

Um Protocolo de Disseminação de Dados Geo-Orientado em Redes Veiculares

Luiz Henrique C. Silva¹, Raquel A. F. Mini¹, Felipe D. Cunha¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas)

lhcsilva@sga.pucminas.br, raquelmini@pucminas.br, felipe@pucminas.br

Abstract. *Vehicular networks are a promising type of mobile networks that allow communication among vehicles, roadside structures, and the Internet. Many of the applications in VANETs requires the network capacity of catch up many vehicles; a task called data dissemination. In this way, this work shows the development of a proposal solution to data dissemination in vehicular ad hoc networks with a local approach, multi-hop and geo-oriented. Several methods found in the literature depart from the choice of the best retransmitter vehicles as a strategy for a better performance in the data dissemination. Most of the time, these strategies are based on communication between vehicles for the election of the relay vehicles. This decision causes an overhead that can be avoided. In this work we propose an approach that is also concerned with finding the best retransmitters, however, establishing parameters for purely local decision making. Taking into account the simulations with low-density ranging to high densities the approach presents a good delivery rate, keeping the transmission rate low, ensuring an excellent performance to the network.*

Resumo. *Redes veiculares são um tipo promissor de rede móvel que permite comunicação entre veículos, estruturas físicas nas estradas e a Internet. Várias aplicações em redes veiculares exigem a capacidade da rede de alcançar muitos veículos o que é objetivo da atividade de disseminação de dados. Dessa forma, este trabalho mostra o desenvolvimento de uma proposta de solução para disseminação de dados em redes veiculares com uma abordagem puramente local, multi-hop e geo-orientada. Diversas abordagens encontradas na literatura partem da escolha dos melhores veículos retransmissores como estratégia para um melhor desempenho na disseminação de dados. Na maioria das vezes, essas estratégias se baseiam na comunicação entre os veículos para a eleição dos veículos retransmissores. Essa decisão provoca um overhead que pode ser evitado. Neste trabalho propomos uma abordagem que também preocupa-se em encontrar os melhores veículos retransmissores, entretanto, estabelecendo parâmetros para uma tomada de decisão puramente local. Partindo de simulações com baixa densidade de veículos e evoluindo a cenários densos, percebeu-se que a abordagem consegue uma boa taxa de entrega mantendo baixo o número de transmissões feitas, dessa forma melhorando o desempenho da rede.*

1. Introdução

Redes veiculares (*Vehicular Ad Hoc Networks* - VANETs) são um tipo de redes formadas por veículos automotores com capacidade de comunicação, processamento e sensoriamento.

Nessas redes, os nós podem ser carros, ônibus, motos e outros veículos com interface de comunicação sem fio. Esses nós podem obter dados através da comunicação com outros veículos (*Vehicle-to-Vehicle, V2V*), com infraestruturas (*Vehicle-to-Infrastructure, V2I*) ou ainda através da Internet. Redes veiculares têm sido objeto de vários estudos, devido ao seu grande potencial em oferecer melhorias nos serviços de transporte, tráfego seguro, entretenimento, além da contribuição para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Algumas aplicações em redes veiculares exigem baixa latência na comunicação e que a mensagem alcance um número esperado de veículos. Por exemplo, a notificação rápida de um acidente em uma rodovia permitiria que os motoristas próximos se deslocassem com cautela. Os mais distantes seriam capazes de mudar sua trajetória a fim de evitar congestionamento, e os serviços de urgência poderiam ser alertados a iniciarem os trabalhos de deslocamento antes que uma ligação telefônica os acionasse. Em outro contexto, algumas aplicações podem ter como objetivo atingir apenas alguns nós da rede, nós esses que estão numa região de interesse (*Region of Interest, ROI*). Por exemplo, pode interessar a um comerciante que os motoristas num raio de alguns quilômetros saibam da ocorrência de evento promocional nos próximos minutos, mas não é seu objetivo que essa mensagem alcance o outro lado da cidade. Essa tarefa é conhecida como disseminação de dados e consiste no envio de mensagens a partir de uma fonte para todos os veículos localizados dentro de uma região geográfica [Cunha et al. 2014a]. A disseminação de dados tem como objetivo alcançar muitos nós da rede numa *ROI*, com uma baixa latência na transmissão.

Uma importante característica das redes veiculares é a apresentação de topologia dinâmica. Devido à mobilidade dos nós, conhecer suas posições e distâncias entre eles não é uma tarefa simples, o que torna a disseminação de dados um desafio. Além disso, dois importantes problemas desafiam os pesquisadores em *VANETs*. Primeiro, o conhecido como *broadcast storm problem*, consiste num elevado número de colisões de pacotes em razão de muitos nós próximos efetuando transmissões ao mesmo tempo, ocasionando um alto tráfego de dados, congestionamento da rede e eventual interrupção de serviço na camada de controle de acesso ao meio [Williams and Camp 2002]. O segundo, conhecido como *intermittently connected network problem*, consiste na existência de partições na rede que impedem que alguns nós recebam os pacotes, basicamente por não terem vizinhos próximos o suficiente para encaminhar a informação [Spyropoulos et al. 2008]. Este cenário é muito comum em cidades onde o número de veículos é muito pequeno ou mesmo em dias e horários de pouco tráfego, seja em um período de férias ou mesmo durante a madrugada.

