

VEER: Um Algoritmo de Seleção de Pares em Redes Ad Hoc Veiculares

Sávio Rodrigues Cavalcanti¹, Miguel Elias Mitre Campista¹,
Fehmi Ben Abdesslem², Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa¹,
Marcelo Dias de Amorim^{2 *}

¹GTA/PEE/COPPE – DEL/POLI - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

²LIP6/CNRS Laboratory of the Université - Pierre et Marie Curie (Paris 6)

{savio,miguel,luish}@gta.ufrj.br

{fehmi,amorim}@rp.lip6.fr

Abstract. *This paper introduces VEER, a peer selection algorithm for vehicular ad hoc networks running peer-to-peer file exchange applications. Contrary to existing approaches that basically consider vehicular networks as ordinary mobile ad hoc networks, VEER relies on the individual mobility patterns of the vehicles when making peer selection, and this at low control overhead. In VEER, replies are only sent by peers that share part of their trajectories with the requesting node. The file transfer is then scheduled to the time interval when both vehicles meet. In this way, VEER avoids multi-hop file transfers, thus reducing contention areas and increasing the global capacity of the network. We show through extensive simulation that using such an opportunistic one-hop transfer mechanism gives better results than multi-hop file transfers. In order to support our simulation results, we show through real experiments the capacity of car-to-car links with off-the-shelf hardware.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o VEER, um algoritmo de seleção de pares para redes ad hoc veiculares (VANETs) com sistemas par-a-par (P2P) para troca de arquivos. Ao contrário das soluções existentes, que consideram uma rede veicular como uma simples rede móvel ad hoc, o VEER baseia-se nos padrões individuais de mobilidade dos veículos quando efetua a seleção de pares e com uma baixa sobrecarga de pacotes de controle. No VEER, as respostas somente são enviadas por pares que possuem o arquivo e compartilham suas trajetórias com o nó requerente. A transferência do arquivo então é agendada para o intervalo de tempo em que ambos se encontram. Nesta direção, o VEER evita transferências em comunicações por múltiplos saltos, reduzindo regiões de disputa e aumentando a capacidade global da rede. Foi mostrado, por meio de simulação, que a utilização de um mecanismo oportunístico de transferência por um salto apresenta melhores resultados que uma transferência em múltiplos saltos. Visando apoiar a simulação, foi verificada, por meio de experimentos reais, a capacidade de conexões entre veículos utilizando equipamentos facilmente encontrados no comércio.*

*Este trabalho foi realizado com recursos da Marinha do Brasil, CNPq, CAPES, FAPERJ e FUJB.

1. Introdução

Por meio das redes sem fio, usuários podem se conectar em locais que vão desde residências e ambientes de trabalho até veículos automotores. Esse último cenário, em especial, vem recebendo bastante atenção nos últimos anos devido aos seus desafios e às suas inúmeras aplicações, como segurança/assistência [CarTALK 2000, 2000] e conveniência/conforto [Wischhof et al., 2005]. As redes sem fio entre veículos são conhecidas por redes *ad hoc* veiculares (*Vehicular Ad Hoc NETWORKS* - VANETs). Essas redes recebem esse nome uma vez que não há elementos centralizadores, de forma semelhante ao padrão IEEE 802.11 operando em modo *ad hoc* [Campista et al., 2007].

Este artigo se focaliza em situações voltadas para o conforto ou conveniência dos passageiros e, em particular, em aplicações que exigem transferência de arquivos. Naturalmente, muitas destas aplicações utilizam uma arquitetura par-a-par (*peer-to-peer*), onde não há obrigatoriedade de servidores ou nós centrais.

A alta mobilidade dos veículos automotores e as rápidas variações das condições do meio sem fio são os principais geradores de desafios das VANETs. A topologia altamente dinâmica da rede representa um empecilho para as comunicações. Primeiramente, nem sempre o tempo de contato entre os veículos é suficientemente grande para estabelecer uma conexão e transferir dados. No entanto, há também problemas relacionados às camadas de enlace e de rede. No padrão IEEE 802.11, a camada de enlace é responsável por selecionar a taxa de transmissão do meio, o que é feito por meio de um algoritmo de escolha periódica da taxa. Para enviar um quadro, os endereços IP e MAC do destinatário devem ser conhecidos, usando protocolos como o DNS e ARP. O tempo gasto na execução destes mecanismos reduz mais ainda o tempo de troca de dados entre dois veículos. Trabalhos recentes [Hadaller et al., 2007, Nandan et al., 2005, Chen et al., 2006] identificam e comprovam a relevância dos desafios das VANETs. As propostas apresentadas vão desde implementar uma infra-estrutura fixa até definir esquemas de agrupamento de nós, visando reduzir a latência de entrega de mensagens em sistemas de segurança, por exemplo. O tempo de associação entre dois nós e a escolha da taxa de transferência também são pontos que devem ser levados em conta na proposta de uma aplicação. Como consequência devem ser propostas otimizações para utilização de diferentes protocolos em VANETs. Por exemplo, o grupo de trabalho IEEE 802 está trabalhando na adaptação do IEEE 802.11a para as VANETs, o novo padrão foi chamado IEEE 802.11p [Task Group p, 2004].

