

Análise de Modelos de Entrega de Conteúdo em Redes Veiculares

Carlos Henrique de Oliveira Monteiro André¹

¹Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

choma@gta.ufrj.br

Abstract. *Research in vehicular networks are up recently because the area is very important and challenging. Applications for vehicle networks are emerging in order to make traffic safer, pleasant, informative and decongested. A major focus for these applications to work effectively, is the delivery of content to vehicles and servers. Currently there are three approaches are used in traditional networks are: Content Delivery Networks - CDN, Networks Peer-to-Peer (P2P), and Hybrid Networks. Each content delivery format is challenging and there are several models proposed and implemented in the market. In this work are presented some existing models that serve to be implemented in these networks. For each model are presented its structure and way of functioning.*

Resumo. *As pesquisas em redes veiculares estão em alta recentemente pois é uma área muito importante e desafiadora. Aplicações para redes veiculares estão surgindo com o intuito de tornar o trânsito mais seguro, agradável, informativo e descongestionado. Um dos principais focos para que essas aplicações funcionem efetivamente, é a entrega dos conteúdos aos veículos e servidores. Atualmente existem três abordagens sendo utilizadas em redes tradicionais que são: Redes de Entrega de Conteúdo (Content Delivery Networks - CDN), Redes Par-a-Par (Peer-to-Peer - P2P), e Redes Híbridas. Cada formato de entrega de conteúdo é desafiador e existem vários modelos propostos e implementados no mercado. Neste trabalho, são apresentado alguns modelos existentes que servem para serem implementados nessas redes. Para cada modelo são apresentados sua estrutura e forma de funcionamento.*

1. Introdução

Com o passar dos anos, os veículos automotores vêm incorporando diferentes tecnologias que melhoram a experiência à bordo dos passageiros e principalmente do condutor. Como alarmes, sistemas de entretenimento, sensores para detecção de obstáculos, limpadores automático de vidro, auxiliar de partida em rampa entre outros. Em geral são compostos por sensores, controladores e sistemas.

Seguindo a evolução dos veículos automotores, temos as interações entre veículos e ocupantes, o que até algum tempo atrás era apenas veículo e sistema. Com o decorrer da evolução, surgiram sistemas capazes de interagir com outros sistemas, ou seja, veículos capazes de interagir com outros veículos, formando uma rede, para essa rede foi dada o nome de redes veiculares.

As redes veiculares surgiram com a necessidade de troca de informação entre os veículos e se diferenciam de outras redes sem-fio principalmente pela natureza dos nós, que são compostos por automóveis (OBUs), caminhões, ônibus etc., e por equipamentos fixos nos acostamentos das vias (RSUs) [Alves et al. 2009].

As aplicações para esse tipo de rede têm evoluído de simples trocas de mensagens de alerta para sistemas avançados com demanda por entrega de variados conteúdos [Costa-Montenegro et al. 2012]. A tarefa de entrega de conteúdo em redes veiculares não é tão simples assim, existem vários desafios que necessitam serem abordados para que as aplicações sejam eficientes e cumpram seus objetivos.

Para o serviço de entrega de conteúdo na internet, existem duas abordagens mais importantes [Passarella 2012]: Redes de Entrega de Conteúdo (*Content Delivery Networks - CDN*) e Redes Par-a-Par (*Peer-to-Peer - P2P*). Para cada um deles, vamos mostrar como eles cobrem os blocos fundamentais de construção. Como princípio funcional, as redes CDNs utilizam a replicação do conteúdo em servidores posicionados dentro da rede, cada nó faz a comunicação direta com o servidor mais próximo de si, fornecendo alta disponibilidade de conteúdo nos servidores, já nas redes P2P, só temos a presença de nós que trocam informações entre si.

Contudo, algumas características das redes veiculares como alta mobilidade, topologia geograficamente restrita, particionamento e grande escala, mobilidade, consumo de energia e dependência dos nós, não se comportariam satisfatoriamente com esses modelos.