Uma solução genérica que é capaz de contornar esses problemas mencionados e que garante bom desempenho da disseminação de dados em todos os cenários provavelmente se tornará uma referência, garantindo a entrega das mensagens e promovendo um avanço factível nos estudos em redes veiculares, afinal, diversas das aplicações dependem da atividade de disseminação. Diante da busca por este protocolo ideal, as estratégias utilizadas para alcançá-lo variam bastante. Algumas abordagens escolheram o tempo de espera para retransmissão como a variável fundamental para inibir o *broadcast storm problem*. Dado o envio de uma mensagem por um nó fonte f com um raio de alcance r , para que não haja colisões nas retransmissões efetuadas pelos nós alcançados em r , os tempos entre retransmissões são diferentes, definidos a partir de alguma lógica bem elaborada. Nesta estratégia o importante é a lógica utilizada para determinar o tempo que cada nó

espera. Mas é importante observar que algumas aplicações são extremamente sensíveis ao tempo, e a utilização dessa abordagem não é indicada por depender da espera. Uma outra estratégia para a retransmissão da mensagem enviada por f é baseada em probabilidade. Nessas soluções, os estudiosos buscam através de análises estatísticas e de redes sociais escolher os nós retransmissores ideais, de maneira que apenas alguns nós, os melhores ou mais recomendados, recebam a tarefa de retransmitir a mensagem.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar, em duas versões, um novo protocolo de disseminação de dados cujos algoritmos implementados tratam informações espaciais criando um mecanismo que mistura as duas abordagens anteriores sem qualquer *overhead* na comunicação. A primeira versão, baseada em tempo de retransmissão, apresentará uma estratégia para o cálculo dos tempos de cada nó eleito retransmissor, de forma a atender as demandas de aplicações não sensíveis ao tempo. De maneira semelhante, a versão probabilística apresentará uma estratégia para determinar qual a probabilidade de retransmissão obtida por um determinado veículo de acordo com sua localização, velocidade e direção. As duas versões possuem duas etapas. Primeiro, estabelecer localmente critérios para eleição de nós retransmissores de forma que alguns nós sejam descartados dessa tarefa, em seguida, para cada uma das versões, decidir o tempo ou probabilidade para a retransmissão da mensagem. Nesta proposta os veículos são capazes de tomar todas as decisões localmente, dessa forma não ocorre nenhum *overhead* na comunicação, como acontece em soluções que exigem o conhecimento da localização ou demais informações dos vizinhos.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta uma visão geral dos trabalhos relacionados encontrados na literatura. A Seção 3 apresenta a solução proposta descrevendo detalhes técnicos. A Seção 4 apresenta o ambiente de simulação, a metodologia de testes e os resultados obtidos com a simulação. Finalizando, a Seção 5 apresenta a conclusão do trabalho e direções futuras.

2. Trabalhos Relacionados

A forma mais simples conhecida para disseminação de dados em redes veiculares é através do mecanismo de *flooding*, como mostrado por [Tseng et al. 2002]. Neste mecanismo, uma fonte S inicia a transmissão de uma mensagem m a todos os veículos no seu raio de alcance. Cada veículo alcançado por S efetua a retransmissão de m também a todos que estão em seu raio de alcance. Estas retransmissões ocorrem sucessivamente até que a rede seja inundada com os pacotes. Esta abordagem é bem simples mas sofre do conhecido *broadcast storm problem*. A literatura apresenta uma vasta gama de soluções para a disseminação de dados que utilizam mecanismos diferentes de *flooding* e diversos que implementam melhorias neste mecanismo. Num estudo bem amplo a respeito dos problemas causados pelo excesso de retransmissões, em [Tseng et al. 2002] os autores apresentaram diferentes esquemas que, devido às diversas possibilidades de variações, são considerados como famílias de soluções para disseminação de dados em MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*), um campo que engloba as VANETs. Além disso esse trabalho apresenta uma taxonomia para classificação destas soluções, que serão apresentadas a seguir.

2.1. Probabilistic Scheme

Esta classe de soluções explora a probabilidade como uma forma intuitiva de reduzir o número de retransmissões. Define-se que os veículos tenham uma probabilidade P de efetu-

arem retransmissões, dessa forma veículos mais interessantes para retransmissões recebem P mais próximo de 1. Nota-se que quando $P = 1$ para todos os veículos, o mecanismo se comporta como o algoritmo de *flooding*. Exemplos de protocolos desta família podem ser vistos em [Drabkin et al. 2007, Bakhouya et al. 2011]. Em [Bakhouya et al. 2011] os autores contam a quantidade de vezes que os veículos recebem uma mensagem para determinarem a probabilidade P de retransmitirem.

2.2. Counter-Based Scheme

Este mecanismo de transmissão explora o conhecimento que os veículos têm das retransmissões feitas por seus vizinhos. Enquanto um veículo aguarda para retransmitir uma mensagem, ele pode receber a mesma mensagem repetidas vezes de seus vizinhos. Através da definição de um limiar k ideal, se o veículo recebe a mensagem que quer retransmitir k vezes antes de retransmitir, cancela sua retransmissão. Isso ocorre devido à percepção de que sua retransmissão não trará benefício algum para a rede. O protocolo AID visto em [Bakhouya et al. 2011] possui um mecanismo híbrido que utiliza a contagem das mensagens recebidas para o cálculo da probabilidade de retransmitir.

2.3. Distance-Based Scheme

Neste esquema, os veículos usam a distância relativa entre eles para a tomada de decisão sobre a retransmissão. Dado que uma fonte S efetua a transmissão de uma mensagem e um veículo V recebe esta mensagem, V verifica sua distância de S . Enquanto mais próximo de S , menor a cobertura adicional de V , o que leva a crer que uma retransmissão não alcançará muitos novos veículos. Em contrapartida, veículos distantes terão uma cobertura adicional superior, o que é uma característica interessante para um bom retransmissor. Em [Villas et al. 2014], os autores consideram a distância da fonte S combinada a uma zona de preferência para definir um tempo de espera para a retransmissão da mensagem.

