

Um novo Algoritmo Geográfico Ciente de Partições na Rede para Disseminação de Dados em Redes Veiculares

Leandro A. Villas^{1,4}, Azzedine Boukerche², Antonio A. F. Loureiro³ e Jo Ueyama⁴

¹Instituto de Computação – UNICAMP

²PARADISE Research Laboratory - University of Ottawa

³Departamento de Ciência da Computação - UFMG

⁴Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP

leandro@ic.unicamp.br, boukerch@site.uottawa.ca

loureiro@dcc.ufmg.br e joueyama@icmc.usp.br

Abstract. *Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) have attracted the attention of the research community recently as they have opened up a myriad of on the road applications and increased their potential by providing accident-free and intelligent transport systems. The envisaged applications, as well as some inherent VANET characteristics such as intermittent connectivity, a highly dynamic topology, and a different and dynamic network density, make data dissemination an essential service and a challenging task in these networks. Although they have been extensively studied in the literature, the existing solutions for data dissemination do not effectively address broadcast storm and network partition problems when considered together. To tackle these problems, we propose a novel geographical data dissemination of alert information and aware of network partition, named as DRIVING, which eliminates the broadcast storm and maximizes data dissemination capabilities across network partitions with short delays and low overhead. The simulation results show that the data dissemination performed by DRIVING provides better efficiency than other algorithms, outperforming them in different scenarios in all the evaluations carried out.*

Resumo. *As Redes Ad hoc Veiculares (VANETs) têm atraído a atenção da comunidade de pesquisa e tem permitido uma infinidade de aplicações em veículos nas rodovias e ampliou o seu potencial, provendo sistemas de transporte inteligentes e ao mesmo tempo livres de acidentes. As aplicações destes ambientes, bem como algumas características das VANETs, como conectividade intermitente, topologias altamente dinâmicas, e uma densidade de rede incomum e dinâmica, fazem com que a disseminação de dados transformem-se em um serviço essencial e desafiadora nas VANETs. Apesar de terem sido amplamente estudadas na literatura, as soluções existentes para a disseminação de dados não tratam efetivamente os problemas de tempestades de broadcast e partições da rede considerados em conjunto. Para solucionar estes problemas, propomos um novo algoritmo geográfico ciente de partições na rede para Disseminação de dados em Redes Veiculares INteliGentes (DRIVING) . O algoritmo proposto, elimina a tempestade de broadcast e maximiza a capacidade de disseminação de dados entre as partições de rede com pequenos atrasos e baixo overhead. Os resultados da simulação mostram que a disseminação de dados realizada por DRIVING proporciona uma melhor eficiência do que outros algoritmos, superando-os em cenários diferentes em todas as avaliações realizadas.*

1. Introdução

Em redes Ad hoc Veiculares (VANETs), os veículos são equipados com sensores embarcados, unidades de processamento e interfaces de comunicação sem fio para comunicar com outros veículos e com os *roadside units* (RSU), permitindo a criação de uma rede “espontânea” enquanto o veículo locomove-se nas rodovias [Luo and Hubaux 2006, Li and Wang 2007, Toor et al. 2008, Wang and Li 2009].

O uso de sistemas de comunicações móveis em veículos deve se tornar uma realidade nos próximos anos, já que a indústria, o mundo acadêmico e os governos do mundo inteiro estão dedicando consideráveis recursos para a implantação de redes veiculares no intuito de garantir uma sólida infra-estrutura e um sistema de transporte mais seguro. Este novo paradigma que permite que as informações sejam compartilhadas entre veículos, vai permitir uma ampla gama de aplicações de segurança, de assistência ao condutor, sensoriamento urbano, eficiência do tráfego, informação e entretenimento entre outras que serão incorporados em projetos de veículos modernos.

A disseminação dos dados é uma das tarefas mais desafiadoras e indispensáveis em redes veiculares. Ela é particularmente desafiadora devido a algumas características inerentes das VANETs, como por exemplo, a existência de uma topologia altamente dinâmica, frequentes desconexões de rede e uma densidade de rede com facetas diferentes, além de ser dinâmica. A disseminação é uma função vital, pois neste tipo de rede, uma mensagem pode ser de grande interesse para os veículos em uma dada região. Por exemplo, avisos para evitar colisões e pós-acidentes exigem uma disseminação de dados eficiente e confiável. Isso particularmente quando as distâncias entre o veículo emissor e os veículos receptores são maiores do que o raio de comunicação.

Para a criação de protocolos de disseminação de dados eficiente para VANETs, dois problemas chaves devem ser considerados:

1. **Tempestade de Broadcasts:** ocorre quando vários veículos que estão perto um do outro tentam transmitir ao mesmo tempo, causando um alto tráfego de dados, congestionamento na rede, colisões entre pacotes e um atraso adicional no controle de acesso ao meio (camada MAC).
2. **Partição de Rede:** ocorre quando o número de veículos na área de interesse não é suficiente para realizar a disseminação de dados entre os grupos de veículos próximos um do outro. Neste cenário, se o veículo não estiver ciente de que a rede está desconectada, quando recebe uma nova mensagem, ele simplesmente irá retransmitir em *broadcast* a mensagem e descartá-la na sequência. Uma vez que não há nenhum outro veículo dentro da área de interesse para receber esta mensagem, ela será simplesmente perdida para sempre. O problema da partição da rede é muito comum em uma rede VANET; isso devido à distribuição esparsa e aleatória entre os veículos. Tal problema impõe grandes desafios para a disseminação de dados já que as mensagens não podem ser facilmente reencaminhadas entre as partições.