Neste artigo, é estudado alguns modelos de entrega de conteúdo para redes veiculares, muitos desses modelos utilizam a junção dos conceitos de CDN e P2P para as redes veiculares.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. A seção 2 apresenta a arquitetura das redes veiculares. Em seguida, a seção 3 apresenta os dois principais protocolos utilizados, já seção 4 fala de disseminação do conteúdo. Os modelos pesquisados são apresentados na seção 5. A seção 6 trás a proposta e o resultado até o instante. Finalmente, a conclusão e trabalho futuro são descritos na seção 7.

2. Arquitetura das Redes Veiculares

Existem três arquiteturas principais para redes veiculares que são: *ad hoc* puro (*Vehicular Ad hoc NETWORK - VANET*) [Seção 2.1], infraestruturada [Seção 2.2] ou híbrida [Seção 2.3] [Luo e Hubaux 2004]. Em modo *ad hoc*, os veículos comunicam-se sem qualquer suporte externo ou elemento centralizador. No caso infraestruturada, existem alguns nós fixos que são posicionados ao longo das vias pelo acostamento e são responsáveis tanto pela conectividade entre os nós quanto pela disponibilidade dos serviços e aplicações. Por fim, o modo híbrido junta o conceito dos dois para poder dar maior disponibilidade ao sistema.

Em redes veiculares, o modo *ad hoc* é chamado de *V2V - Vehicle-to-Vehicle* e o modo infraestruturada é chamado de *V2I - Vehicle-to-Infrastructure*. Temos também as nomenclaturas para os componentes, os veículos que são pontos móveis são chamados de *OBU - On-Board Unit* e os pontos fixos de troca de informação são chamados de *RSU - RoadSide Unit* conforme é apresentado na Figura 1.

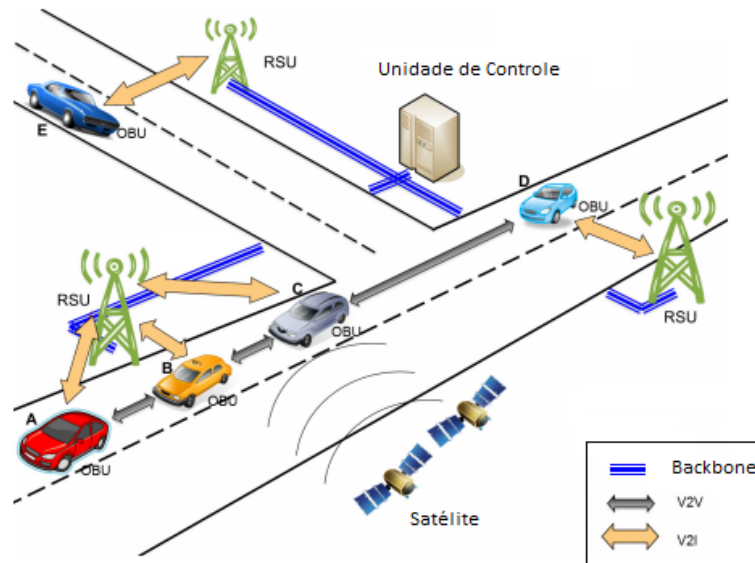


Figura 1. Estrutura de uma rede veicular combinando comunicações V2V e V2I.
Adaptado de [Sanguesa et al. 2015]

Para todas as três arquiteturas são utilizadas a comunicação IEEE 802.11, porém diferem da forma como cada arquitetura é trabalhada.

2.1. Ad hoc puro

Na arquitetura *ad hoc*, os veículos são interligados sem nenhum suporte externo, apenas comunicam-se entre eles. É a maneira mais simples de criar uma rede veicular, os veículos funcionam como armazenadores de informação e roteadores de tráfego para outros veículos, porém não é tão simples quanto parece, dependendo da densidade e mobilidade dos veículos podemos ter uma rede desconexa por isso muitas vezes é proposto modelos de disseminação de conteúdo em outras arquiteturas.

2.2. Infraestruturado

O modo infraestruturado surgiu para diminuir as desconexões em redes *ad hoc* puro, esta arquitetura consiste em posicionar ao longo das vias pontos de acesso fixo de redes IEEE 802.11 em modo infraestruturado que serviram como centralizadores de tráfegos, essa arquitetura permite a interligação de outras redes, porém tem alto custo de implantação pois normalmente necessitam de grandes números de pontos fixos para operar uma grande rede viária. Os veículos se comunicam exclusivamente com os pontos fixos da rede.