2.4. Location-Based Scheme

Esta abordagem é baseada na localização conhecida dos veículos. Por exemplo, dado que um veículo V recebeu a mesma mensagem de k diferentes fontes e o mesmo conhece suas k localizações, V é capaz de calcular a cobertura destas fontes e verificar quão interessante é sua retransmissão, utilizando este fator como referência para a tomada de decisão. Em [Maia et al. 2013], os autores implementaram uma solução híbrida em que os veículos trocam pacotes denominados *beacons*, contendo suas localizações, para o conhecimento dos vizinhos a um salto de distância. A partir do conhecimento dos vizinhos, os veículos são capazes de se adaptarem às condições do tráfego local para garantir uma alta taxa de entrega de pacotes em uma RoI.

2.5. Cluster-Based Scheme

Para esta estratégia alguns pressupostos são definidos. Primeiro, veículos possuem identificadores. Segundo, veículos trocam *beacons* periodicamente com seus identificadores e suas localizações. Através dessas informações, os veículos conseguem saber quais outros veículos estão na vizinhança. Esta vizinhança pode ser chamada *cluster*. Uma possibilidade de aplicação do esquema pode ser a seguinte: para cada *cluster*, o veículo com menor identificador elege-se o líder deste *cluster*. Um veículo com capacidade para comunicação com outro *cluster* será chamado de veículo-ponte. Portanto, num *cluster*

existem três papéis possíveis: o líder, os veículos-ponte e os demais. Quando uma mensagem é transmitida, se um veículo é um líder ou um veículo-ponte, ele pode efetuar retransmissões baseando-se em qualquer esquema anteriormente definido, *probabilistic-based*, *counter-based*, *distance-based* e *location-based*. Várias soluções utilizam *beacons* para conhecimento dos vizinhos a um salto de distância, além de outras características particulares dos vizinhos de acordo com cada diferente estratégia [Drabkin et al. 2007, Viriyasitavat et al. 2010, Tonguz et al. 2010, Schwartz et al. 2011].

2.6. Delay-Based Scheme

No mecanismo de *flooding* o excesso de retransmissões ao mesmo tempo é o núcleo dos problemas. Uma possibilidade através do *Delay-Based Scheme* é a definição de tempos de espera aleatórios para as retransmissões. Desta forma, ao receber uma mensagem o veículo deverá aguardar um tempo aleatório antes de retransmiti-la. Esta é uma possível variação do mecanismo de *flooding* que consegue reduzir a dimensão do problema, mas não o resolve. Várias soluções [Drabkin et al. 2007, Villas et al. 2014, Ros et al. 2012, Mirani et al. 2013] encontradas na literatura utilizam este esquema de forma híbrida para melhorar o desempenho no que tange ao *broadcast storm problem*.

2.7. Social Metrics Based Scheme

Além dessas diferentes abordagens, novas propostas utilizam métricas de análise de redes sociais para composição de novos protocolos. Em [Cunha et al. 2014b, Fiore and Härrri 2008], os autores mostraram a importância de considerar métricas de características sociais para a melhoria do desempenho de protocolos em redes veiculares. O conhecimento de métricas como grau dos nós, coeficiente de agrupamento, persistência de aresta dentre outras, permitem que os diversos esquemas aqui apresentados sejam combinados com maior inteligência na tomada de decisão para retransmissão da mensagem.

2.8. Space-Based Scheme

A solução apresentada aqui é também uma estratégia híbrida que possui em sua composição um esquema pouco comum chamado *Space-Based Scheme*. Em [Singh and Gupta 2011], os autores apresentaram um protocolo com abordagem semelhante à deste estudo. Consideraram que os veículos possuem raio R de alcance da comunicação iguais, o cenário é dividido em zonas distintas de tamanho R , e em cada zona um veículo era eleito responsável pela retransmissão das mensagens.

Diversos protocolos de Disseminação de Dados implementam algoritmos híbridos na sua composição e resultados interessantes estão sendo alcançados. [Bakhouya et al. 2011], [Tonguz et al. 2010], [Viriyasitavat et al. 2010], [Villas et al. 2014] são exemplos de soluções mais recentes que conseguem em seus respectivos contextos atingirem resultados satisfatórios na resolução de problemas da disseminação de dados. Embora apresentem resultados satisfatórios, estes e diversos outros que estão sendo propostos utilizam de mecanismos de comunicação entre os veículos para a obtenção de informações prévias para a seguir disseminarem a mensagem. Observa-se que antes da troca da mensagem recebida pelo veículo, mensagem a disseminar, ocorre uma troca de mensagens entre os vizinhos para dar suporte à disseminação, provocando um *overhad* necessário. A proposta deste trabalho é zero *overhead*, ou seja, os veículos apenas trocarão mensagens a serem disseminadas. Combinando o *Delay-Based Scheme* e

Probabilistic Scheme, os veículos recebem um tempo de espera ou uma probabilidade p para a retransmissão da mensagem numa zona, e todos concorrem a retransmissores, de acordo com sua localização, velocidade e direção em que se desloca. Diferente de todos mecanismos híbridos que exigem conhecimento da posição dos vizinhos para a decisão de retransmissão, o protocolo apresentado não provoca nenhum *overhead* na comunicação.

3. Disseminação de Dados Geo-Orientada

Neste trabalho, a solução para a disseminação de dados considera, como inspiração para a proposta de um protocolo, uma abordagem para disposição de antenas telefônicas. Em seu livro sobre telefonia celular digital, [ALENCAR 2004] lista alguns fatores que definem a extensão da área de cobertura de uma estação radiobase (ERB), dentre eles a altura e localização da antena. Consideremos como introdução à nossa proposta apenas a localização da antena. Dado um mapa e uma antena com raio de alcance máximo r , qual o maior número de antenas possível a serem dispostas no mapa sem que haja interseção na cobertura das antenas? A Figura 1 exemplifica um cenário no qual o maior número de antenas possível é quatro.