A literatura apresenta diversas soluções de disseminação de dados nas VANETs [Korkmaz et al. 2004, Durresi et al. 2005, Joshi et al. 2007, Chen et al. 2009, Tonguz et al. 2010, Bakhouya et al. 2011]. Entretanto, as soluções existentes foram projetadas para lidar com o problema da tempestade de *broadcasts* ou o problema da partição da rede e não os dois em conjunto. Argumentamos que estes dois problemas não devem

ser tratadas separadamente e salientamos que até o presente momento de nossa pesquisa, não encontramos trabalhos na área de disseminação de dados que endereçam estes dois problemas de maneira eficiente e em conjunto.

Para superar os desafios citados acima, propomos um novo algoritmo geográfico ciente de partições na rede para **Disseminação de dados em Redes Veiculares INteliGentes (DRIVING)**. Esta proposta de disseminação elimina a tempestade de *broadcast* e maximiza a capacidade de disseminação de dados entre partições de rede com pequenos atrasos e baixo *overhead*. A nossa proposta possui três vantagens: *primeiro*, ela realiza a disseminação de dados de maneira reativa, isto é, ela não requer a construção e manutenção da tabela de vizinhos para disseminar dados dentro da área de interesse. As VANETs possuem uma topologia altamente dinâmica devido à alta velocidade de mobilidade dos veículos. Por isso, o custo da construção e manutenção da tabela dos vizinhos normalmente é alto. Entretanto, a maior parte das soluções discutidas na literatura requer o uso das tabelas dos vizinhos [Durreli et al. 2005, Joshi et al. 2007, Chen et al. 2009, Tonguz et al. 2010]. *Segundo*, propomos o uso da zona de preferência e a utilizamos para disseminar dados de maneira eficiente dentro da área de interesse; e isso leva a um baixo *overhead*, baixos atrasos e uma alta cobertura. *Terceiro*, a nossa proposta supera o problema da partição da rede sem a necessidade de utilizar a zona de encaminhamento *zone of forwarding (ZoF)* como em [Joshi et al. 2007, Chen et al. 2009], pois o uso de uma área fixa para a ZoF traz alguns problemas. Se a área é maior do que o ideal, alguns veículos irrelevantes encaminharão mensagens, fazendo o uso desnecessário de recursos do canal. Por outro lado, se esta área é menor do que o ideal, a partição da rede poderá ocorrer. Consequentemente, o cálculo da área do ZoF é complexo e torna-se um aspecto chave para os protocolos propostos.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma. Na próxima seção, provemos uma visão geral das abordagens existentes para a disseminação de dados em VANETs. A nossa proposta de um protocolo de disseminação de dados eficiente e robusta é descrita na Seção 3, enquanto que uma avaliação detalhada da performance e dos resultados de simulação são apresentados na Seção 4. Finalmente, a Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O mecanismo mais simples de realizar a disseminação é através de *flooding* (inundações), o que significa que os dados são enviados a todos os veículos vizinhos, que por sua vez irá armazenar e transmitir os dados para os seus vizinhos também. Essa abordagem garante um bom desempenho para redes esparsas, mas logo encontra o problema de tempestade de broadcast quando a densidade da rede aumenta. Em vista disso, as propostas atuais para a disseminação de dados dá o foco principalmente na forma como os pacotes serão encaminhados; várias propostas podem ser encontradas para isso – as baseados em posição, baseados estatisticamente, baseados em distância, baseados na topologia local, baseados nos temporizadores e as baseados em mapas.

O trabalho *Adaptive approach for Information Dissemination (AID)* [Bakhouya et al. 2011] é uma abordagem descentralizada e adaptável para a disseminação de informação em VANETs. Nesta abordagem, o veículo decide se deve ou não transmitir um pacote, dependendo do número de vezes que ele recebe o mesmo

pacote de dados em um determinado período de tempo. Em redes densas, por exemplo, vários veículos podem decidir descartar um pacote, uma vez que ele já foi encaminhado por diversos veículos, e isso reduz o problema da tempestade de *broadcast*. No entanto, o protocolo AID não trata o problema de partição da rede.

O trabalho *Distance Based Relay Selection* (DBRS) [Sun et al. 2000, Kim et al. 2007] é uma estratégia simples e eficiente para disseminar informações em uma rede. Ao receber um pacote, o veículo o mantém por um intervalo de tempo que é proporcional ao inverso da distância até o veículo transmissor. Assim, para disseminar informações, é preferível utilizar veículos mais distantes do veículo transmissor. Os veículos que ouvem a transmissão do pacote que o mesmo já está programado para ser transmitido, cancelam a sua transmissão para evitar a tempestade de *broadcast*. Esta abordagem é eficaz no sentido de que ela pode evitar a tempestade de *broadcast*, mas ela pode trazer dois problemas: (i) o atraso pode ser elevado, pois não há garantia de existência de veículos próximos ao raio de comunicação (aqueles que transmitem com menor atraso), e (ii) a cobertura pode ser reduzida, posto que os veículos irão cancelar as suas transmissões de forma indiscriminada ao ouvir a transmissão do mesmo pacote.

A nossa proposta é baseado também na distância, porém utilizamos a região da zona de preferência para priorizar veículos situados no interior dessa região, além de permitir disseminar os dados, com um baixo atraso. Ademais, a estratégia de cancelamento da nossa proposta é utilizada somente em veículos dentro do mesmo quadrante da área de transmissão, aumentando assim a sua cobertura.