As características de tempo de contato e capacidade dos enlaces são particularmente importantes no contexto do trabalho desenvolvido neste artigo, que é a troca de arquivos em modo par-a-par em VANETs, aqui denominada *car-to-car* (C2C). De acordo com as particularidades das redes veiculares, os sistemas par-a-par conhecidos de redes cabeadas podem apresentar problemas, por exemplo, devido à quebra da conexão durante um processo de transferência de arquivos. Em cenários onde a comunicação por múltiplos saltos é associada à mobilidade dos nós intermediários desta comunicação, aumentam as chances de quebra de conexões e conseqüentemente a necessidade de recalcular rotas. O tempo para que novas rotas converjam pode ser proibitivo dados os curtos tempos de contato. Ressalta-se também que a inexistência de um elemento central ou de uma infra-estrutura fixa de comunicação também dificulta o funcionamento de sistemas par-a-par tradicionais em redes veiculares.

Este artigo propõe o VEER, um algoritmo de seleção de pares que se adequa tanto à alta mobilidade dos nós quanto à grande dinamicidade dos cenários. O VEER seleciona previamente um nó da rede que possui o arquivo desejado por meio de análise comparativa de trajetórias¹. Assim, a transferência de arquivos não utiliza comunicações em múltiplos saltos, mas é realizada entre vizinhos de apenas um salto. Esta característica reduz a probabilidade de quebra de conexão e sua conseqüente reconstrução, evitando problemas relacionados com roteamento, como construção e manutenção das rotas. O desempenho do VEER é analisado por simulação, utilizando métricas como vazão útil e taxa de entrega. Os resultados obtidos mostram que o esquema de comunicações de um salto utilizado pelo VEER possui melhor desempenho que as comunicações por múltiplos saltos. O VEER aumenta a probabilidade de entrega de arquivos em até três vezes quando comparado ao algoritmo de encaminhamento de um protocolo de roteamento convencional, reduzindo o desperdício de banda passante da rede.

A análise por simulação realizada foi complementada com medidas reais de comunicação entre veículos, efetuadas no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Estas medidas investigam as verdadeiras possibilidades de contatos entre veículos, em termos do tempo em que eles permanecem trocando informações. As medidas comprovam a viabilidade de aplicações par-a-par de transferência de arquivos em VANETs. Embora os tempos de contatos sejam curtos, nossos experimentos mostram que é possível obter transferência de massas de dados significativas durante um contato obtido com equipamentos facilmente encontrados no comércio e com apenas algumas configurações específicas do *driver* de rede e da camada IP.

Vale ainda ressaltar que a operação do VEER não está atrelada a nenhum tipo de aplicação nem de protocolo de roteamento, podendo ser adaptado a diferentes cenários de utilização.

Este artigo está dividido da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os principais trabalhos relacionados. Na Seção 3, o funcionamento do algoritmo VEER é detalhado. As ferramentas de simulação, os cenários utilizados e os resultados obtidos são descritos na Seção 4. A Seção 5 conclui este trabalho e identifica as principais direções de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Trabalhos na área de serviços voltados para a segurança também propuseram sistemas de seleção de pares para transmissão de informação. Em [Daimler Chrysler, 2001] é descrito o desenvolvimento de sistemas não tolerantes a retardos, visando o aviso imediato de problemas de tráfego. Os autores exemplificaram um sistema em que, ao serem ativadas luzes de emergência de um veículo por motivo de congestionamento, uma mensagem será enviada a todos os veículos posicionados atrás do veículo originador. Veículos à frente e em direção contrária não receberiam esta mensagem por esta ser irrelevante devido à sua trajetória.

Outro grande desafio das VANETs é a escolha do protocolo de roteamento. Naumov *et al.* avaliaram o desempenho de dois protocolos de roteamento legados das redes

¹Cada vez mais veículos são equipados com GPS. Desta forma, é razoável imaginar que, em um futuro próximo, nós de uma rede veicular conheçam aproximadamente suas trajetórias.

ad hoc móveis, o AODV (*Ad Hoc on demand Distance Vector* [Perkins et al., 2003]) e o GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing* [Karp e Kung, 2000]), em VANETs. No artigo [Naumov et al., 2006] é utilizado um simulador de cenários de mobilidade e mapas regionais suíços. Os autores verificaram que para o AODV, em cenários mais densos, a metade dos pacotes de requisição de rota é perdida devido a colisões. Já o GPSR apresentou uma grande inconsistência na sua tabela de informações de vizinhos, que o levou a obter uma vazão muito pequena. Ao final concluíram que ambos os protocolos apresentam problemas de desempenho em cenários urbanos, mas tendo o AODV atingido uma taxa de entrega de pacotes maior que o dobro que a taxa obtida pelo GPSR.

Ducourthial *et al.* [Ducourthial et al., 2007] propuseram um mecanismo de roteamento em VANETs baseado em transmissões condicionais, denominado HOP, e compararam, por simulação, seu desempenho em relação ao percentual de dados recebidos com 5 protocolos de roteamento: OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*), Fast OLSR, AODV, LBM (*Location-Based Multicast*) e GAMER (*Geocast Adaptive Mesh Environment for Routing*). Como uma das contribuições, ao final concluíram que as simulações efetuadas mostraram um desempenho inferior para o OLSR e Fast OLSR, que pelo fato da topologia de rede ser instável, apresentaram problemas de atualização de tabelas de rotas. AODV apresentou uma melhor taxa de entrega do que os anteriores, mas é afetado pela distância entre veículos e o LBM e GAMER apresentam problemas de desempenho devido à mobilidade dos nós, de acordo com sua característica original de entrega de mensagens em áreas específicas. O melhor desempenho quanto à taxa de entrega de dados do protocolo proposto em relação aos 5 apresentados, vem do fato que o HOP não necessita de nenhum conhecimento de sua vizinhança e nem de mensagens de controle.

