

Disseminação de Mensagens de Acidentes em Redes Veiculares

Mauro S. de Castro¹, Anna Izabel J. Tostes²,
Fátima de L. P. Duarte-Figueiredo¹, Antonio A. F. Loureiro²

¹Instituto de Informática – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)
Belo Horizonte – MG – Brasil

²DCC – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte – MG – Brasil

mauro.castro@sga.pucminas.br, annatostes@gmail.com,

fatimafig@pucminas.br, loureiro@dcc.ufmg.br

Abstract. *This paper compares and it uses three protocols (flooding, gossiping and ROVER) in the context of vehicular networks. They were developed using IEEE 802.11p standard to vehicular communications and it's usefull to disseminate messages about accident on the region of interest. So, the receivers, when having knowledge of the accident, can choose alternate routes to avoid occurrence of new accidents and they increase safety on the highway.*

Resumo. *Este trabalho compara três protocolos (flooding, gossiping e ROVER) no contexto de redes veiculares. Eles foram desenvolvidos, utilizando o padrão de comunicação veicular IEEE 802.11p, para disseminar mensagens sobre um acidente para a região de interesse, de forma que os receptores, além de terem conhecimento sobre o acidente, possam escolher rotas alternativas para evitar a ocorrência de novos acidentes e aumentar a segurança na rodovia.*

1. Introdução

Redes veiculares são redes móveis compostas somente por veículos ou por veículos e unidades de acostamento. A comunicação entre os veículos é feita através de ondas de rádio definidas no padrão IEEE 802.11p [Jiang and Delgrossi 2008] ou entre o veículo e a unidade de acostamento através de tecnologias como 3G, 4G e outras. Além disso, são redes bastante dinâmicas, ou seja, a localização, a velocidade, o sentido de locomoção dos veículos e os recursos de comunicação disponíveis interferem diretamente na topologia e na taxa de transferência de dados na rede.

Para que um veículo possa transmitir e/ou receber dados para um ou mais veículos são necessários protocolos eficientes e, de acordo com o domínio do problema, os pacotes devem chegar ao destino da forma confiável e o mais rápido possível. Caso exista algum acidente à frente, os motoristas dos veículos localizados nos arredores devem ser informados imediatamente [Alves et al. 2009]. A região geográfica na qual é realizada a troca de mensagens ou notificação dos eventos aos veículos é conhecida por região de interesse (ROI) e representa o conjunto das possíveis coordenadas onde as mensagens são importantes para os nodos envolvidos [Kihl et al. 2008].

Este trabalho compara três protocolos *flooding*, *gossiping*, ROVER e os recursos da comunicação do padrão IEEE 802.11p. Os protocolos foram utilizados para informar a existência de um acidente na rodovia e permitir a escolha de rotas alternativas, contudo os veículos devem possuir GPS para fornecer as rotas secundárias. Espera-se que o *flooding* envie menor número de pacotes e possua a menor latência, o ROVER deve ter a latência pouco maior que o protocolo anterior e o *gossiping* terá a maior latência e o maior número de pacotes enviados.

Este artigo apresenta os conceitos e a arquitetura para redes veiculares na seção 2. A seção 3 descreve alguns protocolos de roteamento adaptados ou criados especificamente para redes veiculares. A seção seguinte, 4, explica os protocolos implementados e as seções 5 e 6 apresentam os cenários, os resultados das simulações e a conclusão.

2. Redes Veiculares

As primeiras pesquisas em redes veiculares sem fio ou *Veicular Ad hoc Networks* (VANETs) surgiram na década de 1980. A VANET é uma rede em que os nós são os veículos e a comunicação fica a cargo do padrão IEEE 802.11p. Esse padrão reduz a quantidade de pacotes no estabelecimento da conexão [Alves et al. 2009], limitação imposta pela VANET. Além disso, a VANET é uma MANET (*Mobile Ad hoc Network*) com algumas diferenças como a dinamicidade causada pela alta mobilidade dos veículos (nós), enlaces intermitentes, alta sensibilidade à latência, rede frequentemente desconectada, comunicação em determinada região geográfica, predição de mobilidade e interação com sensores à bordo [Li and Wang 2007].

As redes veiculares foram propostas para três atividades principais: aumentar a segurança na rodovia; tornar o transporte eficiente; e reduzir o impacto do meio de transporte no ambiente [Hartenstein and Laberteaux 2008]. Alguns exemplos são avisos de violação de semáforo, de velocidade máxima em curva, de frenagem automática e detecção de colisão. Existem três arquiteturas de redes veiculares [Alves et al. 2009]: ad hoc, infraestruturada ou híbrida. Na ad hoc (*inter-vehicle*) os veículos comunicam entre si, sendo a comunicação realizada através de saltos. A arquitetura infraestruturada (*vehicle-to-roadside*) utiliza nós estáticos distribuídos ao longo das rodovias. No híbrido pode-se utilizar qualquer um dos outros dois anteriores.

Este trabalho utiliza a arquitetura ad hoc e o padrão de comunicação veicular IEEE 802.11p para disseminar informações do acidente aos veículos existentes na ROI (região de interesse). Essa arquitetura não necessita da instalação das unidades de acostamento ao longo da rodovia, permitindo a redução de custo e a região de interesse limita a disseminação de mensagens somente pelos veículos existentes nela, reduzindo a quantidade de mensagens disseminadas pelos veículos da rede.