2.3. Híbrido

Na arquitetura híbrida é uma junção das duas arquiteturas onde temos os veículos e pontos fixos como elementos armazenadores de informações e encaminhadores de tráfego. Utilizar o modo híbrido diminui drasticamente os custos na infraestrutura pois os elementos fixos são inseridos em pontos onde normalmente tem menos densidade da rede.

3. Protocolos

No início, nos Estados Unidos, a FCC (Federal Communications Commission) alocou um espectro de 75MHz, na faixa de 5,9 GHz em 1999, para aplicações DSRC (Dedicated Short Range Communications). Essa faixa é restrita em termos de aplicações e tecnologias utilizadas. Na Europa foi alocado um espectro de 30 MHz na faixa de 5 GHz para aplicações veiculares ligadas a segurança e aplicações móveis [Alves et al. 2009]. Os principais protocolos são: DSR, VTIP e 802.11p conhecido como WAVE.

3.1. WAVE

O protocolo surgiu para a troca de mensagens entre veículos e pontos de rede estrategicamente posicionados nas estradas e rodovias para troca de informação [Alves et al. 2009]. As redes veiculares formam uma comunicação bastante eficiente com o intuito de distribuir controle de tráfego, entretenimento e segurança.

As redes WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*) é padronizada pelo IEEE e é descrita em duas famílias de padrões, a IEEE 802.11p para as camadas física e MAC e IEEE 1609 para as operações das camadas superiores.

4. Disseminação e Replicação de Conteúdo

Em redes veiculares, a entrega de conteúdo é um tema que recebe bastante atração dos pesquisadores nos últimos anos [Silva et al. 2014]. Existem três focos de trabalhos nessa área, a disseminação de conteúdo, replicação de conteúdo e a junção desses dois modelos (híbrida). O intuito desse trabalho é apresentar alguns modelos que usam uma das três áreas.

O modelo de replicação do conteúdo tem o principal objetivo em replicar o conteúdo é utilizar os veículos (OBUs) como nós replicadores e alocar a informação em um ponto fixo (RSUs) dentro da rede, essa abordagem às vezes é muito cara em relação a manutenção pois requer uma distribuição efetiva do RSUs ao longo da via. Muitas vezes os nós fixos são um gargalo da rede e ficam expostos, caso um nó fixo pare de funcionar, a rede perde seu alcance na região que estava operando. O principal ponto positivo desse modelo é que a rede permanece conectada mesmo com baixa densidade de veículos.

Já o modelo de disseminação de conteúdo tem como principal foco o encaminhamento de pacotes com o principal objetivo de não sobrecarregar a rede com uma transmissão Broadcast. Esse modelo utiliza como técnica a interconexão de nós infraestruturados para anúncio de informação e os veículos se inscrevem para receber a informação desejada [Meneguet et al. 2014].

Por fim, temos o modelo híbrido que tem as características dos dois modelos, utilizando o melhor da disseminação e replicação de conteúdo. Esse modelo utiliza se beneficia da replicação de conteúdos nos servidores estáticos (RSUs) e nos veículos, essa abordagem aumenta ainda mais a disponibilidade de conteúdo e torna a rede mais coberta conforme o aumento de sua densidade [Silva et al. 2016].

5. Modelos de Replicação e Disseminação de Conteúdo

As subseções a seguir descrevem o funcionamento básico dos modelos estudados, apresentando as vantagens e desvantagens de cada um dos modelos, na seção 6 será apresentado um comparativo do desempenho de cobertura de cada modelo.

5.1. VCDN - Vehicular Content Delivery Network

O modelo Rede Veicular de Entrega de Conteúdo (*VCDN - Vehicular Content Delivery Network*) [Silva et al. 2016] foi proposto para integrar, estender e adaptar os conceitos de CDN e P2P para as redes veiculares. É um modelo híbrido que por um lado, a replicação de conteúdo em servidores estáticos é herdada da CDN para aumentar a disponibilidade do conteúdo. Ele foi além e estende essa funcionalidade, possibilitando a replicação de conteúdo também em veículos, com o principal objetivo de aumentar ainda mais a disponibilidade dos conteúdos. Por outro lado, os conceitos P2P para busca e entrega distribuída de conteúdo são adotados, além do incentivo a veículos que cooperem com o sistema. O modelo é tolerante a falhas, pois eventuais falhas são compensadas por regiões. A possibilidade de ter veículos como replicadores também torna a solução escalável.