Chen e Cai propuseram o *Local Peer Group* - LPG [Chen e Cai, 2005], que consiste em uma arquitetura que visa organizar a vizinhança de veículos em grupos, de forma a que a latência de comunicação entre os nós da rede dentro dos grupos seja baixa para que sejam divulgadas informações de segurança aos condutores. Esta divisão em grupos visa também permitir que a abrangência e a direção da mensagem sejam controladas, efetuando um tipo de seleção de pares que irão ser alertados sobre emergências, de acordo com sua posição. Duas formas de divisão em grupos são propostas: estática, utilizando sistemas de localização baseado em GPS e particionando pelo código de endereçamento postal da via; e dinâmica, onde os nós formarão grupos de acordo com sua vizinhança, baseado na cobertura do rádio utilizado. A intenção dos autores ao propor o LPG é diminuir a latência reduzindo ou retirando da rede a utilização de um protocolo de roteamento.

Todos os trabalhos aqui relacionados apresentam propostas para melhor lidar com a principal particularidade de uma VANET, a alta mobilidade dos nós. Apesar dos diferentes enfoques, os desafios gerados por esta mobilidade ainda são alvo de discussão. Neste trabalho, é utilizada uma estratégia diferente, que leva em conta a trajetória dos veículos para seleção de pares.

3. VEER: Seleção de Pares por Interseção de Trajetórias

Este trabalho propõe um algoritmo de seleção de pares para aplicações par-a-par em redes *ad hoc* veiculares denominado VEER. Esse algoritmo tem como principal objetivo selecionar pares para troca de arquivos em sistemas C2C. A seleção leva em consideração o tempo de contato entre o nó requisitante e o nó candidato, detentor

do arquivo solicitado. Caso esse tempo seja suficiente para a transferência do arquivo, a seleção do par é efetuada e a transferência do arquivo agendada. O tempo de contato entre dois veículos é definido como o período de tempo durante o qual dois nós são vizinhos de um salto. É possível que de todos os candidatos, nenhum ou vários sejam selecionados. Dessa forma, pode haver ou não agendamento marcado para um determinado arquivo.

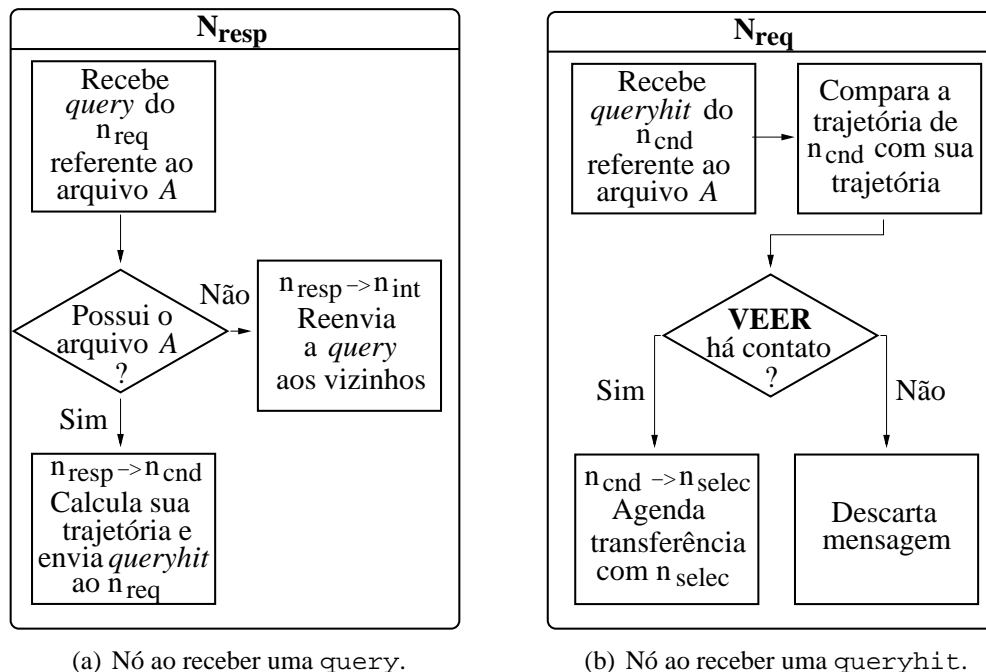


Figura 1. Fluxograma do funcionamento do VEER.

3.1. Funcionamento da seleção de pares no VEER

O funcionamento do VEER inicia quando um nó requisitante solicita um arquivo e um outro nó da rede recebe esta solicitação, conforme fluxograma na Figura 1. Para o processo de seleção de par e posterior transferência do arquivo, conforme Tabela 1, três mensagens são definidas:

Tabela 1. Mensagens definidas no VEER.

Mensagem	Função	Conteúdo
<i>query</i>	Requisitar um arquivo	Identificação do arquivo
<i>queryhit</i>	Sinalizar que possui o arquivo requisitado	Identificação do arquivo e a trajetória do nó remetente
<i>sendme</i>	Solicitar a transferência do arquivo	Identificação do arquivo

A Figura 1(a) mostra as ações tomadas por um nó receptor, n_{resp} , a partir do recebimento da *query*, na qual o n_{req} é o **nó requisitante** de um arquivo A . Ao receber a solicitação, n_{resp} verifica se possui o arquivo requisitado em sua tabela de arquivos disponíveis. Caso não possua, n_{resp} se torna um **nó intermediário**, n_{int} , e reenvia a mensagem recebida em difusão (*broadcast*). Caso contrário, se torna um **nó candidato**, n_{cnd} , e responde ao nó requisitante com uma mensagem *queryhit* com sua trajetória,

obtida por um sistema de posicionamento global (GPS), até seu destino final. Assume-se que os veículos participantes de VANET têm um GPS embutido e que o condutor informe seu destino final para que possa ser calculada sua trajetória. A Figura 1(b) mostra as ações tomadas pelo nó requisitante a partir do recebimento da `queryhit`. Ele compara sua trajetória com a trajetória recebida e agenda uma transferência se houver interseção entre elas. Somente neste caso, o nó candidato se torna um **nó selecionado**, n_{selec} . Ao alcançar o tempo que foi programado no agendamento, o n_{req} envia uma mensagem `sendme` para que o n_{selec} inicie a transferência do arquivo.