3. Trabalhos Relacionados

A seguir estão listados alguns protocolos de roteamento criados ou adaptados para redes ad hoc móveis e alguns foram desenvolvidos especificamente para VANETs.

A tabela 1 mostra alguns desses protocolos e contém algumas características de cada um como a classificação baseada em topologia, posicionamento geográfico, oportunístico e disseminação. Alguns protocolos suportam mapas digitais com dados da via

(velocidade máxima, comprimento e coordenada geográfica) e/ou sistemas de posicionamento global e contêm o *buffer* para o veículo armazenar as mensagens durante determinado intervalo de tempo até a mensagem esgotar o tempo de vida ou o veículo encaminhá-la para algum vizinho.

Tabela 1. Alguns protocolos de roteamento utilizados em redes veiculares.

Protocolo	Técnica	Categoria	Mapas e GPS	Buffer
AODV	Menor caminho	Topologia	Não	Não
DG-CastoR	Disseminação por área	Posicionamento	GPS	Não
DRG	Disseminação por área	Posicionamento	Mapas	Não
Flooding	Disseminação por área	Posicionamento	Mapas	Não
GFG e GFPG	Disseminação por área	Posicionamento	GPS	Não
Gossiping	Disseminação por área	Posicionamento	Mapas	Não
New AODV	Menor caminho	Topologia	Não	Não
ROVER	Disseminação por área	Posicionamento	Mapas	Sim
UMB	Disseminação por área	Disseminação	Mapas	Sim
VADD	Melhor momento	Oportunístico	Mapas e GPS	Sim

Os protocolos baseados em topologia visam encontrar o melhor caminho segundo uma métrica qualquer. Os baseados em posicionamento utilizam recursos da localização geográfica para melhorar o roteamento. Os oportunistas aproveitam o *melhor momento de contato* entre os veículos para trocar o máximo possível de informações e os baseados em disseminação enviam os dados para determinada região do cenário.

O protocolo AODV armazena somente o próximo salto na tabela de roteamento e constrói essa tabela somente quando precisa enviar algum dado. Contudo, não foi projetado para funcionar em redes ad hoc móveis [Perkins and Royer 1999]. O DG-CastoR cria uma região virtual de acordo com a disponibilidade dos enlaces dos nodos móveis e destina-se a compartilhamento de arquivos, porém não possui um algoritmo de particionamento de arquivos e replicação de dados [Atechian and Brunie 2008]. O DRG cria uma ROI e encaminha as mensagens rapidamente nessa região, mas com o aumento do número de nodos tende aumentar o *overhead* linearmente [Atechian and Brunie 2008]. O Flooding inunda a ROI com cópias da mesma mensagem e possui baixa latência, mas pode sobrecarregar a rede com essas cópias redundantes à medida que aumenta o número de nodos [Banzi et al. 2011]. Os protocolos GFG e GFPG foram projetados para entregar a mensagem a todos os veículos da ROI com baixa latência, suportam mudanças frequentes na topologia e precisam de alta densidade de nós [Seada and Helmy 2006]. O Gossiping escolhe os vizinhos segundo algum critério para enviar as mensagens relevantes, logo não sobrecarrega a rede, mas necessita de mais tempo para disseminar as mensagens desejadas na ROI [Banzi et al. 2011]. O New AODV é uma alteração do AODV anterior e seleciona os enlaces mais estáveis, com maior tempo de duração, pois considera o posicionamento e a velocidade relativa dos veículos, mas o endereçamento é *unicast* [Ding et al. 2011]. O ROVER é uma variação do AODV e permite endereçamento *multicast* dentro da ROI e com baixa latência, mas não funciona bem quando a densidade de veículos é baixa [Kihl et al. 2008]. O UMB reduz a carga de controle porque utiliza o vizinho mais distante para a comunicação, entretanto necessita de unidades de acostamento nos cruzamentos [Korkmaz et al. 2004]. O VADD armazena a mensagem e a retransmite de acordo com o sentido do trânsito e o formato da via, entretanto pode gerar ciclos no roteamento, logo existem várias adaptações para esse protocolo [Zhao and Cao 2008].

4. Protocolos de Propagação de Mensagens de Acidentes em Redes Veiculares

A disseminação de mensagens em redes veiculares envia pacotes aos integrantes da rede para informar algum evento e, neste trabalho, utilizou-se um acidente envolvendo alguns veículos. Os protocolos utilizados foram o *flooding*, *gossiping* e o *ROVER* [Banzi et al. 2011, Eugster et al. 2004]. Todos os três foram adaptados para suportar endereçamento *multicast* e planejados para suportar disseminação por área, pois somente os veículos próximos à região do acidente precisam receber as informações sobre o mesmo. Como acidentes de trânsito precisam ser informados rapidamente aos motoristas, o *flooding* foi escolhido por possuir baixa latência. O *gossiping* é uma variação do protocolo anterior e, apesar de possuir a latência maior, não sobrecarrega a rede com cópias da mesma mensagem. Por último, tem-se o *ROVER* e é uma variação do *flooding* que garante a entrega de todos os pacotes aos veículos existentes em uma região de interesse. Essa região deve possuir tamanho suficiente para atender aos veículos de acordo com o evento disseminado.

