraso médio de todas as classes de aplicação. Podemos observar que o AMOMENT apresenta uma redução média no atraso de aproximadamente 33% em comparação com o WIFI e 23% em relação ao Híbrido. Quando há 500 carros na simulação, a solução proposta AMOMENT teve uma redução de 2% em média de atraso em relação ao SFMMA e uma redução 10% comparado com o mecanismo que possui somente o LTE. Isso ocorre porque o AMOMENT obtém um melhor equilíbrio dos pacotes a serem enviados entre as interfaces de rede, assim, não sobrecarregando nenhuma tecnologia.

Podemos ver na Figura 7(d) que a AMOMENT teve menos perdas de pacotes para todos os cenários. Dessa forma, ao dividir o tráfego entre múltiplas interfaces evita a sobrecarga de pacotes nos escalonadores de cada interfaces de rede no dispositivo. O protocolo AMOMENT proporcionou uma divisão entre as interfaces diminuindo essa disputa de pacote e obtendo um baixo tempo de *handover*. Proporcionando uma redução de perda de pacote de 5% comparado com o SFMMA e aproximadamente 80% comparado com o WiFi. Essa baixa quantidade de pacote impactou no resultado da vazão da rede, como veremos a seguir.

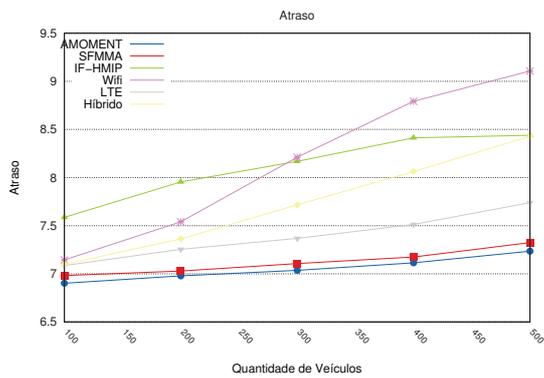
A Figura 7(e) mostra a vazão da rede em um cenário com 500 veículos. Podemos observar que o protocolo AMOMENT obteve uma menor variação em sua vazão, mostrando assim uma estabilidade da arquitetura para lidar com uma quantidade relevante de veículo. Diferentemente do SFMMA, que possui muito pontos espalhados, a solução proposta se mostra mais concisa. Se analisarmos os protocolos IF-MIPv6, LTE, WiFi e Híbrido, podemos observar o mesmo comportamento de variação de seus valores, devido



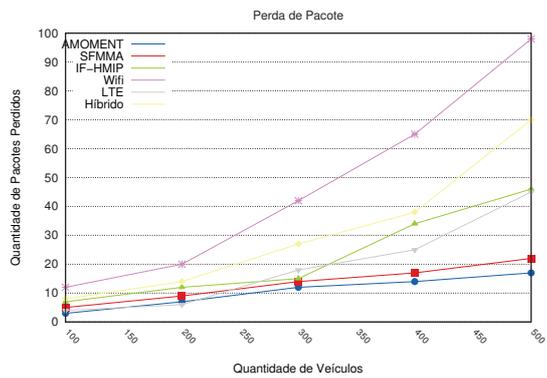
(a) Tempo de Handover



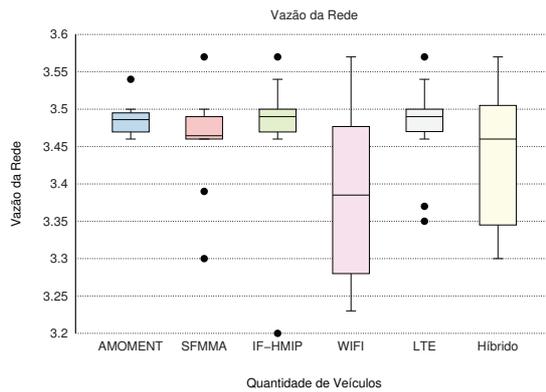
(b) Quantidade de Mensagem de Controle



(c) Atraso



(d) Perda de pacote



(e) Vazão

Figura 7. Resultados

a uma instabilidade das arquiteturas.