De acordo com o que foi descrito, cabe ressaltar que no momento da transferência do arquivo não há a necessidade de utilização do protocolo de roteamento. No entanto, é possível que alterações ou retardos na trajetória do nó candidato façam com que, no tempo agendado, os nós não sejam vizinhos de um salto. Neste caso, o protocolo de roteamento é utilizado para transferência do arquivo. Nos demais casos, com a utilização do algoritmo VEER, o protocolo de roteamento somente é utilizado para as mensagens `queryhit`, se o nó candidato não for vizinho de um salto do nó requisitante no ato de enviar esta mensagem. Quanto mais nós candidatos o requisitante tiver, mais chances tem de agendar um contato e de receber o arquivo desejado. É possível também que no envio da `query` não haja nenhuma resposta em tempo aceitável, sendo possível uma segunda requisição do arquivo, se for o caso. Os tempos máximos de espera e número de tentativas são parâmetros configuráveis de acordo com a aplicação

Define-se uma trajetória como um vetor de tuplas, denotado como $[(t_0, X_0, Y_0, d_0); (t_1, X_1, Y_1, d_1) \dots]$. Em cada tupla, t_i é o tempo em que o nó ingressa em uma rua e (X_i, Y_i) , ou seja, o ponto inicial do veículo nessa rua. d_i é a direção em que o carro segue nessa rua, podendo assumir os valores norte, sul, leste e oeste. Desta forma, o ponto (X_i, Y_i) representa o início de um segmento de rua que o nó percorre até o início do próximo segmento, representada pela tupla $(t_{i+1}, X_{i+1}, Y_{i+1}, d_{i+1})$.

O Algoritmo 1 descreve a primeira parte do funcionamento do VEER. Suponha que o nó n_{resp} recebe uma mensagem `query` do nó n_{req} solicitando o arquivo A . Ressalta-se que a trajetória do nó candidato n_{cnd} ($TJT(n_{cnd})$) é levada em consideração a partir do tempo t_0 de recebimento da `query`, uma vez que a trajetória já percorrida é irrelevante para cálculo de possíveis contatos.

A trajetória calculada e enviada na mensagem `queryhit` é o vetor de tuplas $[(t_0, X_0, Y_0, d_0); (t_1, X_1, Y_1, d_1); (t_2, X_2, Y_2, d_2); \dots]$, no qual a tupla (t_0, X_0, Y_0, d_0) é o tempo de recebimento da `query`, t_0 , a posição do nó (X_0, Y_0) e sua direção d_0 . As demais tuplas seguem de acordo com a definição da trajetória.

Algoritmo 1 VEER: n_{resp} recebeu `query` referente ao arquivo A do n_{req} no tempo t_{query} .

```

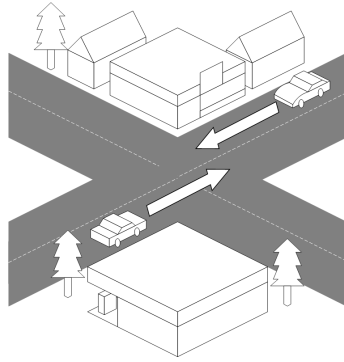
if ( $n_{resp}$  possui o arquivo  $A$ ) then
    Se torna  $n_{cnd}$ 
    Calcula sua trajetória ( $TJT(n_{cnd})$ ) até seu destino final a partir de  $t_{query}$ 
    Envia queryhit( $TJT(n_{cnd})$ ) ao  $n_{req}$ 
else
    Reenvia query aos seus vizinhos
end if

```

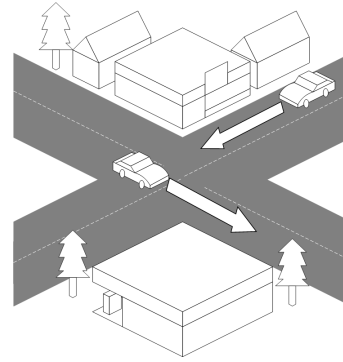
O Algoritmo 2 apresenta a segunda parte do VEER, que consiste de como o nó re-

Algoritmo 2 VEER: n_{req} recebeu $queryhit$ de n_{cnd} no instante $t_{queryhit}$.

n_{req} calcula sua trajetória ($TJT(n_{req})$) até seu destino final a partir de $t_{queryhit}$
if ($TJT(n_{req}) \cap TJT(n_{cnd}) \neq \emptyset$) **then**
 n_{cnd} se torna um n_{selec}
 if (\exists contato entre n_{req} e n_{selec} para arquivo A) **then**
 Agenda Transferência entre n_{req} e n_{selec} para arquivo A no tempo $t_{contato}$
 end if
end if



(a) Carros na mesma rua.



(b) Carros em ruas perpendiculares.

