

Um Modelo Híbrido para Entrega de Conteúdo em Redes Veiculares

Fabício A. Silva^{1,4}, Thais Regina M. B. Silva¹, Eduardo Cerqueira²,
Linnyer B. Ruiz³ e Antonio A. F. Loureiro⁴

¹Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (UFV-Florestal)

²Fac. Engenharia da Computação e Telecomunicações (UFPA)

³Departamento de Informática (UEM)

⁴Departamento de Ciência da Computação (UFMG)

Resumo. *As aplicações para redes veiculares estão surgindo com o objetivo de tornar o trânsito mais seguro, menos congestionado, mais informativo e prazeroso. Para isso, um dos principais requisitos de tais aplicações é a entrega eficiente de conteúdo aos veículos. Normalmente, duas abordagens têm sido usadas para a entrega de conteúdo em redes tradicionais: Redes de Entrega de Conteúdo (Content Delivery Networks ou simplesmente CDN) e Redes Par-a-Par (P2P). Porém, as características específicas das redes veiculares sugerem que essas abordagens isoladas, como originalmente propostas para a Internet, não são adequadas para esse tipo de rede. Neste trabalho, é proposto um modelo híbrido em que conceitos de CDN e P2P são estendidos e adaptados para as redes veiculares. São definidos e descritos os principais componentes a serem implementados para o modelo proposto, que servem de base para projetistas de aplicações e serviços. Para concluir, é implementada uma solução para demonstrar a eficiência do modelo proposto em relação ao desempenho das aplicações.*

Abstract. *Vehicular network applications are emerging to reality with the objective of making traffic safer, less congested, more informative, and enjoyable. To this end, a fundamental requirement for such applications is the efficient delivery of content. Usually, two approaches have been used to deliver content in the traditional Internet: Content Delivery Networks (CDN) and Peer-to-Peer (P2P). However, several characteristics of VANETs and their applications suggest that pure CDN and P2P models, as originally conceived for the Internet, are not suitable for them. In this work, we propose a hybrid model where concepts from both CDN and P2P are inherited and adapted to vehicular networks. We define and describe the main components to be implemented in the proposed model. Finally, we propose and evaluate a solution to demonstrate that the proposed model is useful for the performance of vehicular applications.*

1. Introdução

As redes veiculares são formadas pela comunicação entre veículos automotores, e entre veículos e unidades de acostamento (RSUs) [Campista 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]. Essas aplicações emergentes requerem que conteúdos digitais heterogêneos sejam entregues aos veículos, incluindo notificações de trânsito, previsão de tempo, vídeos e imagens

de propagandas, vídeos e imagens de entretenimento. No entanto, a tarefa de entrega de conteúdo em redes veiculares não é trivial, e vários desafios ainda devem ser abordados para que as aplicações sejam eficientes nos seus objetivos [Gerla et al. 2014].

Duas abordagens para a entrega de conteúdo são comumente usadas na Internet [Passarella 2012]: Rede de Entrega de Conteúdo (*Content Delivery Networks* ou simplesmente CDN) e Redes Par-a-Par (P2P). As CDNs fazem uso da replicação do conteúdo em servidores estrategicamente localizados, redirecionando as requisições para o servidor de réplica mais apropriado. Com isso, provêem uma alta disponibilidade de conteúdo em uma arquitetura infraestruturada, com a exigência da existência dos servidores, e que os mesmos estejam preparados para receberem as réplicas. Diferentemente, nós em uma rede P2P cooperam entre si, oferecendo os recursos disponíveis para seus pares, levando assim a soluções escaláveis e tolerantes a falhas. Além disso, uma rede P2P geralmente é auto-organizada, necessitando assim de um baixo custo de implantação. No entanto, a descoberta e a entrega de conteúdo pode levar a atrasos significativos e gerar sobrecarga na rede, principalmente em redes com topologia muito dinâmica.

Algumas características das redes veiculares sugerem que os modelos isolados de CDN e P2P, como originalmente concebidos para a Internet, não são apropriados para esse tipo de rede. Primeiramente, muitas aplicações das redes veiculares, conhecidas como *push-based*, não necessitam de requisições explícitas dos clientes, que devem receber um conteúdo potencialmente de seu interesse, como por exemplo uma propaganda em uma determinada região. Além disso, a mobilidade dos veículos faz com que a topologia da rede seja extremamente dinâmica, dificultando assim a busca por conteúdo e o estabelecimento de enlaces fim-a-fim para a sua entrega. Em relação aos servidores estáticos de réplica, sua disposição em cenários urbanos de larga escala é uma tarefa cara em termos de dinheiro e tempo. Por último, alguns conteúdos são dependentes de localização e de tempo, sendo válidos somente dentro de uma área de interesse (AoI) em um período de tempo.