A figura 1 representa uma região da rodovia contendo dois sentidos de circulação com pistas duplicadas. Em determinado instante da simulação ocorrerá um acidente envolvendo os veículos *A*, *B* e *C* e a via fica bloqueada em um dos sentidos, logo os veículos nesse sentido de circulação precisam desviar dessa via para evitar novos acidentes e, conseqüentemente, aumentar a segurança na rodovia. Portanto, supõe-se a existência de uma rota alternativa em relação ao acidente e será fornecida pelo GPS do veículo. O quadrado de lado n representa a região de interesse, ROI, onde todos os veículos existentes nesta região disseminam as mensagens do acidente segundo duas estratégias:

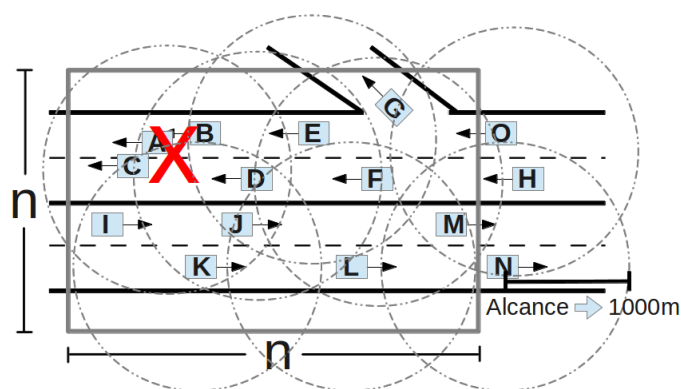


Figura 1. Exemplo de aplicação dos protocolos.

- Primeira estratégia: todos os veículos da região de interesse disseminam as mensagens, independentemente do sentido de circulação. Na figura 1 são todos os veículos, exceto os representados pelas letras *H*, *N* e *O* porque estão fora da ROI.
- Segunda estratégia: somente os veículos pertencentes à rota contrária disseminam as informações e segundo a figura 1 são *I*, *J*, *K*, *L* e *M*. Nesse caso, os veículos *A*, *B* e *C* são os únicos da rota com o acidente que enviam mensagens do mesmo.

Os três itens a seguir contêm os protocolos da disseminação do evento e também uma breve demonstração do funcionamento dos protocolos segundo a figura 1.

4.1. Flooding

O *flooding* ou inundação encaminha as mensagens e/ou pacotes, a partir de um nó, a todos os vizinhos mais próximos, ou seja, vizinhos em primeiro nível. Quando o próximo nodo receber a mensagem, ele cria uma cópia e as repassa aos nós adjacentes. A disseminação de informações ocorre até que determinada informação seja transmitida para todos os nós da ROI [Banzi et al. 2011, Jacobsson et al. 2005]. O *flooding* é considerado um método de encaminhamento de mensagens confiável por transmitir, pelo menos uma vez, todos os pacotes a toda ROI o mais rápido possível.

Além disso, a figura 1 simplifica o funcionamento dos três protocolos considerando a primeira estratégia: no *flooding*, os veículos *A*, *B* e *C* iniciam a disseminação de mensagens do acidente porque são os envolvidos no mesmo. Logo em seguida, os veículos *D*, *E*, *I*, *J* e *K*, recebem a mensagem e as enviam. Na segunda etapa esses veículos enviam cópias da mensagem recebida e assim sucessivamente até que os veículos envolvidos no acidente sejam retirados da via. Além disso, quando um veículo receber a mensagem sobre o acidente, ele se desloca para a rota alternativa como é o caso do veículo *G*. Os veículos *D*, *E* e *F* não mudaram a rota porque receberam a mensagem tardiamente e não foi possível sair da via do acidente. O algoritmo 1 contém uma breve explicação do *flooding* e os itens em negrito correspondem às adaptações realizadas neste trabalho.

Algoritmo 1: Flooding, adaptado de [Banzi et al. 2011]

```
1:  $n \leftarrow$  número total de veículos;  
2:  $veiculo[1...n] \leftarrow$  representa todos os veículos da rede;  
3: while (existir eventos na rede) do  
4:   if (veículo[ $n_i$ ] detectou evento) then  
5:     Atualiza veículo[ $n_i$ ] com a mensagem  $m$ ;  
6:     if (veículo[ $n_i$ ] pertence à ROI) AND (veículo[ $n_i$ ] atende a estratégia 1 ou 2) then  
7:       Cria a mensagem  $m_k$  com informações do acidente;  
8:       Envia a mensagem  $m_k$ ;  
9:     end if  
10:    if (veículo[ $n_i$ ] está na rota com acidente) then  
11:      Seguir para rota alternativa  
12:    end if  
13:  end if  
14: end while
```

4.2. Difusão Epidêmica ou Gossiping

Ao contrário do *flooding*, o *gossiping* economiza recursos de rede, pois escolhe certos vizinhos para enviar as mensagens de dado contendo informações do acidente. Por outro lado, ele precisa de mais tempo para transmitir a mensagem a todos os veículos da ROI. O *gossiping* foi dividido em pacotes de controle (32 bytes de tamanho) e de dados (96 bytes de tamanho). Os pacotes de controles são enviados para que o veículo descubra os próprios vizinhos e os pacotes de dados contém informações sobre o acidente (pista, faixa e veículo envolvido no acidente).