Figura 2. VEER: seleção de pares.

querente, n_{req} , verifica se os nós candidatos serão ou não selecionados. Uma vez recebida a trajetória do nó candidato, o nó requisitante compara a trajetória recebida com a sua trajetória, conforme descrito no Algoritmo 3. Primeiramente, é verificado se ambos nós, requisitante e candidato estão na mesma rua. Caso estejam, é medido se os dois nós estão dentro do raio de cobertura um do outro (**R**). Se for verdade, é identificado se a direção de ambos é a mesma ou é contrária, pois somente nestes casos pode-se garantir que ambos estão na mesma rua (Figura 2(a)), e não em ruas perpendiculares, apesar de mesmas coordenadas X ou Y (Figura 2(b)). Ao final é verificado se a diferença entre o tempo em que ambos entraram na rua até o seu tempo de saída é menor que o tempo necessário para transferência de um arquivo, de acordo com a taxa básica de transmissão e do tamanho do arquivo (**T**). Se todas as condições forem satisfeitas e não existe agendamento para o arquivo requisitado com o nó candidato, então a transferência é agendada. É possível ocorrer um cenário no qual um contato não seja identificado e, neste caso, pode se optar por fazer a comunicação por múltiplos saltos. Este fato reduz o desempenho do VEER, mas não afeta seu funcionamento.

4. Simulação

Nesta seção são apresentados o ambiente de simulação e em seguida a análise dos resultados comparativos e experimentais.

4.1. Ambiente de simulação

Com o objetivo de analisar a eficiência do VEER em escalas mais importantes, várias simulações foram realizadas. Neste artigo, são apresentadas aquelas ligadas à capacidade de transferência de dados.

Algoritmo 3 VEER: $TJT(n_{req}) \cap TJT(n_{cnd})$.

```
if ( $X_{req} = X_{cnd}$ ) then
  if distância [ $Y_{req}, Y_{cnd}$ ]  $\leq \mathbf{R}$  then
    if mesma direção or direção oposta then
      if diferença [ $t_{req}, t_{cnd}$ ]  $\leq \mathbf{T}$  then
        Agenda Transferência entre  $n_{req}$  e  $n_{cnd}$  para arquivo  $A$  no tempo  $t$ 
      end if
    end if
  end if
end if
end if
```

O agente VEER foi implementado no NS-2.31 [The VINT Project, 2007]. O cenário da simulação é uma *grid* de 650m x 650m, com 25 quarteirões ao todo e a quantidade de nós variando de 30 (cenário mais esparsos) até 120 (cenário mais denso). Nenhuma infra-estrutura fixa de comunicação é utilizada. As ruas são todas em mão-dupla e com sinais de trânsito luminosos nos cruzamentos. A velocidade dos nós é variável porém limitada a 40 km/h (valor razoável em um ambiente urbano). Os cenários de mobilidade dos nós foram feitos utilizando o GHOST [Legendre et al., 2006], no qual os autores propuseram e implementaram um modelo de mobilidade, denominado mobilidade comportamental. Este modelo visa representar padrões de mobilidade realistas baseados no paradigma de regras de comportamento. A ferramenta GHOST gera os arquivos de mobilidade dos nós em *traces* compatíveis com vários simuladores de rede, inclusive o NS-2.

Os nós, ao participarem do sistema de troca de arquivos, disponibilizam 3 arquivos aos demais nós da rede. Estes arquivos são identificados por caracteres de ‘a’ a ‘z’ e foram distribuídos uniformemente entre os nós da rede. Os tamanhos destes arquivos variam de 500 kbytes a 3 Mbytes. Estes tamanhos foram definidos visando avaliar o VEER em diferentes tipos de aplicação de troca de arquivos e verificar com qual tamanho de arquivo ele é mais eficiente para transferência. Juntamente com os 3 arquivos disponibilizados, cada veículo possui uma lista com 3 arquivos a solicitar, também selecionados uniformemente. É possível que um arquivo solicitado não exista no sistema, pois ambos os arquivos, disponibilizados e a solicitar, são sorteados. O instante em que cada nó solicita seus arquivos também é aleatório, distribuído uniformemente entre 0 e 290 segundos.

Para fins de comparação, foi implementado um modelo que efetua a transferência de arquivos sem a seleção de parceiros, denominado MHop. Um nó, ao receber uma solicitação de um arquivo, verifica se está em sua tabela de arquivos compartilhados. Caso encontre, inicia a transferência, mesmo que seja sobre uma comunicação em múltiplos saltos. Este algoritmo utiliza o AODV como protocolo de roteamento para a transferência dos arquivos. No VEER, vale lembrar que somente a mensagem *queryhit* é enviada em múltiplos saltos (usando também o AODV).

Para cada modelo, VEER e MHop, e para cada quantidade de nós no cenário, foram efetuadas 15 rodadas de 300 segundos. O mesmo cenário de mobilidade utilizado para o modelo VEER foi utilizado para o modelo MHop. As variações entre as rodadas de simulação estavam nas aleatoriedades de seleção dos arquivos e do tempo para sua requisição.

Para a transferência dos arquivos utilizou-se o FTP com TCP. Na camada física foi utilizado o padrão IEEE 802.11b. O modelo de propagação foi adaptado para que haja conexão apenas para os nós que estiverem na mesma rua. Visando um cenário mais realista, foi considerada a presença de edificações nos quarteirões. As configurações da camadas física, MAC, rede e transporte foram as mesmas tanto para o VEER quanto para o MHop.

4.2. Resultados

O VEER foi avaliado em comparação com o algoritmo de transferência convencional que utiliza comunicações por múltiplos saltos. O desempenho foi medido sob três aspectos: taxa de entrega de pacotes, vazão e vazão útil da rede. Na análise não se considera o fato de uma mensagem `query` não ter obrigatoriamente uma resposta `queryhit` associada no modelo VEER ou não ter iniciado nenhuma conexão FTP para o modelo MHop.