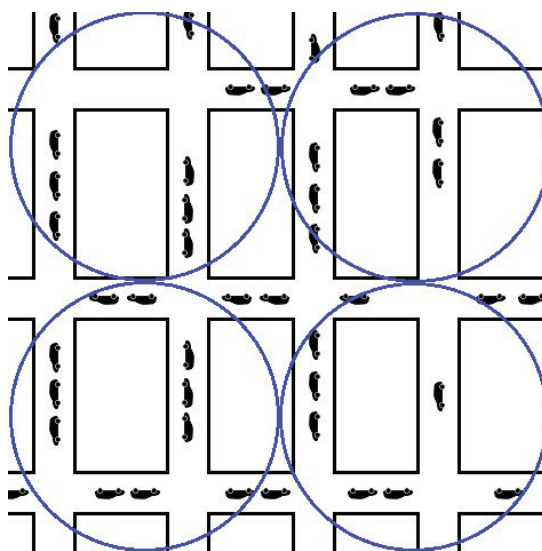


Figura 1. Disposição do maior número de antenas de raio r possível sem interseção na cobertura.

É fácil perceber que a cobertura total do mapa exigiria mais de quatro antenas e que necessariamente existiriam áreas com cobertura de mais de uma antena. Na Figura 1, o mapa tem um percentual de cobertura pelas antenas superior a 70% de seu total e essas antenas estão dispostas estaticamente de maneira otimizada, alcançando o máximo que podem do mapa. Observe que o objetivo deste trabalho não é prover cobertura, mas sim uma estratégia eficiente para disseminação de dados. Para posteriores referências, definiu-se que a localização de cada antena será chamada *HotPoint*, e um raio inferior ao seu alcance máximo, chamado de *HotZone*. Ao observar o problema de *broadcast storm*, verifica-se que ocorre devido ao excesso de retransmissores e conseqüentemente o excesso de mensagens transmitidas. Encontrar o menor número de antenas capazes de cobrir um mapa nos permite verificar qual o menor número de retransmissões necessárias para que as mensagens alcancem os extremos deste mapa, conseqüentemente um número mínimo de

antenas capazes de efetuar essas retransmissões. De maneira análoga, buscamos atribuir a tarefa de retransmissão para um número mínimo de veículos, otimizando o número de retransmissões.

A observação de um número otimizado de antenas capazes de cobrirem um espaço muito grande do mapa permite que as posições dessas antenas sejam consideradas locais interessantes, ou pontos de referência, para se efetuar retransmissões de mensagens a fim de alcançar toda a região de interesse. É fato que não podemos considerar veículos estaticamente posicionados. Entretanto, pode-se acreditar que os veículos mais próximos de cada *HotPoint*, ainda que se movendo em direções e velocidades diversas, são veículos que, sozinhos, cobririam uma parte da região de interesse superior aos demais veículos. A Figura 2 exibe um mapa com o alcance da interface de comunicação de veículos se estivessem localizados exatamente nos *HotPoints*.

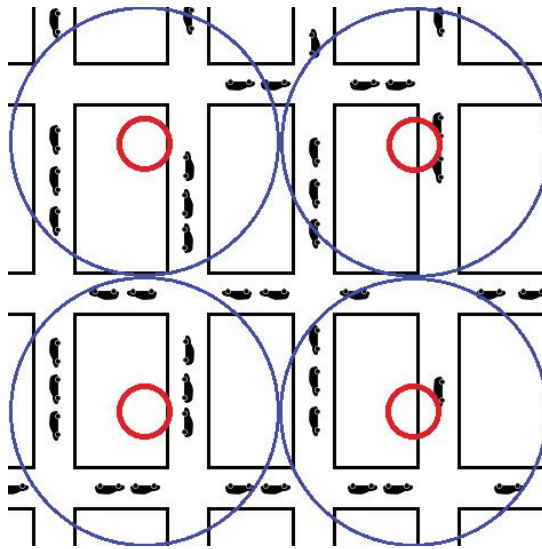


Figura 2. Os *HotPoints* localizam-se nos centros dos círculos vermelhos. O círculo vermelho destaca a região dos veículos mais próximos do *HotPoint*, os círculos azuis representam o raio de alcance máximo dos dispositivos de comunicação posicionado no *HotPoint*.

Partindo dos pressupostos apresentados, definiu-se uma estratégia híbrida para a seleção dos veículos retransmissores, que seleciona dentre um grupo de veículos, o mais indicado para retransmissão ou define um tempo de espera baseado em prioridades, onde os veículos mais próximos dos *HotPoints* efetuam a retransmissão primeiro.

Para a solução apresentada foram consideradas três variáveis: a distância, a direção e a velocidade. Uma vez que os nós conhecem as coordenadas dos *HotPoints*, sabem também a distância que estão deles além de qual é o *HotPoint* mais próximo. A partir desta distância, os nós conseguem saber onde se encontram no que tange às três regiões importantes do mapa. A Figura 3 mostra as diferentes regiões e os nomes que as identificam. A variável direção pode assumir diversos valores, mas para o algoritmo em questão interessa saber se o veículo está se aproximando do *HotPoint* mais próximo ou não, o que pode ser verificado com a posição do veículo e um instante de tempo posterior, considerando que o comportamento do veículo é mantido. A variável velocidade complementa a informação dada pela variável direção, já que nos diz com que velocidade o veículo se aproxima ou

se distância do *HotPoint* mais próximo. A variável velocidade pode assumir os valores velocidade zero (para veículos que estão estacionados), velocidade baixa, velocidade alta e velocidade extremamente alta. Os limites superiores e inferiores para velocidades baixas, altas e extremamente altas podem ser ajustados conforme o objetivo da simulação e o cenário.