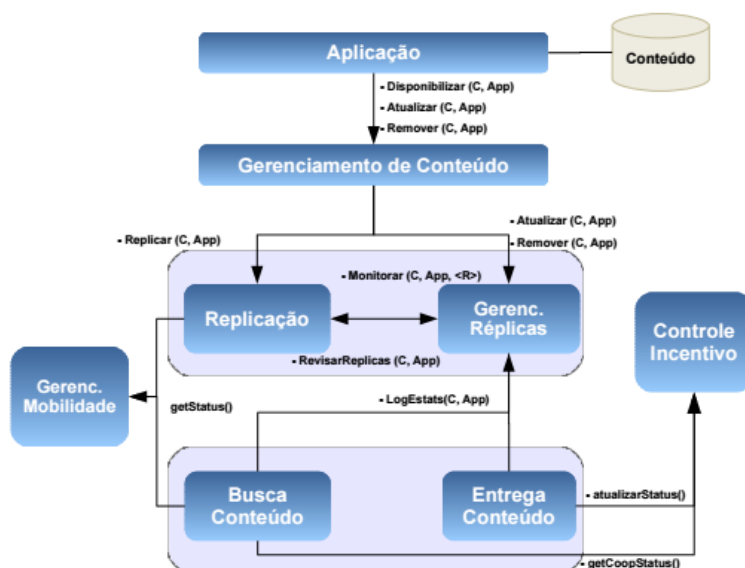


Figura 2. Componentes da estrutura VCDN. Disponibilização do conteúdo C para alguma aplicação App. Replicadores $\{R_i\}$ são escolhidos para entregar o conteúdo. [Silva et al. 2016]

O Modelo VCDN foi proposto por [Silva et al. 2016] e são flexíveis para serem implementados de acordo com as demandas de cada aplicação. A figura 2 representa todo o modelo, cada modelo pode ser executada em um nó RSU da rede.

Seu princípio básico é ter módulos individuais responsáveis por cada conjunto de interações na rede, esses módulos são:

- Gerenciamento de Mobilidade: responsável por prover a situação de mobilidade em determinada área ou veículo específico. Essa variação, para redes veiculares, representa a trajetória do veículo, o grafo de contatos atual e o esperado pela rede, densidade da rede e principalmente ponto origem e destino dos veículos.
- Gerenciador de Conteúdo: responsável por prover serviços de conteúdo para que a aplicação disponibilize, atualize e remova conteúdos por aplicações.
- Replicação de conteúdo: responsável em selecionar os veículos responsáveis para replicação do conteúdo, esses veículos têm o mesmo funcionamento de as RSUs de replicação.

- Gerenciamento de Réplica: responsável para gerenciar a cópia realizada pelo módulo de replicação, ele tem o principal objetivo em manter a consistência das réplicas e acompanhar o funcionamento dos servidores. Ele também informa estatísticas para o módulo seguinte.
- Busca e Entrega do Conteúdo: Responsável por entregar aos clientes que fizeram requisição explícita, como aplicações *pull-based* ou não como aplicações *push-based*. Para aplicações *pull-based*, devem solicitar o interesse pelo módulo de Busca.
- Controle de incentivo: é proposto um sistema de incentivos semelhantes a aplicações P2P pois para um bom funcionamento do disseminação híbrida, necessitam da participação dos veículos. Para isso é implementado o controlador de incentivos que pega estatísticas do módulo de entrega de conteúdo e busca de conteúdos. Os veículos com mais cooperação recebem incentivos como prioridade de entrega. Esse módulo tem o funcionamento de crédito e reputação, onde pessoas mais cooperadas têm uma maior reputação.

5.2. Push-and-Track

Modelo proposto em [Whitbeck et al. 2012], é um modelo centralizado que escolhe veículos disseminadores com base na taxa de cobertura atual. Para isso, cada veículo envia uma mensagem quando entra na rede e mensagens de confirmação ACK de recebimento de conteúdo para o servidor central, que gerencia os veículos alvo que ainda não receberam o conteúdo. Quando esse valor é alto, ele escolhe aleatoriamente outros veículos para serem disseminadores da rede.