3. Algoritmo Proposto

O objetivo principal do algoritmo proposto DRIVING é realizar a disseminação de dados dentro de uma área de interesse (AOI), eliminando assim a tempestade de *broadcast* e maximizando a capacidade da disseminação de dados entre partições de rede, além de prover tudo isso com uma baixa sobrecarga, pequenos atrasos e uma alta cobertura. Além do que foi mencionado, os veículos não necessitam de uma tabela de vizinhos como a maioria das propostas encontradas na literatura. O DRIVING usa uma zona de preferência para eliminar o problema da tempestade de *broadcast* e maximizar a disseminação de dados.

Definition 3.1 (Zona de Preferência) *Definimos uma zona de preferência como uma área onde os veículos dentro dela são considerados os mais adequados para continuar realizando a disseminação de dados. Isto significa que, entre todos os veículos que receberam os dados, a transmissão de um único veículo dentro da zona de preferência é suficiente para realizar a disseminação de dados eficientemente. Os veículos localizados dentro das zonas de preferência são os mais indicados para "espalhar" a informação mais longe, assim como para alcançar um maior número de vizinhos que não puderam ser alcançados pelo último transmissor.*

A Figura 1 ilustra a zona de preferência proposta. Por uma questão de simplificação, a forma da área de comunicação é considerada como sendo um círculo, onde o veículo transmissor se encontra no centro do círculo. Mas convém salientar que qualquer formato (além do círculo) funciona para a solução proposta. A área de comunicação é decomposta em quatro quadrantes, e em cada quadrante, uma sub-área do quadrante é definida como uma zona de preferência.

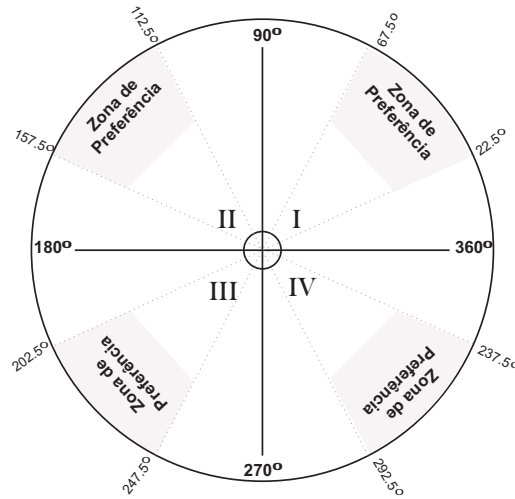


Figura 1. Zona de Preferência.

No nosso algoritmo DRIVING, a disseminação de dados é realizada de duas maneiras distintas. No primeiro caso, não existe uma partição de rede dentro da área de interesse - como mostrado na Seção 3.1. No segundo caso, a área de interesse é dividida - como mostrado na Seção 3.2.

O algoritmo DRIVING elimina o problema da tempestade de *broadcast*, porque ele requer menos transmissões para realizar a disseminação de dados. A razão para isto é que os veículos dentro da zona de preferência transmitem os dados com o menor atraso e abortam as transmissões do mesmo pacote de outros veículos que não estão dentro da zona de preferência. Dentre os veículos que estão dentro da zona de preferência, o que estiver mais distante do veículo transmissor irá transmitir primeiro e abortar as transmissões desnecessárias dos outros veículos que estão dentro da zona de preferência. No caso de não haver veículos dentro da zona de preferência, o veículo mais distante de cada quadrante irá retransmitir a mensagem. Através das zonas de preferência, podemos impedir a transmissão da mesma mensagem dos veículos que estão próximos uns dos outros e pertençam a quadrantes diferentes. Assim evitamos que as mensagens alcancem áreas similares, o que seria uma redundância desnecessária. Além disso, DRIVING utiliza os veículos fora da área de interesse (sem há necessidade de definir uma zona de encaminhamento como nas soluções apresentadas na literatura) para realizar a disseminação de dados para os veículos que estão em partições de rede distintas e que estão dentro da mesma área de interesse.

3.1. Disseminação de Dados

No DRIVING, quando ocorre um evento, o veículo que detecta o evento começa a disseminar os dados sobre o evento dentro da área de interesse. Durante este processo, os veículos no interior da zona de preferência (ver Figura 1) são preferencialmente escolhidos para continuar o processo de disseminação de dados e eliminar a tempestade de *broadcast*. Este processo é descrito na Figura 2 (retângulo pontilhado à esquerda). Subsequentemente, o veículo fonte cria uma mensagem de informações sobre o evento e transmite a mesma para os seus vizinhos. Ao receber tal mensagem, cada veículo verifica se está dentro da área de interesse (AOI), conforme exibido no ponto E da Figura 2. Se