Considerando essas variáveis básicas e a necessidade de verificação de distância entre o veículo e o *HotPoint* mais próximo, propomos um Coeficiente de Proximidade. O Coeficiente de Proximidade é definido como um valor inteiro que pode assumir valores entre 0 e 7 e considera as regiões em que o veículo pode se encontrar num instante de tempo além dos valores que as variáveis distância, direção e velocidade podem assumir, conforme a Tabela 1. Os valores de distância, posição e velocidade da tabela foram definidos de maneira intuitiva, baseados no comportamento esperado dos veículos, valores ajustáveis conforme objetivo da simulação e o cenário. A partir dos valores escolhidos podemos destacar alguns comportamentos: (1) os veículos que se encontram na região dos não indicados pouco sofrem alterações quando observadas a direção e a velocidade. Apenas os veículos que estão em alta velocidade voltados para os respectivos *HotPoints* mais próximos, passam a ser considerados de alguma forma próximos; (2) os veículos localizados na região dos indicados podem assumir diversos valores para o Coeficiente de Proximidade devido à grande quantidade de comportamentos possíveis; (3) os veículos da região dos mais indicados, por pior que se comportem nos quesitos direção e velocidade, concorrem fortemente a retransmissores, já que se encontram muito próximos do *HotPoint* mais próximo.

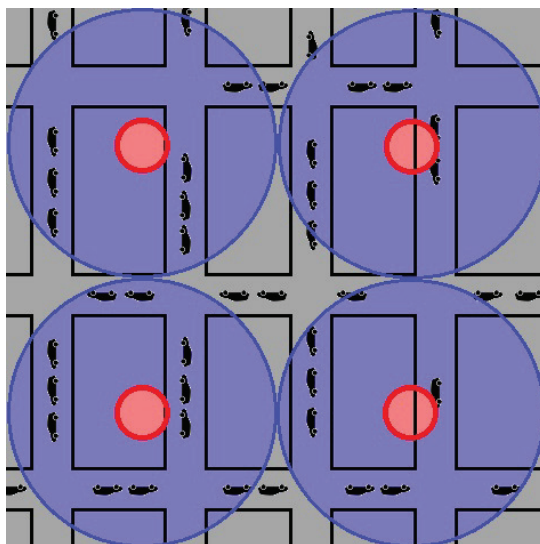


Figura 3. As regiões externas(cinzas) às áreas de cobertura são as regiões dos não-indicados, as regiões internas(azuis) às áreas de cobertura mas externas aos *HotPoints* são as regiões dos indicados. As regiões internas aos *HotPoints*(vermelhas) são as regiões dos altamente indicados.

Nesta proposta, os *HotPoints* são arbitrariamente posicionados. Em cenários onde existe um conhecimento prévio de padrões de comportamento dos condutores, horários de pico e outras informações relevantes ao trânsito local, é possível melhor definir suas localizações. Independente da estratégia utilizada na definição dos *HotPoints*, eles são estáticos e conhecidos por todos os veículos. Determinada a proximidade do veículo para

o *HotPoint* mais próximo através do Coeficiente de Proximidade, podemos utilizá-lo das seguintes formas: (1) no cálculo do tempo de retransmissão de uma mensagem, ou (2) no cálculo de uma probabilidade de se efetuar a retransmissão. Para o cálculo do tempo de retransmissão, definiu-se o seguinte modelo matemático:

$$T = \frac{TTL}{CP} + \frac{d}{r}$$

Neste modelo, *CP* refere-se ao Coeficiente de Proximidade. *TTL* refere-se ao tempo de vida da mensagem. *d* e *r* são a distância do veículo para o *HotPoint* mais próximo e o raio de alcance da comunicação, respectivamente. Os veículos que obtiverem Coeficiente de Proximidade igual a 0 não concorrem para retransmissores, nessa etapa do protocolo são selecionados os veículos que poderão retransmitir e que tempo os eleitos aguardam para efetuar a retransmissão.

É fácil perceber que o fato do Coeficiente de Proximidade assumir apenas alguns poucos valores inteiros implica numa alta taxa de veículos que assumem o mesmo valor de *CP* para uma determinada região geográfica. Se apenas o *CP* fosse utilizado para gerar os tempos de espera para retransmissões, provavelmente vários veículos teriam tempos iguais, o que provocaria colisões durante as retransmissões, conseqüentemente degradando o desempenho da rede. Para tratar este problema utilizou-se um valor de desempate que é obtido através da divisão da distância do veículo ao *HotPoint* mais próximo pelo raio de alcance da comunicação. Ou seja, enquanto mais próximo do *HotPoint*, menor será o valor recebido pelo veículo, garantindo sua prioridade na retransmissão e removendo a sincronização entre os retransmissores.

De uma maneira mais simples, o Coeficiente de Proximidade pode ser utilizado de forma direta para o cálculo de uma probabilidade *P* de o veículo efetuar a retransmissão da mensagem recebida. Ao receber uma mensagem, analisar a região do mapa em que está localizado, sua posição e velocidade, o veículo calcula seu Coeficiente de Proximidade e utiliza o mecanismo de regra de três para determinar a probabilidade *P* de efetuar a retransmissão, sendo *CP* = 0 equivalente a 0% de chance e *CP* = 7 equivalente a 100% de chance de efetuar a retransmissão. De maneira semelhante à forma baseada em tempo, espera-se um tempo aleatório curto, para remover a sincronização de retransmissões.