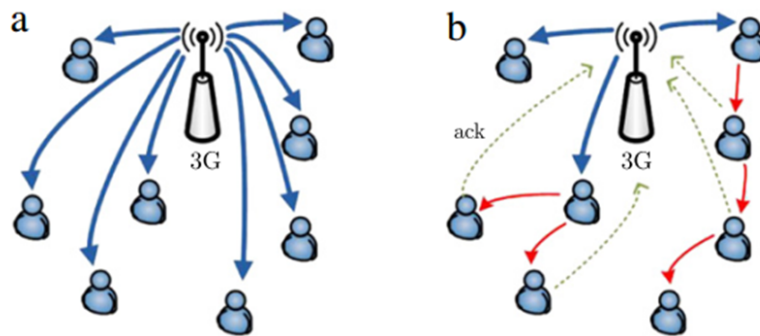


Figura 3. a) Modo somente de infraestrutura utilizando interface 3G. b) Abordagem push-and-track, onde efetuar preferencialmente comunicação ad hoc sempre que possível. [Whitbeck et al. 2012]

Funciona sobre diferentes tipos de rádios, e tem estratégias para dois cenários:

- inundações periódicas: onde o conteúdo deve ser periodicamente distribuído a todos os assinantes no prazo máximo é utilizado para garantir a entrega do conteúdo em um instante de tempo t . Caso novos assinantes ingressem na área no instante T , não irá influenciar no tratamento da aplicação. Em cada passo de tempo o módulo terá que definir qual mensagem será reenviada e para onde.
- dados flutuantes: onde o conteúdo existente deve alcançar novos nós dentro de um certo atraso depois que eles se inscreverem é utilizado para que assinante recebam conteúdo pouco após a entrada na área de contato, com isso, os assinantes entram e saem das áreas e os conteúdos continuam na rede.

Porém, como já citado, ele usa a busca de pesquisas centralizada em um único RSU em toda a rede.

Conforme apresentado na figura 3, a diferença de comunicação do modo somente estruturado (Figura 3a) e modo push-and-track (Figura 3b), embora confirmações são necessários para manter o circuito fechado, a carga de infraestrutura global será reduzida significativamente.

A utilização de periódicas inundações tem como principal objetivo, dividir o problema em quantas cópias do conteúdo devem ser injetadas na rede e com isso a proposta traz diferentes níveis de inserção, com início lento e início rápido.

O principal objetivo do modelo push-and-track é a distribuição massiva de conteúdo, esses conteúdos podem ter características como: tamanho variado, distribuição a partir de um ponto estruturado, e os clientes se inscrevem para receber o conteúdo. Exemplos de aplicações com essas características são: atualização de software e de sistema de um determinado fabricante; interesse local de dados, aproximação de cidades; inundações periódicas, feeds de notícias; distribuição de consultas como condição de condução e clima.

Essas informações podem ser distribuídas em dois grupos de dados conforme a tolerância de atrasos.

- **Freshness-tolerance:** Quando o conteúdo tem uma data de expiração natural, como notícia de hora em hora.
- **User-tolerance:** Quando o usuário precisa de receber um conteúdo dentro de um intervalo de tempo como informações de tráfego 30 segundos antes de entrar em uma região.

Um controlador centralizado empurra o conteúdo para os nós e se organiza com a disseminação do conteúdo, não requer uma fase de aprendizagem. O nó envia a confirmação de volta para o sistema de controle usando a rede infraestruturada conforme representado pela figura 3.

Para o controle de veículos na área, é utilizado o módulo chamado *Control loop operation* que é executado na RSU, é responsável por receber informações dos veículos. Trabalha com três mensagens de controles que são: ENTER, LEAVE e ACK. A ENTER é enviada sempre que um veículo se inscreve em uma área de cobertura, a LEAVE é enviada sempre que o veículo quer sair da área de cobertura e a ACK sempre que um veículo recebe um dado. Todas as mensagens são enviadas para a infraestrutura.