Na figura 1 o veículo *A* possui nós adjacentes (*B*, *C*, *D*, *I*, *J* e *Ks*), então ao utilizar a estratégia 1 ele escolhe os destinatários *D* e *J* e encaminha a mensagem sobre o acidente. Como o veículo *D* possui os vizinhos *B*, *E*, *F*, *J* e *K*, ele escolhe os nodos *F* e *J* e, novamente, encaminha o pacote com informações do acidente. Esse processo se repete até o receptor não pertencer à ROI, logo ele terá consciência do acidente e escolherá a rota alternativa somente se pertencer ao sentido bloqueado. O algoritmo 2 mostra, resumidamente, a implementação do *gossiping*.

Algoritmo 2: Gossiping, adaptado de [Banzi et al. 2011]

```
1:  $n \leftarrow$  número total de veículos;  
2:  $veiculo[1..n] \leftarrow$  representa todos os veículos da rede;  
3: PAC_DADOS  $\leftarrow$  representa pacote de dados;  
4: ID  $\leftarrow$  identificador do veículo atual;  
5: Destinos  $\leftarrow$  conj. dos destinatários;  
6: Eventos  $\leftarrow$  dados do acidente (rota, pista, faixa);  
7: while (existir eventos na rede) do  
8:   if (veículo[ $n_i$ ] detectou evento) then  
9:     Atualiza veículo[ $n_i$ ] com a mensagem  $m$  ;  
10:   if (veículo[ $n_i$ ] pertence à ROI) then  
11:     Cria a mensagem  $m_k$  com informações do acidente;  
12:     if (Estratégia1()) then  
13:       { escolha 25% dos vizinhos da mesma rota e 25% da rota contrária }  
14:       Destinos  $\leftarrow$  50% dos vizinhos ;  
15:     else if (Estratégia2()) then  
16:       { 50% dos vizinhos e todos são da rota inversa }  
17:       Destinos  $\leftarrow$  50% dos vizinhos e todos da rota inversa ;  
18:     end if  
19:     PAC_DADOS  $\leftarrow$  [ID, Destinos, Eventos] ;  
20:     Enviar PAC_DADOS ;  
21:   end if  
22:   if (veículo[ $n_i$ ] está na rota com acidente) then  
23:     Seguir para rota alternativa  
24:   end if  
25: end if  
26: end while
```

4.3. Robust Vehicular Routing

O *Robust Vehicular Routing*, ROVER, também utiliza pacotes de controle para descobrir os vizinhos e os veículos existentes na ROI, logo os pacotes de dados são enviados diretamente aos destinatários utilizando endereçamento *multicast* para aumentar a eficiência e a confiança do protocolo.

Esse protocolo inicia a descoberta de rota através do envio do pacote *Zone Route Request*, *ZRREQ*, contendo o identificador do veículo - *VIN*, a localização, a ROI, o número de sequência da rota, *SS* e a *ZOF*. Diferentemente dos protocolos anteriores, o ROVER considera uma distância de corte para a escolha dos vizinhos, logo os nodos que se encontram próximo ao alcance máximo da transmissão, cerca de 1000m, são desconsiderados. Isso aumenta a *força* do enlace e, de certa forma, garante links mais estáveis.

O objetivo deste protocolo é transmitir a mensagem, M_x , sobre o evento acidente, *Acid*, para todos os veículos pertencentes à ROI, Z_y . Similar a outros protocolos baseados em posicionamento geográfico, existe a *zone of forwarding*, *ZOF*, e representa a região contendo o remetente e a Z_y , logo todos os veículos pertencentes à *ZOF* são partes do processo de roteamento.

O ROVER também descobre os vizinhos do veículo para enviar as mensagens do acidente, mas elas são direcionadas a todos os vizinhos. Segundo a figura 1 e utilizando a estratégia 1, o veículo *A* inicia a disseminação e envia a mensagem do acidente a todos os vizinhos *D*, *I* e *J*, exceto os veículos *A*, *B* e *K* porque estão envolvidos no acidente ou não pertencem ao fator de corte. Esse processo se repete até que todos os veículos sejam informados ou os veículos envolvidos no acidente sejam retirados. Os algoritmos 3, 4 e 5 explicam o ROVER resumidamente.