Neste artigo, é proposto um novo modelo híbrido, chamado de Rede Veicular de Entrega de Conteúdo (do inglês *Vehicular Content Delivery Network* ou VCDN), que integra, estende e adapta conceitos de CDN e P2P para as redes veiculares. De um lado, a infraestrutura estática composta por servidores de réplicas é usada para aumentar a disponibilidade de conteúdo. Neste caso, o conceito tradicional de replicação de CDN é estendido para que réplicas sejam alocadas também em veículos, e não somente nos servidores estáticos. Por outro lado, veículos cooperam entre si de maneira similar às redes P2P para a busca e entrega de conteúdo. Essa cooperação também é estendida para estar ciente da mobilidade veicular, um fator fundamental para a qualidade de entrega de conteúdo nas redes veiculares.

Em resumo, o modelo proposto é escalável, tolerante a falhas, ciente de mobilidade, e aplicável tanto em cenários com e sem infraestrutura. Além disso, vale a pena destacar que o modelo é compatível com as recentes arquiteturas orientadas a conteúdo [Silva et al. 2015b, Amadeo et al. 2012]. O modelo VCDN foi implementado em uma solução de entrega de conteúdo em uma área de interesse, e comparado a duas outras soluções da literatura. Os resultados mostram que foi possível aumentar a disponibilidade de conteúdo e ainda assim, reduzir o consumo de recursos da rede.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta os principais trabalhos relacionados. Em seguida, a Seção 3 apresenta os detalhes do modelo VCDN proposto. A descrição das avaliações e os resultados estão presentes na Seção 4. Finalmente, as conclusões e alguns trabalhos futuros são descritos na Seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

A entrega de conteúdo em redes veiculares é um tema que vem recebendo a atração de pesquisadores nos últimos anos [Silva et al. 2014]. Em linhas gerais, os trabalhos existentes focam em duas áreas principais: replicação de conteúdo e disseminação de conteúdo. Abaixo, os principais trabalhos da literatura para cada uma dessas áreas são descritos, começando pelos relacionados à replicação.

Algumas soluções adotam a estratégia de cálculo de um índice comparável, o que permite aos veículos decidirem localmente quais são mais apropriados para replicar algum conteúdo [Borsetti et al. 2011, Fiore et al. 2013]. Essas propostas implementam algoritmos distribuídos para o cálculo do índice, que geralmente representa as características de mobilidade dos veículos, tais como direção, distância para a região de interesse, velocidade e trajetória. Esse índice fornece uma boa sugestão local de veículos que potencialmente serão boas réplicas. Porém, o índice considera somente uma visão restrita da rede, e o algoritmo distribuído adotado pode gerar uma sobrecarga na rede.

Dois trabalhos da literatura desenvolvem soluções para escolher um veículo para replicar um conteúdo e entregá-lo de um ponto de origem fixo para outro de destino também fixo [Acer et al. 2011, Khabbaz et al. 2012]. Apesar de eficientes para o que foram propostos, os alvos do conteúdo nessas soluções são sempre fixos, o que restringe a sua implantação em VANETs, onde os alvos geralmente são veículos se movendo constantemente. Outras soluções exploram o conhecimento atual e esperado da topologia da rede para fazerem a replicação de conteúdo [Trullols-Cruces et al. 2012, Malandrino et al. 2014]. Apesar de levarem a uma taxa de entrega do conteúdo alta, a necessidade de conhecimento da topologia atual e futura da rede e a adoção de algoritmos complexos de grafos, tornam essas soluções menos atrativas, principalmente em cenários de larga escala. Por fim, outras duas soluções visam a escolha de réplicas de forma centralizada utilizando os pontos de origem e destino dos veículos [Silva et al. 2016, Silva et al. 2015a].

Em relação à disseminação de conteúdo, o principal foco da literatura é no encaminhamento de pacotes com o intuito de não sobrecarregar a rede em uma transmissão broadcast [Meneguetto et al. 2014]. A solução [Cao et al. 2014] implementa uma estratégia em que os provedores anunciam para seus vizinhos os conteúdos disponíveis. Assim, um interessado envia uma requisição direta para o provedor, por meio de estações infra-estruturadas. Por outro lado, em [Sanguesa et al. 2015], um esquema de disseminação decide a frequência de disseminação com base na densidade e topologia da rede.