5.3. Linger

Linger foi proposto em [Fiore et al. 2013], é uma solução totalmente distribuída em que veículos decidem, através de troca de informações locais e periódicas, quais são os veículos mais adequados para atuarem como disseminadores de conteúdo, cada veículo calcula um índice local com base em sua velocidade e posição atual e envia para seus vizinhos. Os veículos da vizinhança trocam mensagens periódicas com seus vizinhos e decidem entre eles quais devem disseminar o conteúdo para os potenciais clientes da rede.

O Linger não necessita de rotas previamente conhecidas pois ele é um protocolo de roteamento e também não necessita de RSUs espalhados nas vias. Ele seleciona os nós

de forma distribuída e lhes permite agir como “*information bearers*”, proporcionando um disponibilidade de informação dentro de uma área de interesse.

6. Proposta e Resultados

Este trabalho tem o intuito de aferir o desempenho dos três modelos, será implementada no simulador de rede OMNET++¹ em sua versão 5.0. Três soluções que seguem os requisitos dos modelos apresentados na seção 5. O simulador OMNET++ foi escolhido pois apresenta a implementação do conjunto de protocolos WAVE. Como atenuação do sinal causada por obstáculos como árvores e prédios foi modelada conforme experimentos reais feitos com o padrão IEEE 802.11p em um cenário urbano, como apresentado em [Meneguette et al. 2014].

O comparativo tem o intuito de analisar o tempo de disseminação da informação na rede, percentual de cobertura, percentual de cobertura incorreta, volume de dados inseridos x rodados na rede, quantidade de mensagens de controle e tempo de convergência. Com isso, as principais métricas trabalhadas serão disponibilidade do conteúdo e custo da comunicação.

Os valores comuns das aplicações estão descritos abaixo.

A taxa de transmissão V2V será de 2 Mbps e a transmissão V2I será de 6 Mbps, o alcance de transmissão é de 100 m com base nos resultados de [Meneguette et al. 2014].

O cenário de 20,6 km^2 do centro da cidade de Bolonha, Itália, e o tempo de execução das aplicações é de 7200s. Para simulação de uma mobilidade veicular realista será utilizado o modelo definido pela ferramenta SUMO - *Simulation of Urban MObility*² em sua versão 0.27.1.

Para a simulação foi utilizado um dataset coletado da cidade de Bolonha, Itália. O dataset representa um conjunto de dados realista, tem uma grande variação de usuários (veículos), tem um alta taxa de rotatividade dos veículos e está disponível para Download no site do projeto iTetris European³. As características do dataset são: 636 laços espalhados pela cidade, 10.000 veículos, 20,6 km^2 e 191 km de estradas. Os dados coletados do dataset são dados de segunda a quinta-feira de 08:00 às 09:00 e representam um total de 10333 veículos distintos onde um máximo de 4.494 veículos estão presentes no mesmo instante de tempo com uma média de 3.540 veículos.

Para representar diferentes situações das vias, quanto ao volume de veículos ao decorrer do tempo, foi variado a densidade de veículos na rede ao decorrer das simulações de 10 veículos/ m^2 , 20 veículos/ m^2 , 40 veículos/ m^2 , 80 veículos/ m^2 , 160 veículos/ m^2 e 320 veículos/ m^2 .

Para cada conjunto cenário modelo, será executado 10 simulações. Os resultados apresentados serão a média e o intervalo de confiança de 0,95% das 10 simulações executadas. As requisições ao modelo será feita por transmissão periódica de 1s em todos os RSUs replicadores.

Ao decorrer da montagem dos experimentos, no simulador SUMO, não consegui

¹www.omnetpp.org

²www.sumo-sim.org

³www.ict-itetris.eu

trazer a representação gráfica correta sobre o gráfico da cidade, os pontos marcados ignoravam todo o mapa e marcavam uma ilha reta de um ponto ao outro. Foi tentado trabalhar uma simulação já construída no SUMO de outra cidade, porém a codificação dos modelos não foram bem realizadas dentro do OMNET++.

Todos os simuladores foram utilizados em um computador Intel® Core i7TM CPU 950 @ 3.07GHz x 8 e 4 GB de memória RAM com Sistema Operacional Debian 8.0 64 bits.