Para resumir, a solução proposta oferece uma arquitetura estável que mantém seu comportamento até em alta quantidade de dados, com baixa perda de pacote, com um atraso médio baixo, que acarretou em uma boa quantidade de mensagens recebidas, uma boa vazão. Isso foi possível pois o protocolo AMOMENT diminuiu a quantidade de mensagens de controle na rede e diminuiu o tempo de *handover*, pois a rede tinha informações relevantes da sobre as condições de fluxos que ela transmite, a decisão de troca de fluxo ficou centralizada no LMA e utilizamos somente uma mensagem para realizar a troca de fluxo.

5. Conclusão

Neste trabalho foi explorado o uso de mais do que uma tecnologia de rede para maximizar a QoS para aplicações em redes veiculares. As propostas de fluxo de gestão de mobilidade arquitetura lida com diferentes interfaces de rede, ao mesmo tempo, buscando maximizar o rendimento da rede, para diminuir o tempo de entrega, e para satisfazer os requisitos mínimos de perda de pacotes e latência para cada classe de aplicação de rede veicular. Como resultado deste trabalho, observou-se que a arquitetura proposta apresentou um baixo tempo de entrega das mensagens, com menor perda de pacotes e menor atraso. Como trabalhos futuros pretendemos melhorar os métodos de decisão e seleção dos próximos MAGs com o objetivo de minimizar ainda mais a quantidade de mensagens de controle na rede.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo número 2015/11536-4 e o processo número 2015/18898-9) pelo apoio financeiro.

Referências

- Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., and Zedan, H. (2014). A comprehensive survey on vehicular ad hoc network. *Journal of Network and Computer Applications*, 37:380–392.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview. In *International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL '11)*.
- Caulfield, B. and O'Mahony, M. (2007). An examination of the public transport information requirements of users. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 8(1):21–30.
- Cesana, M., Fratta, L., Gerla, M., Giordano, E., and Pau, G. (2010). C-vet the ucla campus vehicular testbed: Integration of vanet and mesh networks. In *Wireless Conference (EW), 2010 European*, pages 689–695.
- Chen-wen, W. and Ping, W. (2009). Improved fast handover scheme for hierarchical mobile ipv6. In *Computer Science Education, 2009. ICCSE '09. 4th International Conference on*, pages 294–297.

- Choi, H.-Y., Min, S.-G., Han, Y.-H., Park, J., and Kim, H. (2010). Implementation and evaluation of proxy mobile ipv6 in ns-3 network simulator. In *5th Intl. Conference on Ubiquitous Information Technologies and Applications*, pages 1–6.
- European Telecommunications Standards Institute (2009). Intelligent transport systems (ITS); vehicular communications; basic set of applications; definitions. Technical Report 102 638, ETSI.
- Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 46(6):164–171.
- Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., and Weil, T. (2011). Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 13(4):584–616.
- Kim, J., Morioka, Y., and Hagiwara, J. (2012). An optimized seamless ip flow mobility management architecture for traffic offloading. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE*, pages 229–236.
- Makaya, C., Das, S., and Lin, F. (2012). Seamless data offload and flow mobility in vehicular communications networks. In *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE*, pages 338–343.
- Marfia, G., Rocchetti, M., Amoroso, A., and Pau, G. (2013). Safe driving in la: Report from the greatest intervehicular accident detection test ever. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 62(2):522–535.
- Meneguette, R. I., Bittencourt, L. F., and Madeira, E. R. M. (2013). A seamless flow mobility management architecture for vehicular communication networks. *Journal of Communications and Networks*, 15(2):207–216.
- OpenStreetMap (2012). OpenStreetMap - the wiki of free maps. Available at: <http://www.openstreetmap.org/>. Acessado em 2012.
- Safa Sadiq, A., Fisal, N. B., Ghafoor, K. Z., and Lloret, J. (2014). Advanced mobility handover for mobile ipv6 based wireless networks. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Salumu, M. (2012). ns3 - 802.21. Available at: <http://code.nsnam.org/salumu/ns-3-mih/>. Acessado em 2012.
- Singh, A., Kumar, M., Rishi, R., and Madan, D. K. (2011). A relative study of MANET and VANET: Its applications, broadcasting approaches and challenging issues. In *Advances in Networks and Communications*, volume 132, pages 627–632. Springer Berlin Heidelberg.