Todas as soluções, tanto de replicação quanto de disseminação, possuem vantagens e desvantagens, podendo ser mais adequadas para contextos específicos. Até o momento, não foi proposta nenhuma solução que atenda às demandas de todas as aplicações de redes veiculares, principalmente pelo amplo domínio que engloba essas aplicações. Além disso, também não foi encontrado nenhum modelo ou arcabouço para a camada de aplicação que visa a entrega de conteúdo em redes veiculares.

Neste trabalho, o objetivo é propor um modelo a ser seguido pelos projetistas de aplicações com demanda de entrega de conteúdo. O modelo poderá adotar diferentes estratégias de replicação e disseminação (entrega), sendo flexível para ser implementado de maneira a atender as demandas das aplicações. Com esse modelo, as soluções se tornarão mais flexíveis, expansíveis, e aplicáveis em diferentes cenários.

3. Rede Veicular de Entrega de Conteúdo

Nesta seção, é apresentado o novo modelo híbrido, chamado VCDN, que adapta e estende conceitos de CDN e P2P. Primeiramente, são descritas as características das abordagens puramente CDN e puramente P2P para a entrega de conteúdo em redes veiculares, com o objetivo de apresentar seus pontos positivos e negativos, e motivar a proposta de um modelo híbrido. Em seguida, é proposto o novo modelo na Seção 3.3.

3.1. Abordagem Puramente CDN

Na abordagem puramente CDN, unidades de acostamento (*Roadside Units* ou RSUs) são responsáveis por atuarem como servidores replicadores. Para isso, é necessário uma primeira fase que envolve o planejamento e instalação das RSUs na área de atuação da rede. Em seguida, são escolhidas as RSUs mais adequadas para replicarem um determinado conteúdo. A partir de então, os veículos recebem o conteúdo das RSUs utilizando a comunicação veículo-para-infraestrutura (V2I).

A principal vantagem dessa abordagem para o contexto das redes veiculares é a utilização de recursos da rede infraestruturada para disponibilizar, buscar e entregar conteúdos. No entanto, existe um custo alto para instalar e manter as RSUs de forma a cobrir toda a área da rede, especialmente em se tratando de cenários de larga escala. Além disso, essa solução não é tolerante a falhas de RSUs, já que as mesmas podem levar a áreas descobertas. Por último, a comunicação estritamente V2I é, em geral, mais cara que a veículo-para-veículo (V2V), o que pode levar a um custo maior para os provedores e para os consumidores de conteúdos.

3.2. Abordagem Puramente P2P

A natureza auto-organizável das redes P2P é um atrativo para as redes veiculares, dada a sua topologia extremamente dinâmica. Neste caso, os veículos cooperam entre si formando uma rede *ad hoc* e descentralizada. Conteúdos nesta abordagem puramente P2P são compartilhados entre os veículos, que se unem para disponibilizá-los para seus pares. Para incentivar a cooperação, são dados benefícios para veículos cooperativos, como por exemplo prioridade na entrega de conteúdos.

A principal vantagem de tal abordagem é a tolerância a falhas, pois a falha em algum provedor de conteúdo é suprida por outros na região. Além disso, o custo de instalação é muito baixo, sendo necessário somente que os pares estejam executando um programa em comum. No entanto, o custo pela busca por conteúdo pode ser significativo, em termos de atraso e sobrecarga na rede, dadas as características dinâmicas das redes veiculares, em que provedores de conteúdo se movem e levam o conteúdo para outras regiões. Para dificultar ainda mais, um cliente pode ter se movido quando o provedor é encontrado, fazendo com que a entrega do conteúdo seja ainda mais custosa.

3.3. Modelo Híbrido Proposto

O modelo híbrido proposto (veja Figura 1) explora as vantagens de ambas as abordagens, puramente CDN e P2P, e estende e adapta seus conceitos considerando as características das redes veiculares. Por um lado, a replicação de conteúdo em servidores estáticos (i.e., RSUs) é herdada de CDN para aumentar a disponibilidade de conteúdo. O modelo proposto vai além e estende essa funcionalidade, permitindo a replicação de conteúdo também em veículos com o objetivo de aumentar ainda mais a disponibilidade de conteúdo e tornar o modelo tolerante a falhas (Veja veículo mais escuro na Figura 1). Por outro lado, os conceitos de P2P para busca e entrega distribuída de conteúdo são adotados, além do incentivo a veículos cooperativos. Além disso, para reduzir a sobrecarga na rede e o tempo de busca por um conteúdo, o modelo proposto explora as unidades de acostamento (RSUs) como *trackers* de conteúdos na vizinhança. Por fim, um serviço de gerenciamento de mobilidade é utilizado para monitorar padrões de mobilidade e dar suporte às decisões de replicação, descoberta e entrega de conteúdo.