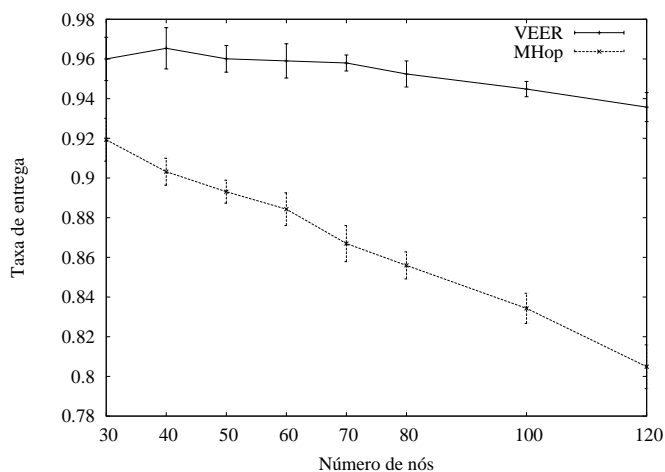
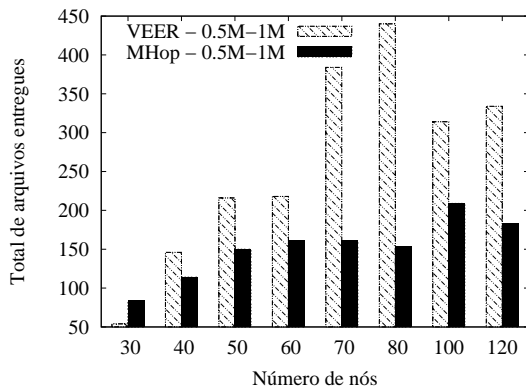


Figura 3. Taxa de entrega.

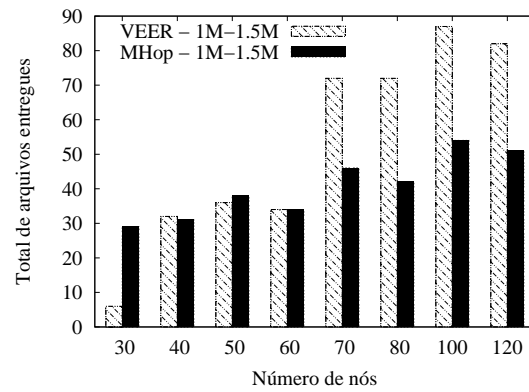
A Figura 3 mostra a taxa de entrega de pacotes de dados do VEER em comparação com o modelo de múltiplos saltos (MHop). Verifica-se que à medida que os cenários se tornam mais densos (a partir de 40 nós), o VEER apresentou, uma ligeira queda na taxa de entrega, mas permanecendo sempre acima de 93% de pacotes entregues na faixa até 120 nós. O MHop para cenários mais esparsos, 30 e 40 nós, está acima de 90% dos pacotes entregues, com uma queda quase linear e mais acentuada do que a curva do VEER, à medida que os cenários vão se tornando mais densos. Quando a densidade da rede aumenta, a interferência entre os nós e a disputa pelo meio também aumenta. Para cenários em que a transferência do arquivo é efetuada sobre uma conexão de múltiplos saltos estes fatores se agravam e a degradação da taxa de entrega é mais acentuada.

Apenas a taxa de entrega de pacotes de dados não reflete o desempenho da rede para sistemas par-a-par, que deve ser medida em termos de arquivos entregues. Nos resultados apresentados a seguir, este parâmetro é representado pelo número total de arquivos entregues e pela vazão útil da rede.

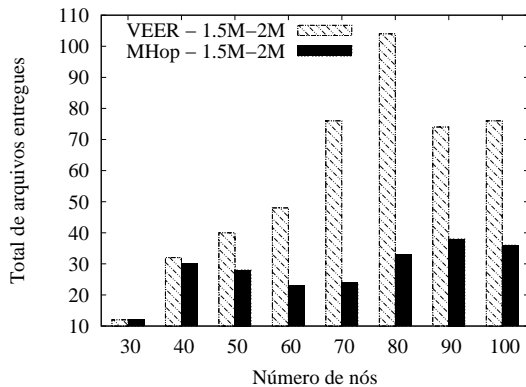
Na Figura 4 é apresentado o total de arquivos entregues em todas as rodadas, dividido em quatro grupos de acordo com o tamanho do arquivo. A idéia é comparar



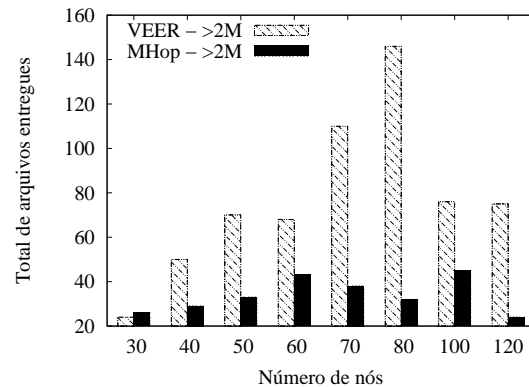
(a) Arquivos de 500kbytes a 1Mbyte.



(b) Arquivos de 1Mbyte a 1,5Mbytes.



(c) Arquivos de 1,5Mbytes a 2Mbytes.



(d) Arquivos maiores que 2Mbytes.

Figura 4. Total de arquivos entregues por tamanho.

em qual dos cenários e qual o tamanho de arquivo é mais adequado para os modelos implementados. Percebe-se que no cenário com 30 nós, e apenas neste, o MHop apresenta vantagem na entrega de arquivos de todos os tamanhos. Neste cenário, bastante esparsos, a chance de encontrar um veículo para agendar uma transferência de 1 salto no VEER é menor. À medida que os cenários se tornam mais densos, principalmente com 70 nós ou mais, as chances de contato entre dois veículos aumentam e os agendamentos são efetuados com maior frequência, fazendo com que o VEER apresente uma considerável vantagem para a maioria dos tamanhos de arquivos.