4. Avaliação de Desempenho

Devido as restrições de implementação física de um cenário real para testes, utilizou-se de softwares simuladores para avaliar o desempenho da solução proposta. As seções a seguir apresentarão as ferramentas utilizadas para simulação além de alguns aspectos técnicos sobre a comunicação dos veículos, o cenário implementado e a metodologia. Ao final, os resultados das simulações são apresentados e discutidos.

4.1. Ferramentas Utilizadas

O ambiente de simulação é composto pelos seguintes componentes:

- OMNET++ [Varga 2003]: um simulador de redes que disponibiliza diversos tipos de modelos e recursos para simulações de redes em geral.
- SUMO [Behrisch et al. 2011]: uma ferramenta que implementa comportamento realístico de mobilidade urbana.

| Região | CP Inicial | Posição | Velocidade |
|---------------------|------------|------------------------------------|----------------|
| Não Indicados | 0 | Aproximando-se da <i>HotZone</i> | Parado: +0 |
| | | | Baixa: +0 |
| | | | Alta: +2 |
| | | | Muito Alta: +2 |
| | | Distanciando-se da <i>HotZone</i> | Parado: +0 |
| | | | Baixa: +0 |
| | | | Alta: +0 |
| | | | Muito Alta: +0 |
| Indicados | 3 | Aproximando-se da <i>HotZone</i> | Parado: +0 |
| | | | Baixa: +1 |
| | | | Alta: +2 |
| | | | Muito Alta: +2 |
| | | Distanciando-se da <i>HotZone</i> | Parado: +0 |
| | | | Baixa: -1 |
| | | | Alta: -2 |
| | | | Muito Alta: -3 |
| Altamente Indicados | 5 | Aproximando-se do <i>HotPoint</i> | Parado: +2 |
| | | | Baixa: +2 |
| | | | Alta: +1 |
| | | | Muito Alta: +0 |
| | | Distanciando-se do <i>HotPoint</i> | Parado: +2 |
| | | | Baixa: +1 |
| | | | Alta: +0 |
| | | | Muito Alta: -1 |

Tabela 1. Dispõe os valores do Coeficiente de Proximidade pré-determinados pela região em que os veículos se encontram e define valores de incrementos dadas as condições do veículos num instante de tempo.

- VEINS [Sommer et al. 2011]: um *framework* para simulações em redes veiculares que utiliza OMNET++ e SUMO como base de desenvolvimento.

4.2. Parâmetros de Simulação

A comunicação entre os nós envolvidos na simulação ocorre através do protocolo IEEE 802.11p. Em 2004, o IEEE iniciou a padronização das comunicações em redes veiculares dentro do grupo de trabalho IEEE 802.11. O padrão foi denominado de IEEE 802.11p *Wireless Access in Vehicular Environment* (WAVE). Nos Estados Unidos, o padrão IEEE 802.11p opera na faixa entre 5.850 GHz e 5.925 GHz. Nessa faixa de frequência, os veículos conseguem se comunicar a uma distância máxima de 1000 metros, com taxas de transmissão que variam de 1 a 27 Mbps, entretanto, para a avaliação do protocolo proposto foi utilizado um raio de comunicação equivalente a 250 metros. De acordo com [Alves et al. 2009], o IEEE 802.11p consegue garantir a transmissão de dados em veículos que se movem entre si com uma velocidade de até 200 km/h.

O cenário de simulação implementado é um *Grid* de Manhattan. A escolha do *grid* como cenário para avaliação do protocolo deve-se à simplicidade de implementação e ao fato de apresentar condições equivalentes a todos os veículos, representação considerada suficiente para avaliação da capacidade de disseminar dados. Para avaliação dos protocolos, definiu-se um *grid* com 10 vias duplas uniformemente espaçadas em uma área de 1 km^2 com quarteirões de 100m x 100m. Com o objetivo de quantificar a evolução do tráfego neste cenário, a densidade de veículos foi variada de 20 veículos/ km^2 a 200 veículos/ km^2 . O tráfego neste cenário foi gerado pelo simulador de mobilidade SUMO e no centro do *grid* foi posicionada uma RSU (*Road Side Unit*), responsável pela criação e envio da mensagem a ser disseminada. A RSU participa da simulação unicamente efetuando o envio de uma única mensagem de tamanho 2048 bytes. Para cada densidade de veículos foram simuladas 30 replicações e os resultados apresentam valores médios.

4.3. Métricas Avaliadas

A seguir são apresentadas as métricas que foram consideradas para avaliação do desempenho das soluções. Os principais objetivos são a avaliação do alcance do protocolo, as redundâncias nas retransmissões, além do atraso em diferentes condições de tráfego.

- Total de Mensagens Recebidas: representa o número de mensagens de dados gerados pelo veículo fonte e entregues a todos os destinatários pretendidos.
- Total de Mensagens Transmitidas: esta métrica retrata o total de mensagens transmitidas durante toda a disseminação. É uma métrica importante para capturar o número de transmissões redundantes, causadas pelo problema de *broadcast storm*.
- Atraso: esta métrica representa a média do tempo que uma mensagem de dados leva para ser transmitida da origem ao destino.