Algoritmo 3: Envio dos eventos do protocolo ROVER, adaptado de [Kihl et al. 2008]

```

1:  $n \leftarrow$  número total de veículos;
2:  $veiculo[1...n] \leftarrow$  representa os veículos do cenário;
3:  $ZRREQ \leftarrow$  pacote de solicitação de descoberta de vizinhos;
4:  $Acid \leftarrow$  representa o acidente;
5:  $M_x \leftarrow$  representa a mensagem;
6:  $Z_y \leftarrow$  contém coordenadas e o identificador da ROI;

7: while (existir eventos na rede) do
8:   if (!possuoVizinho()) then
9:     Descobrir vizinhos  $\rightarrow ZRREQ$  {Algoritmo 5};
10:    Agenda evento até existir vizinho;
11:   else if (  $veiculo[n_i] \in ROI$  AND  $veiculo[n_i] \in$ 
Destinatários ) then
12:     Selecionar todos os vizinhos do veículo  $[n_i]$ ;
13:     Envia a mensagem  $[Acid, M_x, Z_y]$ ;
14:   end if
15:   if (  $veiculo[n_i] \in$  rota com acidente ) then
16:     Seguir para rota alternativa
17:   end if
18: end while

```

Algoritmo 4: Resposta ao pacote de descoberta de vizinhos do ROVER, adaptado de [Kihl et al. 2008]

```

1:  $ZRREQ \leftarrow$  pacote de descoberta de rota recebido;
2:  $SS \leftarrow ZRREQ[SS]$ ; { SS: número de sequência da rota }
3:  $VIN \leftarrow ZRREQ[VIN]$ ; { VIN: n.º identificador do veículo }
4:  $ROI \leftarrow ZRREQ[ROI]$ ; { ROI: região de interesse ou relevância }
5:  $distancia[COORD] \leftarrow$  distância do veículo atual ao emissor do  $ZRREQ$ ;

6:  $R \leftarrow$  alcance da transmissão; { Padrão de 1000m }
7:  $\alpha \leftarrow 2 \div 3$ ;
8:  $Cutoff\_distance \leftarrow \alpha.R$ ;

9: if (  $veiculo[n_i] \in ROI$  AND  $distancia[COORD] \leq Cutoff\_distance$  ) then
10:   Envia resposta  $ZRREP$  ao veículo  $VIN$ ;
11:   Atualiza  $Tabela\_roteamento \leftarrow [SS, Z_y]$ ;
12:   Envia  $ZRREP[VIN, SS, ROI] \rightarrow VIN$ ;
13: end if

```

Algoritmo 5: Descoberta de vizinhos do protocolo ROVER, adaptado de [Kihl et al. 2008]

```

1:  $ZRREQ[VIN] \leftarrow$  identificador do veículo da ZOF;
2:  $ZRREQ[SS] \leftarrow$  número de sequência da rota;
3:  $ZRREQ[ROI] \leftarrow$  coordenadas e identificador da ROI;
4:  $ZRREQ[COORD] \leftarrow$  coordenada do veículo  $[n_i]$ ;

5: Adicionar informações do veículo;
6: Enviar o pacote de controle  $\rightarrow ZRREQ[VIN, SS, ROI, COORD]$ ;

```

5. Simulações e Análise dos Resultados

Para avaliar os protocolos, foram realizadas simulações com o *flooding*, o *gossiping* e o ROVER, para cada uma das regiões de relevância, determinadas pelo parâmetro n , no simulador OMNET++ 4.2, módulo VEINS Car2X 2.0 e o simulador de tráfego SUMO 0.15. Utilizou-se o mapa digital da Rodovia Fernão Dias s/nº BR-381, km 424 ao km 430. Essa rodovia interliga a cidade de São Paulo a Belo Horizonte e é duplicada em ambos sentidos de circulação.

O sentido de circulação escolhido para a simulação de um acidente foi o de São Paulo a Belo Horizonte e encontra-se próximo a FIAT de Betim. O trecho simulado possui, aproximadamente, 6 km e está representado pelos pontos A e C da figura 2. O ponto B representa o local do acidente. A rota contendo os pontos $P1$ e $P2$ foi escolhida como alternativa para que os veículos escapem da via bloqueada pelo acidente.

A distância entre os veículos nas duas rotas foi de, aproximadamente, 50m. De modo empírico, o número de veículos da rota com o acidente foi sempre a metade do número total de veículos e o restante foi designado para a rota contrária. Além disso, os veículos circulam na velocidade máxima permitida pela pista - 80km/h. Em determinado instante da simulação, ponto B da figura 2, ocorre um acidente envolvendo 8 veículos e o bloqueio total da via no sentido São Paulo a Belo Horizonte. Logo, esses veículos iniciam

ROVER possui menor latência, exceto quando a ROI é 4.5 km. Pode-se observar que para a estratégia 2 o ROVER é o único protocolo que diminuiu a latência para os pacotes de dados em relação à estratégia 1, logo a utilização dos veículos da rota inversa foi benéfica.