Verificou-se que o VEER entrega, com grande vantagem, arquivos acima de 1,5 Mbytes, para todos os cenários com mais de 50 nós. Este caso é bem representativo de várias classes de aplicação, como por exemplo, a troca de arquivos de música que são normalmente maiores que 1,5 Mbytes. Na Figura 4(d), observa-se que a vantagem do VEER é mais acentuada no cenário de 80 nós, chegando a entregar 4,5 vezes mais arquivos de tamanho maior que 2 Mbytes do que o modelo MHop. Ainda nesta figura, observa-se que para o VEER houve uma queda acentuada nos cenários com 100 e 120 nós, causada pela interferência na comunicação pela maior quantidade de veículos. Mesmo assim, os resultados do VEER são melhores que os obtidos pelo MHop. De um modo geral, o VEER obteve um desempenho superior ao MHop no que se refere ao total de arquivos entregues, o que demonstra a eficiência do VEER nestes cenários de utilização.

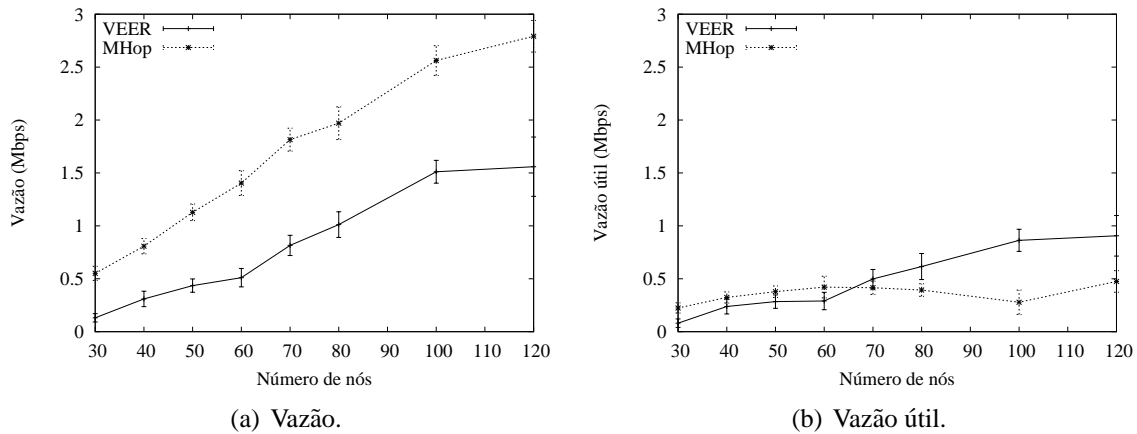


Figura 5. Vazão e vazão útil.

A Figura 5 apresenta a análise da vazão e vazão útil para o VEER e para o MHop. A métrica vazão, Figura 5(a), corresponde à quantidade de bits entregues por segundo, independente de haver sido entregue todo o arquivo. Já a métrica vazão útil, Figura 5(b), é caracterizada por medir a quantidade de bits entregues por segundo, mas apenas das conexões em que o arquivo também foi entregue com sucesso. Pode-se verificar que pelas curvas crescentes de vazão até 120 nós, para ambos os modelos, não foi atingida a saturação da rede. Nessa mesma figura é visto que a vazão do MHop ficou acima da vazão do VEER, uma vez que no MHop um pedido de arquivo pode gerar várias conexões FTP com o requisitante, devido à definição do modelo MHop que não implementa a mensagem `queryhit`. Logo sempre que um arquivo requisitado é encontrado, inicia-se sua transferência. Em contrapartida, verifica-se que esta curva não significa que o MHop é mais eficiente que o VEER. Analisando a curva da vazão útil, ou seja, quantidade de dados úteis sobre a quantidade de dados recebidos, até o cenário com 60 nós o MHop registra uma ligeira vantagem, que termina a partir de 70 nós. Neste cenário de 70 nós, a interferência de várias conexões simultâneas degrada a vazão útil do MHop, fato que não ocorre com o VEER, que tende a crescer mesmo em cenários mais densos. Além disso, a pequena diferença entre as curvas da vazão e vazão útil apresentada pelo modelo VEER demonstra que o desperdício de banda de rede é consideravelmente menor que no MHop. Este pequeno desperdício aumenta a eficiência da rede como um todo e mostra que a não utilização, ou baixa utilização, de protocolos de roteamento durante a transferência de arquivos é mais eficaz, em termos da quantidade de arquivos entregues com sucesso.

4.3. Resultados experimentais

De forma a complementar os resultados de simulação, foram realizadas medidas de conectividade e vazão que mostram que aplicações de transferência de arquivos são possíveis em redes veiculares. A Tabela 2 apresenta os resultados de um experimento real feito no Campus Ilha do Fundão da UFRJ. O experimento foi elaborado com 2 veículos, 2 computadores portáteis modelo IBM T42 com interface sem fio 802.11b/g embutida e 2 interfaces PCMCIA Linksys WPC54G, baseadas no *chipset* da Atheros (IEEE 802.11a/b/g). Os computadores portáteis permaneceram com o passageiro do veículo e nenhuma antena externa foi utilizada. Foi usado o Linux como sistema operacional com versão do kernel 2.6.22-2-686 e o driver Madwifi versão 0.9.3.3. Visando

enviar volume de dados e medir a qualidade do enlace, foi utilizado o Iperf versão 2.0.2.

Tabela 2. Média do total de dados transferidos de um carro a outro sobre TCP com pacotes de 500 Bytes.