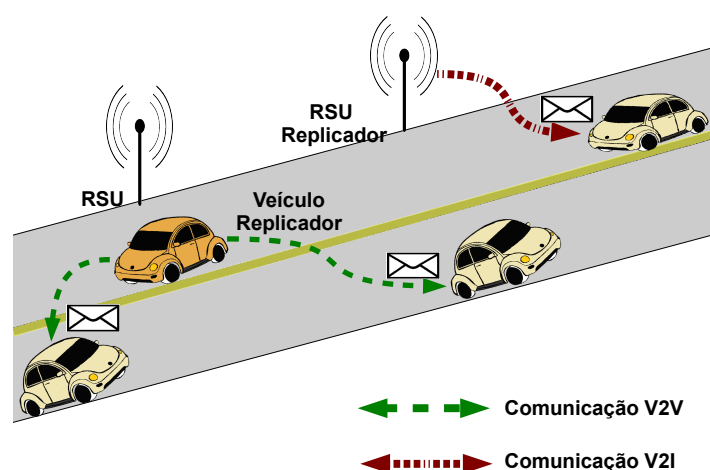


Figura 1. Arquitetura geral do modelo VCDN. Conteúdos são replicados tanto em RSUs quanto em veículos. Um RSU replicador entrega o conteúdo utilizando V2I, enquanto veículos replicadores o fazem por meio da comunicação V2V. Vale ressaltar que, apesar de não ilustrado na figura, o modelo também é compatível com cenários sem RSUs.

O modelo híbrido proposto é tolerante a falhas pois falhas em servidores replicadores, tanto RSUs quanto veículos, são compensadas por outros na região. Além disso, considerando uma replicação efetiva, é esperado que os conteúdos estejam disponíveis perto dos clientes, reduzindo a sobrecarga e o atraso para a busca e entrega dos mesmos. A possibilidade de se ter veículos como replicadores também torna a solução escalável, um fator fundamental para redes veiculares. O modelo também funciona em cenários com e sem infraestrutura, já que a utilização de RSUs não é obrigatória. Por fim, o serviço de gerenciamento de mobilidade leva a tomadas de decisões mais efetivas, pois considera como a mobilidade pode influenciar na entrega de conteúdo.

3.4. Detalhes do Modelo

A Figura 2 ilustra os componentes do modelo proposto, que são flexíveis o suficiente para serem implementados de acordo com as demandas de cada aplicação. Essa flexibilidade é fundamental para as redes veiculares, pois várias aplicações ainda estão surgindo, e aplicações ainda nem pensadas poderão fazer parte desse tipo de rede. Além disso, é importante destacar que cada módulo pode ser executado em diferentes entidades físicas, sendo possível assim a utilização do modelo em diferentes arquiteturas. A seguir, cada um dos componentes é explicado.