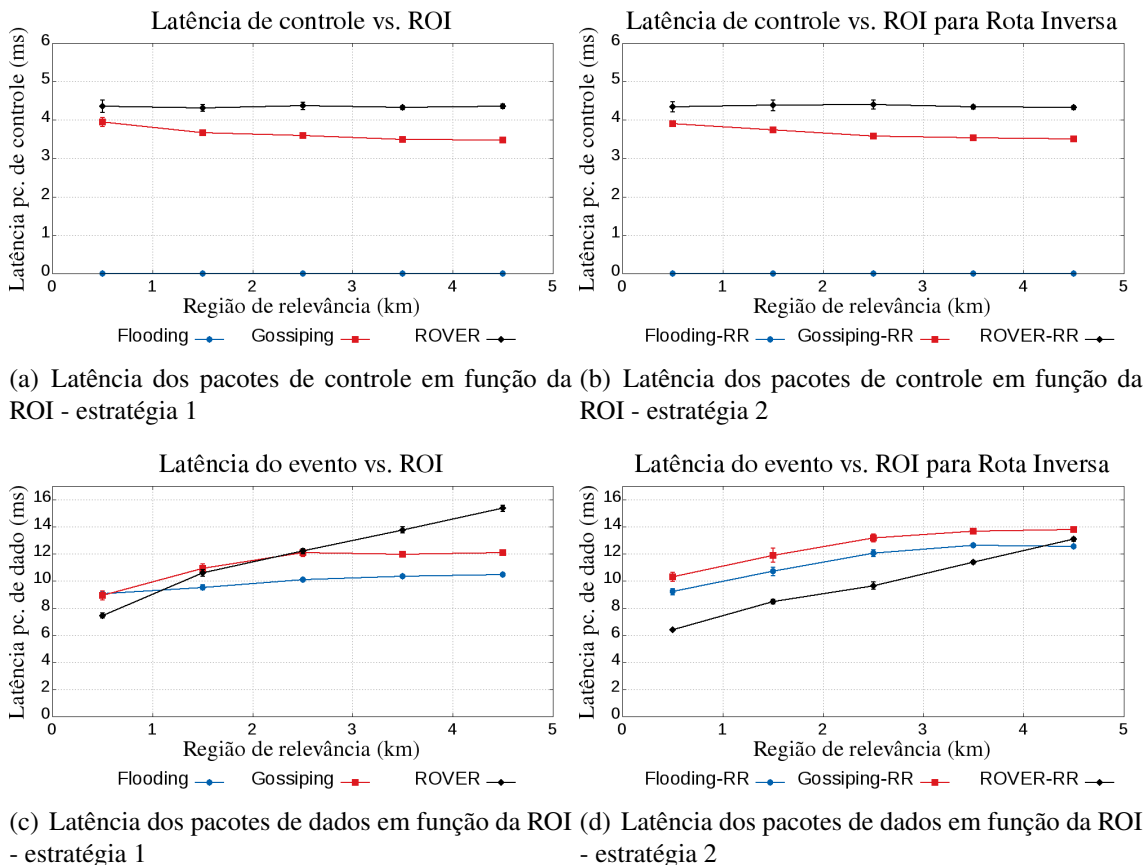


Figura 3. Latência para o flooding, gossiping e ROVER dos pacotes de controle e dados.

Os gráficos da figura 4 mostram o volume de dados trafegados durante todo o instante de tempo do acidente em função do tamanho da ROI. O *gossiping* foi o protocolo que enviou mais volume de dados de controle seguido pelo ROVER de acordo com os gráficos das figuras 4(a) e 4(b). Na estratégia 1 e ROI de 4.5km, o ROVER enviou 25 vezes menos pacotes de controle em relação ao *gossiping*. Como o *flooding* não solicita a descoberta de vizinhos, ele não possui volume de dados de controle.

Quanto aos pacotes de dados do evento, o *flooding* sempre envia mais volume de pacotes do evento do que os outros dois protocolos. No gráfico da figura 4(c), o volume de dados disseminados pelo ROVER é a metade do volume dos dados disseminados pelo *flooding*, enquanto o *gossiping* envia cerca de 30% menos. Ao se utilizar a estratégia 2, no gráfico 4(d), o ROVER ainda é o protocolo que envia o menor volume de dados e o *gossiping* se aproxima do *flooding* quando aumentamos o tamanho da ROI e, na ROI de 4.5km, o volume de dados do evento é 5% menor.

O gráfico da taxa de entrega dos pacotes não foi representado porque todos os protocolos entregaram os dados com informações do acidente a todos os veículos da simulação, independentemente do tamanho da ROI e da quantidade de veículos da rodovia.