Com o objetivo de comparar o desempenho das duas versões do protocolo proposto, foram implementados outros três protocolos que implementam algoritmos já conhecidos pela comunidade acadêmica. Embora não sejam os algoritmos que apresentam os melhores resultados, foram escolhidos devido a não apresentarem qualquer *overhead* na comunicação. Alguns detalhes de suas implementações são os seguintes:

- *flooding*: o protocolo implementa o algoritmo de *flooding*. Neste protocolo todos os veículos que recebem a mensagem retransmitem imediatamente uma vez.
- *counter*: como descrito na seção 2.2, os veículos que recebem a mensagem estão aptos a reenviar as mensagens caso as tenham recebido um número de vezes inferior a k . Para a presente implementação, definiu-se $k = 3$.
- *distance*: conforme descrito na seção 2.3, o algoritmo deste protocolo calcula um tempo proporcional à distância da fonte da mensagem e escalona uma retransmissão para este tempo calculado. Enquanto maior for a distância, menor será o tempo.

4.4. Resultados

Devido à diferença de comportamento observado pelo protocolo que implementa o algoritmo de *flooding*, todos os resultados apresentados a seguir comparam os protocolos de duas formas: com e sem o desempenho do protocolo que implementa o algoritmo de *flooding*. Assim, pode-se observar os desempenhos em condições semelhantes.

A Figura 4 apresenta o número total de pacotes recebidos para os diferentes protocolos. Quando não se observa o protocolo com *flooding* as duas versões do protocolo proposto se comportam de maneira semelhante aos demais. Considerando o protocolo com o *flooding*, observa-se que sua capacidade de entrega neste cenário simplificado é muito superior. De fato, o *flooding* apresenta a capacidade de entrega de mensagens ideal para os algoritmos de disseminação de dados, mas essa superioridade tem um custo muito alto. O desempenho da rede cai drasticamente para alcançar o patamar apresentado.

Através da Figura 5 pode-se verificar o total de mensagens transmitidas na rede e o custo da superioridade do *flooding*. Observa-se que em ambos pontos de vista, as duas versões do protocolo proposto apresentam resultados satisfatórios, efetuando um número de envios inferior que os demais protocolos. Estes resultados demonstram o quanto o protocolo proposto consegue impedir o número de transmissões redundantes. O desempenho do protocolo proposto supera e mantém superior ao dos demais em todas as densidades. Entre as duas versões, a versão probabilística apresenta resultados ainda

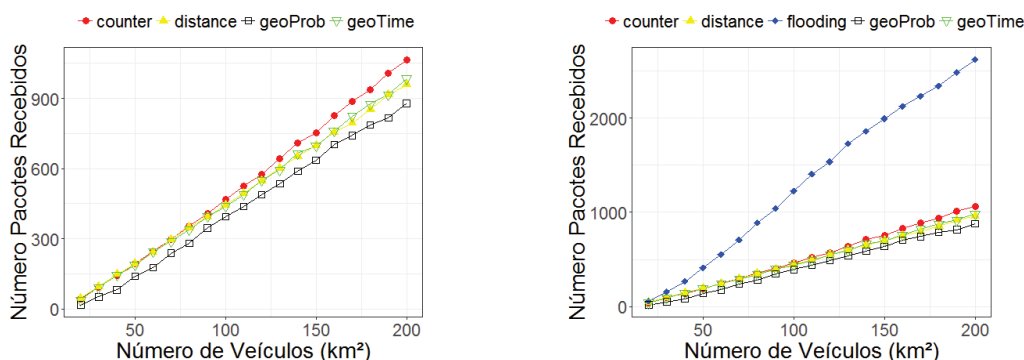


Figura 4. Comparação da taxa de entrega para os diferentes protocolos.

melhores. Quando observados em contraste com a abordagem de *flooding*, percebe-se o motivo deste ter apresentado uma capacidade de entrega superior. O número de mensagens transmitidas cresce conforme a densidade de veículos aumenta, o que provoca um tráfego muito elevado, além de degradar o desempenho da rede.

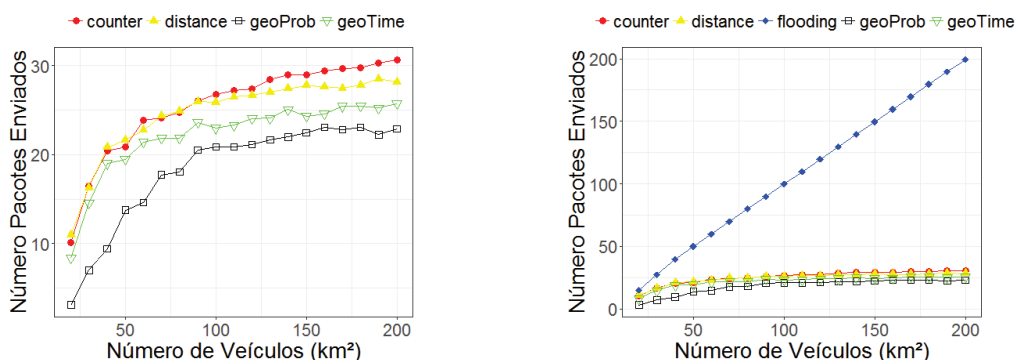


Figura 5. Comparação do total de mensagens transmitidas para os diferentes protocolos.