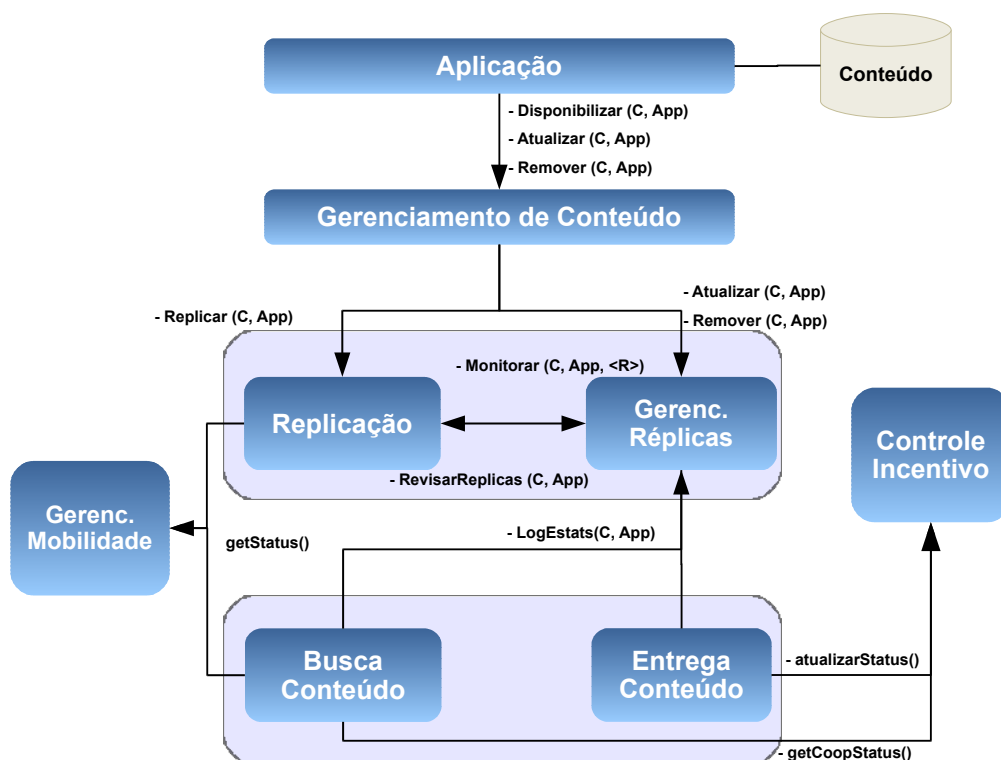


Figura 2. Componentes que devem ser implementados no VCDN. O objetivo é disponibilizar um conteúdo C para alguma aplicação App . Para isso, replicadores $\langle R \rangle$ são escolhidos para entregar o conteúdo aos interessados.

Gerenciamento de Mobilidade: Em se tratando de redes veiculares, a mobilidade é um fator determinante para as tomadas de decisões. Para ajudar nas decisões, esse módulo é responsável por prover a situação da mobilidade em relação a áreas ou veículos específicos. A situação de mobilidade pode variar de solução para solução, representando por exemplo as trajetórias dos veículos envolvidos, o grafo de contatos atual e esperado da rede, a densidade da rede em determinada região, e os pontos de origem e destino dos veículos. Para aumentar as informações disponíveis nesse módulo, ele pode ser integrado a outros sistemas de monitoramento de trânsito, como por exemplo o proposto em [Júnior et al. 2013].

Gerenciamento de Conteúdo: Este módulo provê serviços para que a aplicação disponibilize, atualize e remova conteúdos. Ao iniciar sua execução, a aplicação provê informações importantes sobre os conteúdos a serem distribuídos, para que o gerenciamento de conteúdo possa então acionar o módulo para replicar os mesmos. Quando

novos conteúdos devem ser disponibilizados, ou conteúdos existentes devem ser alterados ou removidos, esse módulo é acionado. Vale ressaltar pelas interfaces dos módulos que o modelo proposto é compatível com domínios com múltiplas aplicações.

Replicação de Conteúdo e Gerenciamento de Réplica O objetivo da replicação é tornar os conteúdos disponíveis para os potenciais clientes. A decisão de quando e em quais RSUs e veículos replicar depende fundamentalmente das características do conteúdo. Além disso, o padrão de mobilidade veicular é um fator importante, pois os contatos entre veículos entre si, e entre veículos e RSUs, irão determinar a efetividade da entrega aos clientes. Veículos e RSUs selecionados atuam como servidores replicadores, participando ativamente da tarefa de entrega de conteúdo.

O módulo de *Replicação de Conteúdo* é responsável por selecionar veículos e RSUs para atuarem como servidores replicadores. Essa tarefa é fundamental para que os conteúdos sejam disponibilizados próximos aos potenciais clientes, diminuindo assim o tempo e sobrecarga para que seja encontrado e entregue, além de aumentando a satisfação dos clientes. Para isso, a replicação utiliza como fonte de informação o módulo de gerenciamento de mobilidade, para que a escolha dos replicadores seja ciente da mobilidade veicular. Existem algumas soluções que focam especificamente na replicação de conteúdo, sendo que não existe uma solução única que é a melhor para todas as aplicações [Silva et al. 2014]. Mais uma vez, esse componente do modelo híbrido proposto é flexível para adotar a melhor solução para cada caso.

Após a replicação, o módulo de *Gerenciamento de Réplica* inicia o monitoramento dos servidores replicadores. O objetivo é manter a consistência dos conteúdos nas réplicas e acompanhar a efetividade desses servidores. Para isso, os módulos de busca e entrega de conteúdo (descritos abaixo) informam ao gerenciamento de réplica estatísticas sobre a efetividade dos replicadores atuais, como o número de clientes atendidos, a quantidade de dados entregues, e a vazão média aferida, por exemplo. Com isso, quando um servidor replicador não está sendo efetivo, esse módulo invoca o módulo de replicação com o objetivo de alterar a lista de replicadores para melhorar a disponibilidade de conteúdo.

Busca e Entrega de Conteúdo: Nesta etapa, o conteúdo é entregue aos clientes que fizeram requisição explícita (i.e., aplicações *pull-based*) ou não (i.e., aplicações *push-based*). A entrega do conteúdo aos clientes depende fundamentalmente se a aplicação é *push-* ou *pull-based*. Para o primeiro caso, os servidores replicadores devem entregar o conteúdo para todos os veículos alvo, que são aqueles potencialmente interessados. Um desafio nesse caso refere-se a identificar os veículos alvo para algum conteúdo, que pode variar de aplicação para aplicação, como por exemplo algum conteúdo direcionado a veículos em uma área de interesse específica, ou que se dirigem a determinada região.