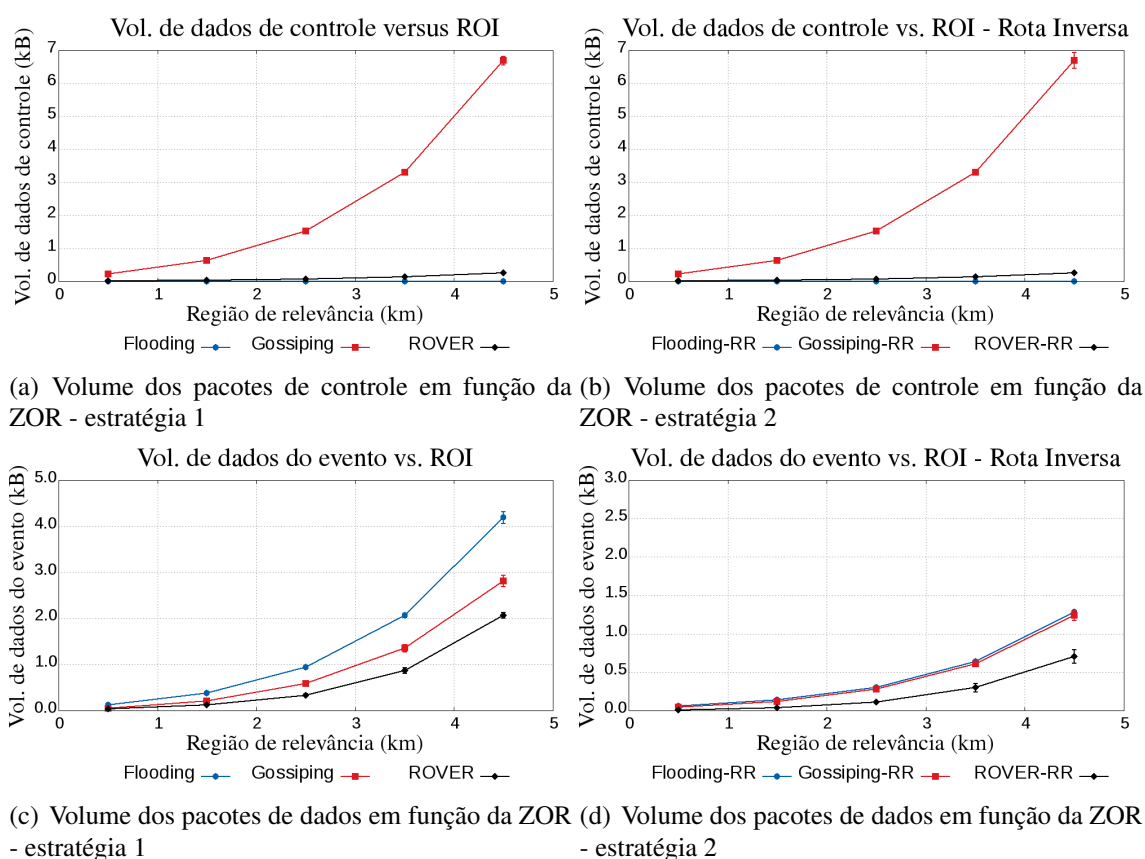


Figura 4. Volume de dados disseminados para os três protocolos.

Os gráficos da figura 5 mostram o número de pacotes de controle e de dados enviados por todos os protocolos. O *gossiping* foi o protocolo com o maior número de pacotes de controle enviado e, logo em seguida, está o ROVER. Em alguns casos como nas ROIs de 3.5 e 4.5km, o ROVER enviou 25 vezes menos pacotes de controle em relação ao *gossiping*.

O número de pacotes de dados enviados estão nos gráficos das figuras 5(c) e 5(d). O ROVER envia menos da metade dos pacotes enviados pelo *flooding* e o *gossiping* envia, no pior caso, 36% menos pacotes de dados para a estratégia 1. Na estratégia 2, no gráfico 5(d), o ROVER envia entre 2 e 6 vezes menos pacotes em relação ao *flooding* e o *gossiping* envia 20% menos na pior situação. O ROVER envia menos pacotes de dados porque dissemina os dados do acidente a todos os vizinhos de um veículo qualquer, enquanto o *gossiping* envia a 50% dos vizinhos. Contudo, o *flooding* envia maior quantidade por não solicitar a descoberta de vizinhos e enviar os pacotes recebidos independentemente da quantidade e da existência de vizinhos. É importante observar que, na maioria dos casos, a estratégia 2 reduziu o número de pacotes de dados disseminados pela metade.

6. Conclusão

Este trabalho simulou alguns protocolos (*flooding*, *gossiping* e ROVER) criados especificamente para redes ad hoc e adaptados para suportar utilização da ZOR e endereçamento *multicast*. Utilizou-se esses protocolos para disseminar informações sobre acidentes de trânsito e permitir a escolha de rotas alternativas.