Por último, a Figura 6 apresenta o desempenho dos protocolos quanto ao atraso. Observando os protocolos baseados em tempo de retransmissão, verifica-se que o protocolo proposto apresenta um tempo de espera inferior ao *distance-based* em cenários com até 50 veículos/ km^2 . Como esperado, os dois protocolos baseados em tempo de retransmissão apresentam um atraso médio na transmissão da origem até o destino superior aos demais protocolos. Com o crescer das densidades, ambos apresentaram redução considerável no atraso, o que ocorre devido ao fato de que ao aumentar o número de veículos mantendo-se a área equivalente a $1km^2$ a distância entre eles diminui, consequentemente o tempo para que as mensagens cheguem ao destino também.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Através da comparação dos desempenhos dos protocolos de disseminação de dados com a proposta de zero *overhead*, verificou-se que o protocolo proposto tem desempenho satisfatório especialmente em dois aspectos. Com um número de mensagens recebidas satisfatório, transmite um número menor de mensagens que os demais protocolos, melhorando a utilização dos recursos de rede. Além disso, ao verificar os protocolos baseados

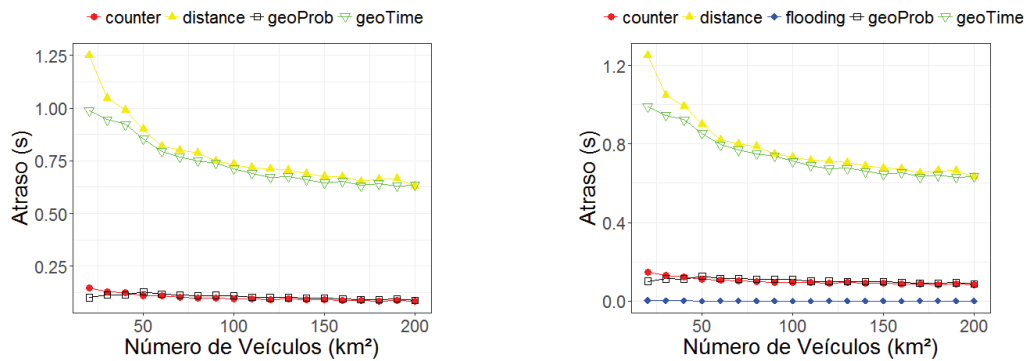


Figura 6. Comparação do atraso na disseminação para os diferentes protocolos.

em tempos de retransmissão em cenários esparsos, percebeu-se que o protocolo proposto supera o *distance-based*. Essa abordagem Geo-Orientada permitiu ganhos relevantes na atividade de disseminação de dados garantindo, sobretudo, a ausência de *overhead*.

Para trabalhos futuros, espera-se trabalhar a forma como o Coeficiente de Proximidade é calculado a fim de torná-lo um valor não inteiro, passando a descartar um cálculo extra para desempate de tempo de espera para retransmissão na versão baseada em tempo. Este valor não inteiro pode permitir que o valor encontrado para o coeficiente represente melhor a realidade de cada veículo no mapa. Além disso, com novas simulações também em cenários reais, espera-se demonstrar o ganho de maneira real e identificar valores ideais para a tabela do Coeficiente de Proximidade.

Referências

- ALENCAR, M. S. d. (2004). *Telefonia celular digital*. São Paulo: Érica.
- Alves, R. d. S., Campbell, I. d. V., Couto, R. d. S., Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M., Duarte, O. C. M., and Abdalla, M. (2009). *Redes veiculares: Principios, aplicações e desafios*. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*.
- 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*, 34(6):1971–1978.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). Sumo—simulation of urban mobility. In *The Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, Barcelona, Spain.
- Cunha, F. D., Maia, G. G., Viana, A. C., Mini, R. A., Villas, L. A., and Loureiro, A. A. (2014a). Socially inspired data dissemination for vehicular ad hoc networks. In *Proceedings of the 17th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 81–85. ACM.
- Cunha, F. D., Vianna, A. C., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2014b). Is it possible to find social properties in vehicular networks? In *2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 1–6. IEEE.
- Drabkin, V., Friedman, R., Kliot, G., and Segal, M. (2007). Rapid: Reliable probabilistic dissemination in wireless ad-hoc networks. In *Reliable Distributed Systems, 2007. SRDS 2007. 26th IEEE International Symposium on*, pages 13–22. IEEE.

- Fiore, M. and Härrri, J. (2008). The networking shape of vehicular mobility. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pages 261–272. ACM.
- Maia, G., Boukerche, A., Aquino, A. L., Viana, A. C., and Loureiro, A. A. (2013). A data dissemination protocol for urban vehicular ad hoc networks with extreme traffic conditions. In *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 5997–6001. IEEE.
- Mirani, F., Busson, A., and Adjih, C. (2013). Improving delay-based data dissemination protocol in vanets with network coding. *REV Journal on Electronics and Communications*, 2(3-4).
- Ros, F. J., Ruiz, P. M., and Stojmenovic, I. (2012). Acknowledgment-based broadcast protocol for reliable and efficient data dissemination in vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(1):33–46.
- Schwartz, R. S., Barbosa, R. R., Meratnia, N., Heijenk, G., and Scholten, H. (2011). A directional data dissemination protocol for vehicular environments. *Computer Communications*, 34(17):2057–2071.
- Singh, R. P. and Gupta, A. (2011). Information dissemination in vanets using zone based forwarding. In *Wireless Days (WD), 2011 IFIP*, pages 1–3. IEEE.
- Sommer, C., German, R., and Dressler, F. (2011). Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(1):3–15.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. S. (2008). Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 16(1):77–90.
- Tonguz, O. K., Wisitpongphan, N., and Bai, F. (2010). Dv-cast: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications*, 17(2):47–57.
- Tseng, Y.-C., Ni, S.-Y., Chen, Y.-S., and Sheu, J.-P. (2002). The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. *Wireless networks*, 8(2-3):153–167.
- Varga, A. (2003). Omnet++ simulator. *Department of Telecommunications, Technical University of Budapest, Budapest, Hungary*.
- Villas, L. A., Boukerche, A., Maia, G., Pazzi, R. W., and Loureiro, A. A. (2014). Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks. *Computer Networks*, 75:381–394.
- Viriyasitavat, W., Bai, F., and Tonguz, O. K. (2010). Uv-cast: an urban vehicular broadcast protocol. In *Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE*, pages 25–32. IEEE.
- Williams, B. and Camp, T. (2002). Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, pages 194–205. ACM.