Velocidade	Quantidade de dados
20 km/h	1.6 MB, $\sigma=0.89$ MB
40 km/h	0.4 MB, $\sigma=0.22$ MB
60 km/h	0.07 MB, $\sigma=0.13$ MB

O experimento foi realizado em uma rua do campus da UFRJ com 400 m de comprimento. Os carros iniciavam suas trajetórias ao mesmo tempo, ambos nas extremidades da rua e em lados opostos. A movimentação dos veículos é em direção contrária e com velocidades iguais, até que alcancem a outra extremidade da rua. Durante o trajeto o cliente Iperf envia a massa de dados, e o servidor Iperf contabilizava o total de dados recebidos em cada 500 ms, valor mínimo suportado pelo Iperf.

Os resultados mostrados na tabela demonstram que é possível obter vazões significativas nos enlaces entre veículos, mesmo considerando equipamentos comumente encontrados no comércio e sem a utilização de antena externa ao veículo. Em particular, verifica-se que as taxas de transferência são aceitáveis para aplicações par-a-par, dado o contexto no qual a aplicação seria executada. É interessante notar que os resultados obtidos representam conexões diretas entre nós. Isso confirma o fato de que preferência deve ser dada a soluções que visam reduzir o número de saltos quando da transferência de dados em reeds *ad hoc* veiculares.

5. Conclusões

Neste trabalho, foi proposto um algoritmo para seleção de pares em redes *ad hoc* veiculares. O VEER possibilita o agendamento prévio dos contatos para aumentar as chances de sucesso das comunicações. Assim, o tempo suficiente de contato entre os veículos é levado em conta para a troca de arquivos com sucesso em aplicações par-a-par.

Neste trabalho, foi realizada uma prova de conceito experimental para mostrar que a transferência de arquivos em redes veiculares é possível, inclusive em altas velocidades. A partir de medidas reais, mostrou-se que mesmo considerando tempos de contato curtos, por exemplo quando dois veículos se cruzam, e equipamentos disponíveis no mercado, é possível transferir arquivos de tamanhos tipicamente encontrados em aplicações P2P na Internet.

O desempenho do VEER foi testado via simulações em comparação a transferência de arquivos por múltiplos saltos. As simulações demonstraram que o agendamento prévio é mais vantajoso e faz com que as transferências de arquivos sejam concluídas mais eficientemente, aproveitando melhor os recursos disponíveis da rede. O compromisso do emprego do VEER é a possibilidade do aumento da latência, visto que o contato é aguardado até o início da transferência do arquivo desejado. Com o algoritmo de múltiplos saltos isso não ocorre. Porém, em redes veiculares, essa latência é tolerável, visto que a aplicação não é de tempo real.

Como trabalhos futuros, pretende-se analisar o desempenho do VEER em novos cenários. Para o caso de cenários com congestionamento, por exemplo, espera-se que o

modelo de múltiplos saltos seja mais vantajoso no que se refere à transferência de arquivos, porque a baixa mobilidade dos veículos pode diminuir o número de possíveis contatos. Desta forma, deve-se avaliar e propor, se for o caso, um algoritmo adaptativo que identifique condições adversas de trânsito e utilize modelos diferentes para transferência de arquivos. Espera-se ainda implementar o VEER em um protótipo experimental.

Referências

- Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Esposito, P. M., Amodei Jr., A., de Oliveira Cunha, D., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2007). The ad hoc return channel: a low-cost solution for Brazilian interactive digital TV. *IEEE Communications Magazine*, 45(1).
- CarTALK 2000 (2000). Safe and comfortable driving based upon inter-vehicle communication. <http://www.cartalk2000.net/> [Online].
- Chen, W. e Cai, S. (2005). Ad hoc peer-to-peer network architecture for vehicle safety communications. *IEEE Communications Magazine*, 43(4).
- Chen, W., Chennikara-Varghese, J., Lee, J., Cai, S. e Hikita, T. (2006). Dynamic local peer group organizations for vehicle communications. *Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference*, p. 1–8.
- Daimler Chrysler (2001). Calling All Cars. Relatório técnico, Project CarTALK 2000. <http://www.cartalk2000.net/>.
- Ducourthial, B., Khaled, Y. e Shawky, M. (2007). Conditional transmissions: Performance study of a new communication in VANET. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*.
- Hadaller, D., Keshav, S., Brecht, T. e Agarwal, S. (2007). Vehicular opportunistic communication under the microscope. Em *5th international conference on Mobile systems, applications and services (ACM MobiSys)*, p. 206–219.
- Karp, B. e Kung, H. T. (2000). GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. Em *MobiCom*.
- Legendre, F., Borrel, V., de Amorim, M. D. e Fdida, S. (2006). Modeling mobility with behavioral rules: the case of incident and emergency situations. Em *Asian Internet EnginGhsteering Conference (AINTEC)*.
- Nandan, A., Das, S., Pau, G., Gerla, M. e Sanadidi, M. Y. (2005). Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks. Em *IEEE Wireless On demand Network Systems and Services (WONS)*.
- Naumov, V., Baumann, R. e Gross, T. (2006). An evaluation of inter vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. Em *MobiHoc*.
- Perkins, C. E., M.Belding-Royer, E. e Das, R. S. (2003). *Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing*. Request for Comments: 3561.
- Task Group p (2004). IEEE 802.11p wireless access for vehicular environments. Draft Standard, <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>.
- The VINT Project (2007). The network simulator (NS-2). Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> [Online].

Wischhof, L., Ebner, A. e Rohling, H. (2005). Information dissemination in self-organizing intervehicle networks. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6(1):90–101.