Como resultado, é de se esperar que como o Linger [5.3] tenha um desempenho inferior em redes menos densas e espaças, por outro lado não necessita de uma RSU para disseminação da informação, ou seja, o próprio veículo poderá ser disseminador de conteúdo na rede. Também é esperado que a informação seja espalhada por toda a rede pois ele escolhe nós preferenciais para o papel de disseminador.

O Push-and-track [5.2] provavelmente terá um desempenho satisfatório em redes densas pois porém ao retornar o ACK a um salto do RSU central, poderá ocorrer perdas de transmissão e atrasos de confirmação significantes.

Já o VCDN [5.1] terá um comportamento similar ao Linger, pois quanto maior a densidade da rede, melhor a cooperação dos veículos. Provavelmente se não tivermos veículos cooperativos na rede, ele terá um comportamento similar ao Push-and-track porém, caso tenha os RSUs espalhados em lugares com maior densidade, terá um desempenho superior.

Espera-se que os três modelos tenham um desempenho de número de mensagens trocadas/recebidas superior conforme a densidade da rede for aumentando.

Por fim, os modelos Push-and-track [5.2] e Liger [5.3] poderão ter uma troca maior de mensagens entre os veículos participantes conforme o aumento da densidade da rede pois tem a infraestrutura como apoiadora de troca de mensagens, já o Linger [5.3] não de RSUs para troca de mensagens.

Além do dataset de Bolonha, Itália gostaria de utilizar o dataset da cidade de Zurich que foi proposto por [Fiore et al. 2013] durante a apresentação do Linger. Utilizando esse cenário, pode-se validar o desempenho dos três modelos em outro dataset comparados ao dataset de Bolonha.

7. Conclusão

Este trabalho apresentou três modelos de entrega e disseminação de conteúdo em rede veiculares. Os modelos apresentados têm características distintas e apresentam forma e custo de implantação diferentes pois podemos ter implementação infraestruturadas, normalmente com custo de implementação e manutenção mais elevado, não infraestruturadas que por sua vez permite maior flexibilidade nas instalações e uma forma híbrida que agregue as características das duas. Existem três formas de disseminação de conteúdo, V2V, V2I e híbrida, que devem ser escolhidas de acordo com os recursos, condições de implantação e acessibilidade dos recursos. Como trabalho futuro, pretende-se implementar a mesma aplicação para todos os modelos e avaliar o comportamento e desempenho de cada um dos modelos.

Referências

- 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., e Abdalla, M. (2009). Redes veiculares: Princípios, aplicações e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*.
- Costa-Montenegro, E., Quinoy-Garcia, F., Gonzalez-Castano, F. J., e Gil-Castineira, F. (2012). Vehicular entertainment systems: Mobile application enhancement in networked infrastructures. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 7(3):73–79.
- Fiore, M., Casetti, C., Chiasserini, C.-F., e Borsetti, D. (2013). Persistent localized broadcasting in VANETs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 31(9):480–490.
- Luo, J. e Hubaux, J.-P. (2004). A survey of inter-vehicle communication. Technical report.
- Meneguette, R. I., Maia, G., Madeira, E. R., Pinto, A. R., Loureiro, A. A., e Villas, L. A. (2014). Um Algoritmo Autônomo para Disseminação de Informações em Redes Veiculares. *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, páginas 911–924.
- Passarella, A. (2012). A survey on content-centric technologies for the current Internet: CDN and P2P solutions. *Computer Communications*, 35(1):1–32.
- Sanguesa, J. A., Barrachina, J., Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F. J., Cano, J.-C., Calafate, C. T., e Manzoni, P. (2015). Sensing traffic density combining V2V and V2I Wireless Communications. *Sensors*, 15(12):31794–31810.
- Silva, F., Boukerche, A., Silva, T. R., Ruiz, L. B., Cerqueira, E., e Loureiro, A. A. (2014). Content replication and delivery in vehicular networks. Em *Proceedings of the fourth ACM international symposium on Development and analysis of intelligent vehicular networks and applications*, páginas 127–132. ACM.
- Silva, F. A., Silva, T. R. M., Cerqueira, E., Ruiz, L. B., e Loureiro, A. A. (2016). Um Modelo Híbrido para Entrega de Conteúdo em Redes Veiculares. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*.
- Whitbeck, J., Lopez, Y., Leguay, J., Conan, V., e De Amorim, M. D. (2012). Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(5):682–697.