Por outro lado, clientes em uma aplicação *pull-based* devem requisitar o conteúdo que desejam explicitamente. Neste caso, o módulo de *Busca de Conteúdo* tem um papel fundamental para encontrar os provedores existentes para uma requisição. Para isso, os clientes enviam uma mensagem de *look up* que é disseminada até uma distância em número de passos; essa distância é incrementada até um valor máximo configurável, até que um provedor seja encontrado. Vale destacar que esse módulo é compatível com outras estratégias, que podem ser mais adequadas dependendo da aplicação.

Servidores replicadores, ao receberem uma mensagem de *look up* de um con-

teúdo disponível, respondem com uma mensagem de disponibilidade, que contém, além da informação dos conteúdos disponíveis, suas informações de mobilidade e recursos disponíveis. Esses últimos são informados de acordo com o histórico cooperativo do cliente. Dentre os potenciais provedores, o cliente então escolhe aquele(s) que melhor poderá(ão) atendê-lo, e envia a requisição para o(s) mesmo(s).

Para reduzir o tempo para se encontrar um conteúdo, as RSUs atuam como *trackers* e escutam os *beacons* enviados pelos provedores informando sobre os conteúdos disponíveis. Mecanismos de *beacons* são comuns em redes veiculares [Zeadally et al. 2012], fazendo com que essa funcionalidade seja facilmente habilitada. Com isso, uma RSU é capaz de responder a uma mensagem de *look up*, informando ao cliente sobre um potencial servidor replicador na região.

O módulo de *Entrega de Conteúdo* é responsável por entregar o conteúdo aos clientes. Em uma aplicação *pull-based*, os provedores respondem a mensagens de requisição enviando o conteúdo diretamente ou utilizando comunicação em múltiplos passos. Nesse último caso, outros veículos são explorados como encaminhadores, e são beneficiados por essa cooperação em futuras demandas. Por outro lado, os provedores em aplicações *push-based* enviam o conteúdo periodicamente para alcançar os potenciais clientes com determinadas propriedades.

Vale destacar que esses módulos são compatíveis com modelos recentes orientados a conteúdo [Silva et al. 2015b, Amadeo et al. 2012], em que o conteúdo é representado por um nome e é utilizado o roteamento baseado em nomes.

Controle de Incentivo: Como nas redes P2P, as aplicações que adotam o modelo VCDN requerem a cooperação dos veículos para operar apropriadamente. Por exemplo, veículos devem oferecer seus recursos para atuarem como servidores replicadores em troca de algum benefício. Além disso, veículos devem atuar como encaminhadores de pacotes em transmissões em múltiplos passos. Portanto, o módulo de *Controle de Incentivo* é importante para definir e controlar como veículos cooperativos irão se beneficiar. Para isso, o módulo de *Entrega de Conteúdo* informa a quantidade de dados entregues e encaminhados por cada veículo, que indicam o quão cooperativo cada veículo tem sido. Essa informação é consultada pelo módulo de *Busca de Conteúdo*, em que os provedores podem oferecer mais recursos para veículos cooperativos. Esse módulo é compatível com diferentes estratégias de benefícios, como as baseadas em crédito ou em reputação.

4. Avaliação

Para aferir o desempenho do modelo proposto, foi implementada no simulador de rede OMNET++¹ uma solução seguindo os componentes descritos neste artigo. Abaixo seguem os detalhes das simulações.

Aplicação: A aplicação *push-based* considerada visa disponibilizar uma imagem de propaganda de um estabelecimento comercial em uma área de interesse (AoI) circular com raio r de 500 m na cidade de Ottawa, Canadá. O conteúdo (i.e., imagem) é estático e de tamanho 100 KBytes, devendo ser entregue a todos os veículos que trafegam pela AoI durante o tempo de vida da aplicação. É assumido que toda a área é coberta por RSUs.

¹<http://www.omnetpp.org>

Gerenciamento de Mobilidade: As informações de mobilidade utilizadas são os pontos de origem (O) e destino (D) dos veículos. Cada veículo é responsável por fornecer seus pontos de O-D no momento que iniciam seu trajeto. Os outros módulos, com destaque para o de replicação, utilizam essas informações nas tomadas de decisão.

Replicação de Conteúdo: A replicação do conteúdo é o principal fator para manter o mesmo disponível para os veículos alvo. Neste trabalho, a replicação é baseada na proposta descrita em [Silva et al. 2016].