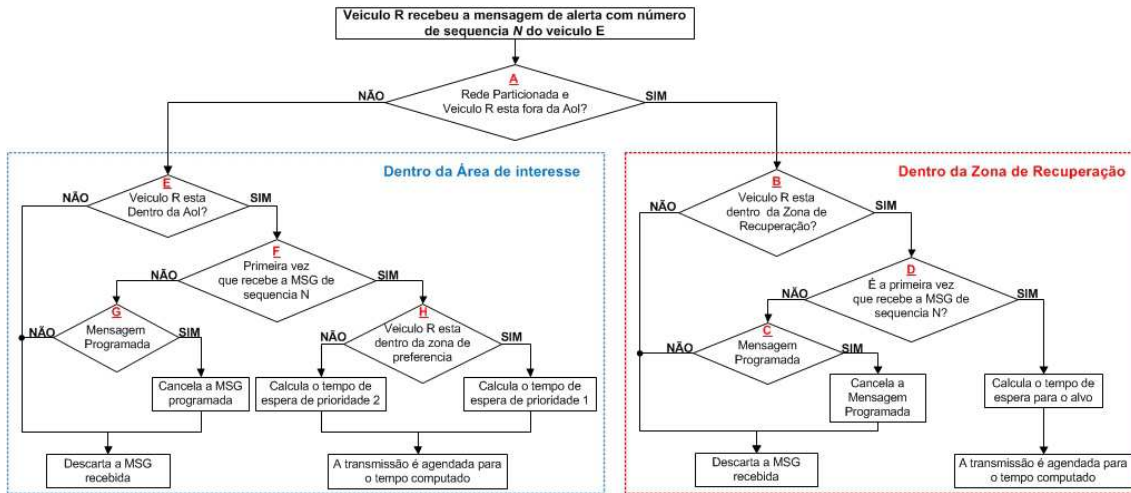


Figura 2. DRIVING - Fluxograma da disseminação de dados.

esta condição não for cumprida, o veículo descarta a mensagem recebida. Caso contrário, a condição no ponto F da Figura 2 é verificada e se satisfeita, o veículo calcula o tempo de espera e escalona a transmissão que é baseada na zona de preferência e na sua posição. O Algoritmo 1 provê mais detalhes a respeito da zona de preferência e a maneira como o tempo de espera é calculado.

3.2. Disseminação de Dados entre as Partições de Rede

No DRIVING, quando uma partição de rede é detectada por um veículo fonte, alguns veículos localizados fora da área de interesse são utilizados para disseminar os dados sobre o evento dentro da área de interesse. Estes veículos localizados fora da área de interesse formam uma zona de recuperação dinâmica, onde não há a necessidade de definir uma área fixa como nas soluções apresentadas na literatura. O principal objetivo da utilização da zona de recuperação é a realização da disseminação de dados para os veículos que estão em partições de rede distintas, mas que estão dentro da mesma área de interesse. Além disso, superar as limitações das soluções que utilizam uma zona de encaminhamento de área fixa, conforme já foi discutido na Seção 1.

Este processo é exibido na Figura 2 (retângulo pontilhado à direita). Subsequentemente, o veículo fonte cria uma mensagem de informações sobre o evento e transmite a mesma para os seus vizinhos. Ao receber tal mensagem, cada veículo verifica se ele encontra-se fora da área de interesse, como mostrado no ponto A da Figura 2. Se este não for o caso, o veículo executa o processo apresentado na Seção 3.1. Caso contrário, se o veículo está dentro da zona de recuperação (ponto B da Figura 2), a condição no ponto D da Figura 2 é verificada e caso ela seja verdadeira, o veículo calcula o tempo de espera e escalona a transmissão baseada no alvo e na sua posição. Onde o alvo é o extremo da área de interesse. O Algoritmo 2 apresenta mais detalhes sobre o cálculo do tempo de espera.

4. Avaliação de Desempenho

Nessa seção, nós avaliamos o desempenho do algoritmo proposto DRIVING. Nós também comparamos o desempenho com três outros conhecidos algoritmos para disseminação de dados em redes veiculares: Flooding, AID and DBRS.

Algoritmo 1: Verifica se o veículo receptor está dentro da zona de preferência e calcula o tempo de espera para agendar a transmissão.

```

1 Entrada:  $(x_t, y_t)$  and  $(x_r, y_r)$  // Coordenadas dos Veículos Transmissores e Receptores.
2 Saida: Atraso // Tempo de espera computado para agendar a transmissão.
   // A função atan2 com dois argumentos é a variação da função arco-tangente.
3  $angulo = atan2(y_s - y_r, x_s - x_r)$ ;
4  $distancia = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2}$ ;
5  $Atraso = 0.01 \times (\frac{distancia}{raioComunicacao})$ ;
6 se  $(|angulo| \leq \frac{\pi}{2})$  então
7   se  $(|angulo| > \frac{\pi}{8})$  and  $(|angulo| < \frac{\pi}{8} + \frac{\pi}{4})$  então
   // Calcula o tempo de espera com prioridade 1
8    $Atraso = Atraso + Aleatorio(0, 0.01)$ 
9   fim se
10  senão
   // Calcula o tempo de espera com prioridade 2
11   $Atraso = Atraso + Aleatorio(0.02, 0.05)$ 
12  fim se
13 fim se
14 senão
15  se  $(|angulo| > \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{8})$  and  $(|angulo| < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{8} + \frac{\pi}{4})$  então
   // Calcula o tempo de espera com prioridade 1
16   $Atraso = Atraso + Aleatorio(0, 0.01)$ 
17  fim se
18  senão
   // Calcula o tempo de espera com prioridade 2
19   $Atraso = Atraso + Aleatorio(0.02, 0.05)$ 
20  fim se
21 fim se