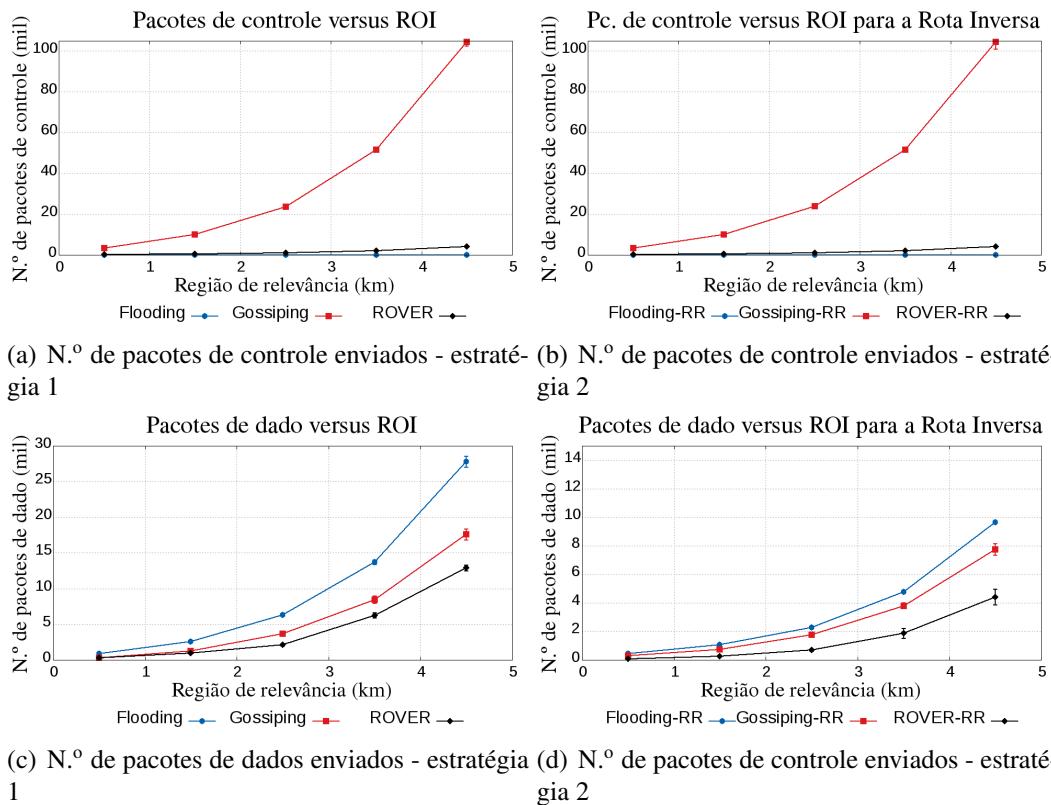


Figura 5. Quantidade de mensagens enviadas em função da região de relevância.

O *flooding*, em geral, possui menor latência quando todos os veículos da ROI enviam as mensagens do evento, logo dissemina as mensagens mais rapidamente. Além disso, a ROI reduziu o número de mensagens disseminadas, pois somente os veículos existentes na ROI necessitam da informação. O ROVER possui a menor latência para os pacotes de dados do evento na estratégia 2 e utiliza pacotes de controle para construir a árvore *multicast*, logo é melhor que o *flooding* quando se utiliza somente os veículos da rota contrária para disseminar o evento. O *gossiping* foi o protocolo com o maior quantidade de pacotes de controle, maior volume de dados e, em alguns casos, apresentou a latência mais alta. Contudo, o *gossiping* pode ser melhorado quando aumentarmos o número de vizinhos escolhidos como destinatários do evento.

A escolha do *flooding*, *gossiping* ou ROVER depende do evento a ser disseminado. Eventos envolvendo segurança no trânsito precisam ser transmitidos o mais rápido possível, mesmo que muitas cópias da mesma mensagem sejam espalhadas. Eventos de compartilhamento de dados existe maior tolerância a atrasos. Portanto, todos os três protocolos analisados podem ser utilizados para disseminar informações sobre acidentes, pois a maior latência foi de 15.37ms.

Como trabalhos futuros pretende-se adicionar outros eventos (semáforos defeituosos, alertas sobre neblina, região virtual para troca de informações). Pretende-se utilizar unidades de acostamento para gerenciar regiões de baixa densidade de veículos; variar a velocidade dos veículos e a porcentagem dos vizinhos escolhidos no *gossiping*; avaliar o congestionamento [Tostes et al. 2012] causado pelo acidente; utilizar diferentes distribuições de veículos para as rotas; e, por último, propor um novo protocolo com as vantagens

de cada um dos implementados.

Referências

- Alves, R. S. A., Campbell, I. V., Couto, R. S., Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K., Duarte, O. C. M. B., , and Abdalla, M. (2009). Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC*, pages 212–267.
- Atechian, T. and Brunie, L. (2008). Dg-castor for query packets dissemination in vanet. In *Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, 2008. MASS 2008. 5th IEEE International Conference on*, pages 547–552.
- Banzi, A. S., Pozo, A. T. R., and Duarte Jr., E. P. (2011). Bio-inspired event dissemination in dynamic and decentralized networks. In *GECCO (Companion)*, pages 223–224.
- Ding, B., Chen, Z., Wang, Y., and Yu, H. (2011). An improved aodv routing protocol for vanets. In *Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2011 International Conference on*, pages 1–5.
- Eugster, P., Guerraoui, R., Kermarrec, A. M., and Massoulié, L. (2004). Epidemic information dissemination in distributed systems. *Computer*, 37(5):60–67.
- Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, 46(6):164–171.
- Jacobsson, M., Guo, C., and Niemegeers, I. (2005). A flooding protocol for manets with self-pruning and prioritized retransmissions. In *Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, 2005. IEEE International Conference on*, pages 9 pp. –49.
- Jiang, D. and 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*, pages 2036–2040.
- Kihl, M., Sichitiu, M., and Joshi, H. (2008). Design and evaluation of two geocast protocols for vehicular ad-hoc networks. *Journal of Internet Engineering*.
- Korkmaz, G., Ekici, E., Özgüner, F., and Özgüner, U. (2004). Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, VANET '04*, pages 76–85. ACM.
- Li, F. and Wang, Y. (2007). Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, 2(2):12–22.
- Perkins, C. and Royer, E. (1999). Ad-hoc on-demand distance vector routing. In *Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on*, pages 90–100.
- Seada, K. and Helmy, A. (2006). Efficient and robust geocasting protocols for sensor networks. *Comput. Commun.*, 29(2):151–161.
- Tostes, A. I., Duarte-Figueiredo, F., Almeida, J., and Loureiro, A. A. F. (2012). Modelo analítico de contenção de tráfego em vanet usando dados reais de mobilidade. *WPerformance - CSBC 2012*, page 14.
- Zhao, J. and Cao, G. (2008). Vadd: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 57(3):1910–1922.