O módulo de replicação de conteúdo executa em um servidor instalado na infraestrutura, interligado a todas as RSUs. Todo veículo, ao partir em direção ao seu destino, envia uma mensagem de *Enter* contendo seus pontos de O-D para a RSU mais próxima, que então a encaminha para o módulo de replicação. Ao receber os pontos de origem o_i e destino d_i de um veículo v_i , esse módulo deve decidir se v_i deve atuar como servidor replicador ou não. Essa decisão é feita com base em duas informações: a distância esperada d_i^A que v_i irá percorrer dentro da AoI, e um índice de cobertura I_i^A durante o período que v_i estará dentro da AoI.

A distância d_i^A é calculada considerando o segmento da reta $\overrightarrow{o_i d_i}$ que intercepta a AoI. Caso $\overrightarrow{o_i d_i}$ não intercepte a AoI, v_i não é considerado como um candidato a replicador. Quanto maior a distância em relação ao raio r da AoI, maior o peso dado para v_i ser considerado como replicado, como definido pela fórmula abaixo:

$$w_i^d = \frac{d_i^A}{2 \times r}. \quad (1)$$

Para o cálculo do índice de cobertura I_i^A , seja $\overline{A}_v = \pi \times r_v^2$ a área de cobertura de cada veículo, dada pelo alcance de transmissão r_v do veículo. Além disso, seja $\overline{A} = \pi \times r^2$ a área total da AoI, dada pelo seu raio r . Assim, é calculada uma estimativa do número n_i^A de réplicas que estarão na AoI simultaneamente a v_i e a área total que essas réplicas são capazes de cobrir no melhor cenário (i.e., com o mínimo de interseção entre os veículos). Como o melhor cenário dificilmente ocorrerá, esperamos a ocorrência de áreas descobertas e outras redundantes, que devem ser diminuídas. Para isso, definimos o índice como a seguinte função negativa quadrática:

$$I_i^A(n_i^A) = \left(\frac{-1}{10}\right) \times \left(\left(\frac{n_i^A \times \overline{A}_v}{\overline{A}}\right) \times 100\right)^2 + 100. \quad (2)$$

O raciocínio é aumentar a chance de um veículo ser escolhido como réplica quando a AoI estiver potencialmente descoberta no mesmo período em que o veículo é esperado de estar dentro da mesma. A função negativa quadrática representa esse raciocínio, já que quanto maior o número de veículos cobrindo a AoI, menor será a contribuição do índice para a escolha de um veículo.

Finalmente, é calculada a probabilidade de um veículo v_i ser escolhido como réplica pela média das duas métricas definidas pelas Equações 1 e 2:

$$p_i = \frac{w_i^d + I_i^A}{2}. \quad (3)$$

Resumidamente, veículos que são esperados percorrer uma distância maior dentro da AoI quando a área estiver com poucas réplicas, são mais prováveis de serem escolhidos como réplicas. Essa solução visa escolher potenciais bons veículos como réplicas e balancear a distribuição das mesmas ao longo do tempo de vida do conteúdo a ser entregue.

Entrega de Conteúdo e Controle de Incentivo: Por se tratar de uma aplicação *push-based*, a entrega é feita por transmissão periódica, a cada 1 s, dos servidores replicadores, com alcance de 1 passo. Vale destacar que cada servidor replicador somente realiza a entrega quando está trafegando dentro da AoI, para evitar que veículos não interessados no conteúdo sejam cobertos, aumentando assim o consumo desnecessário de recursos de rede.

Em relação ao *Controle de Incentivo*, os servidores replicadores são monitorados em relação à quantidade de dados que entregam a outros veículos, e essa informação é armazenada para ser utilizada em seu benefício no futuro. Como essa avaliação considera uma única aplicação, a avaliação do uso do benefício é considerado como trabalho futuro.

Métricas: São medidas duas métricas principais: disponibilidade de conteúdo e custo de comunicação. A primeira avalia o quão disponível o conteúdo está em termos de cobertura (i.e., porcentagem de veículos cobertos). Também foi medida a quantidade de veículos não-alvo (i.e., que não trafegam dentro da AoI), que receberam o conteúdo desnecessariamente. A segunda métrica avalia o custo de comunicação em termos de mensagens trocadas e redundantes, além do número de pacotes perdidos.

Soluções Base: A solução proposta foi comparada a duas outras da literatura: Push-and-Track [Whitbeck et al. 2012] e Linger [Fiore et al. 2013]. Push-and-Track é uma solução centralizada 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 (i.e., 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 na AoI.

Linger, por outro lado, é uma solução totalmente distribuída em que veículos decidem, por meio da troca de informações locais, quais são mais adequados para atuarem como disseminadores. 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 e decidem entre eles quais devem disseminar o conteúdo para os potenciais clientes.