```

Algoritmo 2: Computa o tempo de espera para agendar a transmissão.

```

1 Entrada: geometriaParticionamento e fontePosicao // Coordenadas da área de interesse
   particionada e veículo fonte.
2 Saida: Atraso // Tempo de espera computado para agendar a transmissão.
   // Alvo é o centro do lado oposto da área de interesse particionada.
3 se  $(fontePosicao_x > geometriaParticionamento_{x1})$  então
4    $Alvo_x = geometriaParticionamento_{x1} - AoI/raioComunicacao$ ;
5 fim se
6 senão
7    $Alvo_x = geometriaParticionamento_{x2} + AoI/raioComunicacao$ ;
8 fim se
9    $Alvo_y = (geometriaParticionamento_{y2} - geometriaParticionamento_{y1})/2$ ;
10  $distanciaAlvo = \sqrt{(atualPos_x - Alvo_x)^2 + (atualPos_y - Alvo_y)^2}$ ;
11  $Atraso = 0.01 \times (\frac{distanciaAlvo}{Alvo_y})$ ;

```

4.1. Metodologia

A avaliação é realizada através de simulações utilizando o *OMNeT++ Network Simulation Framework v.4.1* [OMNET++], *Inetmanet framework*, and *SUMO-Simulation of Urban MObility* [SUMO]. Neste estudo, um cenário de mobilidade realístico é utilizado para realizar as simulações. O cenário gerado com o auxílio da ferramenta *SUMO* é uma topologia em grade de $2000 \times 2000 m^2$ com blocos de tamanho de $50 \times 100 m^2$, como representado na Figura 3(a).

Nos cenários experimentais, o tráfego de veículos é gerado aleatoriamente. A velocidade dos veículos podem variar de 30 até 50 quilômetro por hora, o número de veículos é fixado para 800, 1000, 1200, 1400, e 1600 veículos e a área de interesse é fixada para 500×500 , 550×550 , 600×600 e $650 \times 650 m^2$. Este cenário, é gerado aleatoriamente e cada um contém 60 estradas, 800 interseções e 120 pontos de cruzamento na

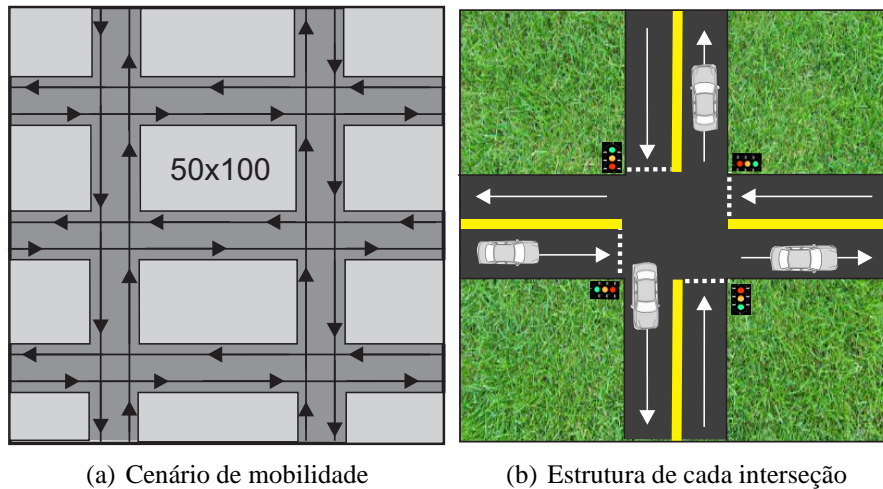


Figura 3. Cenário de Avaliação

fronteira. Como mostrado na Figura 3(a), os veículos se movem ao longo da grade de ruas horizontais e verticais no mapa. Cada linha representa uma estrada de pista única e o movimento dos veículos ocorre nas direções indicadas pelas setas. Em um cruzamento na fronteira, os veículos escolhem virar ou manter se movendo na mesma direção com igual probabilidade, 0.5. Em um cruzamento de uma rua vertical e uma horizontal (veja Figura 3(b)), cada veículo escolhe virar à direita ou esquerda com uma probabilidade de 0.25 e manter se movendo na mesma direção com uma probabilidade de 0.5.

O tempo de simulação utilizado é de 100 s, que é suficientemente longo para avaliar os protocolos de disseminação através das variações da velocidade e da densidade dos veículos. Durante a simulação, um veículo arbitrário é escolhido para causar um acidente, e depois de bater, os veículos envolvidos divulgam as informações sobre o acidente para todos os veículos dentro da área de interesse. Cada veículo usa um protocolo MAC IEEE 802.11, operando a 2 Mbps, para enviar e receber mensagens. Nós usamos um modelo de propagação de rádio *two-ray ground* e o raio de transmissão é 200 m.

Cada simulação foi replicada 33 vezes. Em todos os resultados, as curvas representam os valores médios, enquanto que as barras de erros representam o intervalo de confiança de 95%. Os parâmetros de simulação são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Valores
Duração da disseminação (segundos)	60
Número de veículos	800, 1000, 1200, 1400, 1600
Velocidade do veículo (Quilômetros por hora)	30, 35, 40, 45, 50
Área de Interesse (m^2)	500x500, 550x550, 600x600, 650x650
Taxa de disseminação (por segundo)	1
Raio de comunicação (metros)	200
Tempo de simulação (segundos)	100

As seguintes métricas foram utilizadas na avaliação de desempenho:

- **Custo:** quantidade de transmissões realizadas durante a disseminação dos dados;
- **Colisões:** número de colisões de pacotes durante a disseminação dos dados;

- **Cobertura:** relação entre o número de veículos, dentro da área de interesse quando a disseminação dos dados é realizada e o número de veículos que receberam os dados;
- **Atraso:** tempo médio para disseminar os dados dentro da área de interesse.

Para as métricas avaliadas, nós variamos o número e velocidade dos veículos e o tamanho da área de interesse (apresentados na Tabela 1) para analisar o desempenho do algoritmo proposto. Nós avaliamos cenários sem partições de rede dentro da área de interesse (Seção 4.2) e cenários onde ocorrem partições de rede dentro da área de interesse (Seção 4.3).

4.2. Rede não Particionada dentro da Área de Interesse

O objetivo principal de avaliar cenários que não têm partições de rede dentro da área de interesse é mostrar que a solução proposta elimina a tempestade de *broadcast* e tem baixa sobrecarga para realizar a disseminação dos dados, com pequenos atrasos.

4.2.1. Custo

Figura 4(a) mostra que o *DRIVING* é mais eficiente do que os algoritmos *Flooding*, *AID* e *DBRS*, uma vez que necessita menos transmissões para realizar disseminação de dados dentro da área de interesse. Na média, o número de transmissões do *DRIVING* é de cerca de uma ordem de grandeza menor do que *Flooding*. Este resultado é esperado uma vez que nenhum mecanismo para reduzir a tempestade *broadcast* é implementado juntamente com o *Flooding*. *DRIVING*, *AID* e *DBRS* apresentam a mesma ordem de grandeza do número de transmissões, mas em média, *DRIVING* requer mais transmissões do que o *DBRS* e menos transmissões do que o *AID*. Embora *DBRS* requer menos transmissões para realizar a disseminação dos dados, ele deixa de cobrir toda área de interesse (veja Figura 4(c)), e causa alto atraso (veja Figura 4(d)), quando comparado com *DRIVING*.

4.2.2. Colisões

Soluções de disseminação de dados baseadas em *flooding* tem uma alta taxa de colisões e sofrem do problema de tempestade de *broadcast*. Figura 4(b) mostra que o *DRIVING* elimina o problema de tempestade de *broadcast*, uma vez que necessita menos transmissões para realizar a disseminação de dados (veja Figura 4(a)). Podemos observar que *DRIVING* transmite um número semelhante de mensagens para cobrir a totalidade da área de interesse como *AID*. Novamente, *Flooding* não é eficiente porque não tenta resolver o problema de tempestade de *broadcast*. *DBRS* é a abordagem que apresentou o menor número de colisões de pacotes, mas vale a pena mencionar novamente que não consegue cobrir toda a área de interesse e apresenta alto atraso. O número de colisões de pacotes é outra métrica para avaliar o desempenho dos algoritmos para lidar com o problema de tempestade de *broadcast*.

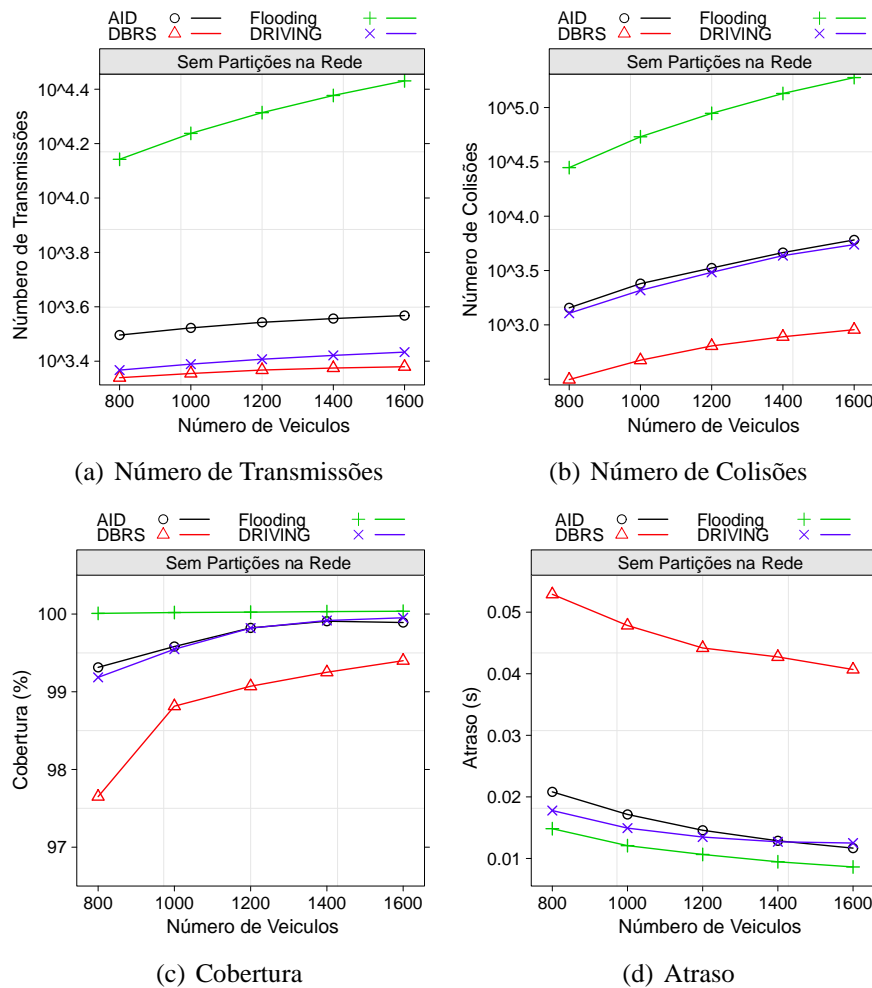


Figura 4. Resultados de Simulações para Redes não Particionadas

4.2.3. Cobertura

Flooding é usado como linha de base para avaliar a cobertura, uma vez que se espera que o *Flooding* realiza a disseminação dos dados para todos os veículos dentro da área de interesse, que estão ligados ao mesmo componente que o veículo que inicia o processo de disseminação de dados. Assim, pode ser visto na Figura 4(c) que usando *Flooding*, nós poderíamos alcançar 100% de cobertura para todos os cenários que nós avaliamos. *DRIVING* e *AID* produziu resultados muito semelhantes e foram muito próximos de 100% de cobertura. Em cenários esparsos, ambos *DRIVING* e *AID* alcançaram cobertura ligeiramente inferior de 100% (aproximadamente 99%). A razão para isso foi que o esquema de supressão de tempestade de *broadcast* (o processo de cancelamento) às vezes, poda um ramo de transmissão, que não pode ser alcançado por um outro caminho. Entretanto, em geral, ambos *DRIVING* e *AID* alcançam uma alta cobertura que é muito próximo ao conseguido pelo *Flooding*, mas com a vantagem de suprimir a tempestade de *broadcast*. *DBRS* não abrange a área de interesse porque seu esquema de supressão é muito agressivo e poda muitos ramos de transmissões que não podem ser alcançados por outros caminhos.

4.2.4. Atraso

O tempo decorrido até que os veículos que encontram-se dentro da área de interesse recebam o dado disseminado é um valor importante para avaliar o desempenho dos algoritmos de disseminação de dados porque muitas aplicações, como o sistema de aviso de colisão, por exemplo, tem requisitos de tempo real para funcionar corretamente. Figura 4(d) mostra o comportamento dos quatro algoritmos, com o *Flooding* sendo a linha de base. Podemos observar que *DRIVING* comporta-se de forma semelhante quando comparado com a *AID*, ainda que utilize o atraso proporcional ao inverso da distância do último veículo transmissor. Como pode ser observado, o esquema de zona de preferência é capaz de diminuir o atraso para quase o mesmo nível do *AID*. *DBRS* é o algoritmo que causa o maior atraso. Isto ocorre porque o *DBRS* impõe um atraso adicional para cada salto, o atraso com base na distância. Apesar do *DRIVING* também impor um atraso baseado na distância, a zona de preferência alivia este efeito no atraso total.

4.3. Rede Particionada dentro da Área de Interesse

O objetivo principal de avaliar cenários que têm partições de rede dentro da área de interesse é mostrar que a solução proposta maximiza a capacidade de disseminação de dados entre partições de rede.

4.3.1. Custo e Colisões

Figuras 5(a) e 5(b) mostram que o *DRIVING* aumenta ligeiramente o número de transmissões e colisões quando comparado com os cenários sem partições de rede (veja Figura 4(a) e 4(b)). Isto ocorre porque *DRIVING* é capaz de contornar partições de rede utilizando as zonas de recuperação e, conseqüentemente, maximiza a disseminação dos dados. Nos outros algoritmos, o número de transmissões e colisões são mais baixos porque eles não realizam disseminação dos dados em toda a área de interesse (ver Figura 5(c)).

4.3.2. Cobertura

Figuras 5(c) mostra que o *DRIVING* maximiza a capacidade de disseminação de dados entre partições de rede. Em contraste, *Flooding*, *AID* e *DBRS* não pode executar de forma eficiente a disseminação de dados sobre redes particionadas. Em média, *DRIVING* alcança uma cobertura de 89% dos veículos enquanto os outros algoritmos alcançam uma cobertura de 61%. Isto ocorre porque o *DRIVING* é capaz de contornar partições de rede utilizando as zonas de recuperação e, conseqüentemente, maximiza a disseminação dos dados.

4.3.3. Atraso

O tempo decorrido até que os veículos dentro da área de interesse recebam o dado disseminado, é uma métrica importante para avaliar o desempenho dos algoritmos de disseminação de dados. Figura 4(d) mostra que a zona de preferência proposta é eficiente para diminuir o atraso. No caso de cenários que têm partições de rede dentro da área de

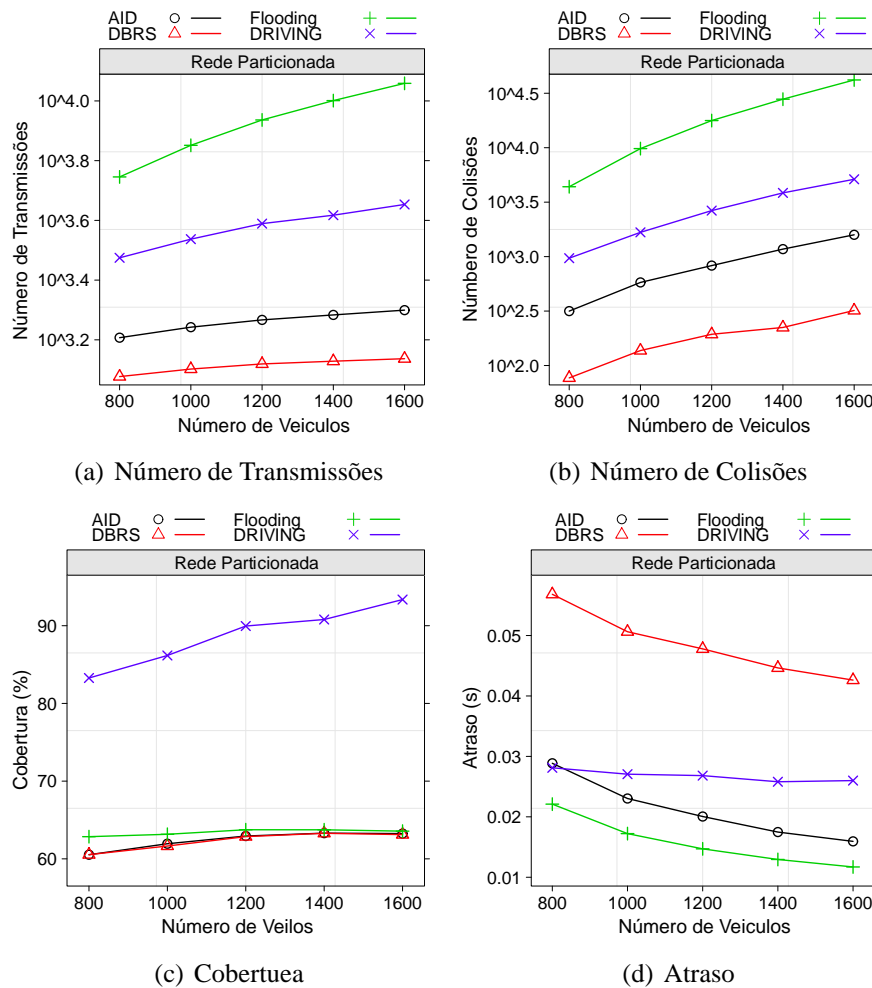


Figura 5. Resultados de Simulações para Redes Particionadas

interesse (Figura 5(d)), o atraso é um pouco maior, mas garante uma melhor cobertura (o que é muito importante para aplicações críticas) em entregar os dados divulgados dentro da área de interesse.

5. Conclusões

Nós apresentamos o DRIVING, um novo algoritmo geográfico de disseminação de dados em redes veiculares inteligentes. Criamos *DRIVING* para atender os problemas difíceis de tempestade de *broadcast* e partições de rede para realizar disseminação de dados em VANETs. *DRIVING* usa o conceito de zona de preferência para selecionar o veículo retransmissor que maximiza a cobertura e suprime o efeito de tempestade de *broadcast*. Além disso, *DRIVING* usa zonas de recuperação dinâmicas para maximizar a disseminação de dados em redes particionadas. *DRIVING* foi comparado com os algoritmos *Flooding*, *AID* e *DBRS*. Os resultados mostram que o *DRIVING* realiza supressão eficiente da tempestade de *broadcast*, reduz o atraso e maximiza a cobertura durante a disseminação de dados. A zona de preferência permite o *DRIVING* selecionar o veículo retransmissor de forma mais eficiente alcançando resultados melhores do que os algoritmos comparados. Como trabalhos futuros pretendemos avaliar a performance do DRIVING sob cenários de

rodovias, caso o DRIVING não apresentar um bom desempenho, pretendemos investigar as modificações necessárias para tornar *DRIVING* eficiente para cenários de rodovias.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar a sua gratidão pelo apoio concedido pelo CNPq, FAPESP para o INCT-SEC (processos 573963/2008-9 e 2012/12061-1) e FAPEMIG.

Referências

- Bakhouya, M., Gaber, J., and Lorenz, P. (2011). An adaptive approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks. *Journal of Network and Computer Applications*, In Press, Uncorrected Proof:–.
- Chen, Y.-S., Lin, Y.-W., and Lee, S.-L. (2009). A mobicast routing protocol in vehicular ad-hoc networks. In *GLOBECOM'09*, pages 1–6.
- Durresi, M., Durresi, A., and Barolli, L. (2005). Emergency broadcast protocol for inter-vehicle communications. *Parallel and Distributed Systems, International Conference on*, 2:402–406.
- Joshi, H. P., Sichertiu, M. L., and Kihl, M. (2007). Distributed robust geocast multicast routing for inter-vehicle communication. In *First Workshop on WiMAX, Wireless and Mobility*.
- Kim, T.-H., Hong, W.-K., Kim, H.-C., and Lee, Y.-D. (2007). An effective data dissemination in vehicular ad-hoc network. volume 5200 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 295–304, Berlin/Heidelberg. Springer.
- 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.
- Li, F. and Wang, Y. (2007). Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2(2):12–22.
- Luo, J. and Hubaux, J.-P. (2006). A survey of research in inter-vehicle communications. *Embedded Security in Cars*, pages 111–122.
- OMNET++. Omnet++ network simulation framework.
- SUMO. Sumo - simulation of urban mobility.
- Sun, M.-T., Feng, W.-C., Lai, T.-H., Yamada, K., Okada, H., and Fujimura, K. (2000). Gps-based message broadcast for adaptive inter-vehicle communications. In *Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE VTS-Fall VTC 2000. 52nd*, volume 6, pages 2685–2692 vol.6.
- Tonguz, O. K., Wisitpongphan, N., and Bai, F. (2010). Dv-cast: a distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. *Wireless Commun.*, 17:47–56.
- Toor, Y., Mühlethaler, P., Laouiti, A., and de La Fortelle, A. (2008). Vehicle ad hoc networks: Applications and related technical issues. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 10(1-4):74–88.
- Wang, Y. and Li, F. (2009). Vehicular ad hoc networks. In *Guide to Wireless Ad Hoc Networks*, Computer Communications and Networks, pages 503–525.