O objetivo de escolher essas duas soluções advém da necessidade de comparar nossa solução com outra também infraestruturada, e outra totalmente distribuída. Além disso, essas duas soluções são bem consolidadas na literatura. Diferentemente da solução que segue o modelo VCDN, essas soluções não fazem a replicação e o gerenciamento de réplicas, além de não adotarem informações da mobilidade veicular e mecanismos de incentivo para cooperação.

Configurações das Simulação As soluções foram implementadas no simulador de rede OMNET++, que já provê uma implementação do conjunto de protocolos WAVE

(*Wireless Access for Vehicular Environment*) [Morgan 2010] que inclui o padrão IEEE 802.11p para as camadas física e MAC, e o IEEE 1609 para as operações das camadas superiores [Jiang and Delgrossi 2008]. A atenuação de sinal causada por obstáculos e prédios é modelada conforme resultados experimentais reais feitos com o padrão IEEE 802.11p em um cenário urbano, como apresentado em [Sommer et al. 2010].

As taxas de transmissão V2V e V2I são de 1 Mbps e 3 Mbps, respectivamente, e o alcance de transmissão dos veículos é de 100 m com base nos resultados de [Cheng et al. 2007]. Portanto, a área circular de cobertura de um veículo é $\overline{A}_v = \pi \times 100^2$.

Foi adotado um cenário de 9 km² do centro da cidade de Ottawa, Canadá, e o tempo de vida da aplicação e do conteúdo é de 3600 s. Para simular uma mobilidade veicular realista, foi utilizado o modelo definido pela ferramenta SUMO². O raio da área de interesse foi fixada em 500 m para ficar de acordo com a área total do cenário. Além disso, as densidades de rede variam de 20 veículos/km² a 240 veículos/km², para avaliar diferentes cenários. Por fim, todos os resultados representam a média e o intervalo de confiança de 95% dentre 33 rodadas de simulação.

4.1. Resultados

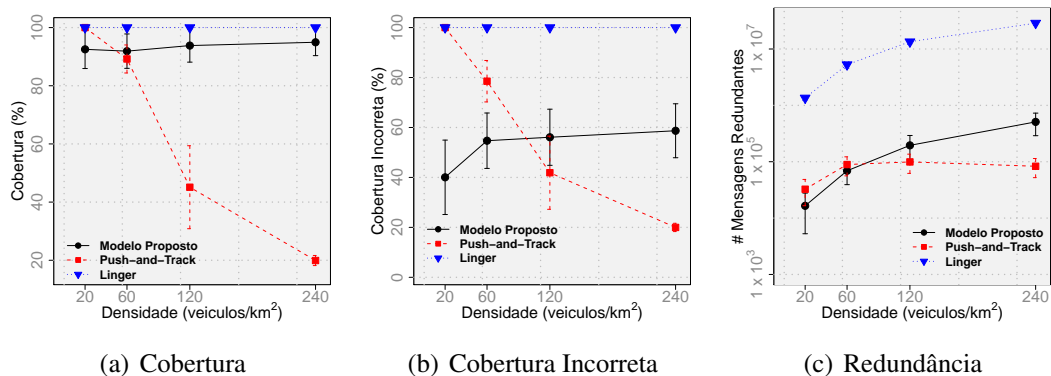


Figura 3. Resultado de cobertura, cobertura incorreta, e redundância.

A Figura 3 apresenta os resultados em termos de cobertura, cobertura incorreta, e redundância. Devido à característica de inundação, Linger obteve 100% de cobertura para todos os cenários, como mostra a Figura 3(a). Porém, essa mesma característica levou Linger a enviar o conteúdo para praticamente todos os outros veículos não-alvo (i.e., que não passam pela AoI), como mostra a Figura 3(b). O modelo VCDN obteve também valores bem próximos de 100% de cobertura, e valores reduzidos de cobertura incorreta (até 60% para redes mais densas). Push-and-Track apresentou resultado satisfatório de cobertura somente para baixas densidades, tendo chegado a apenas 20% de cobertura no cenário mais denso.

O modelo VCDN também se mostrou eficiente em termos de quantidade de mensagens redundantes enviadas, quando comparado às outras soluções, como mostra a Figura 3(c). Isso se deve ao fato da escolha adequada de servidores replicadores, que fazem o balanceamento das entregas ao longo do tempo e espaço. Linger se mostrou pouco efi-

²<http://sumo-sim.org>

ciente para essa métrica, tendo consumido mais recursos de rede (aproximadamente duas ordens de grandeza) para transmitir conteúdo desnecessariamente.

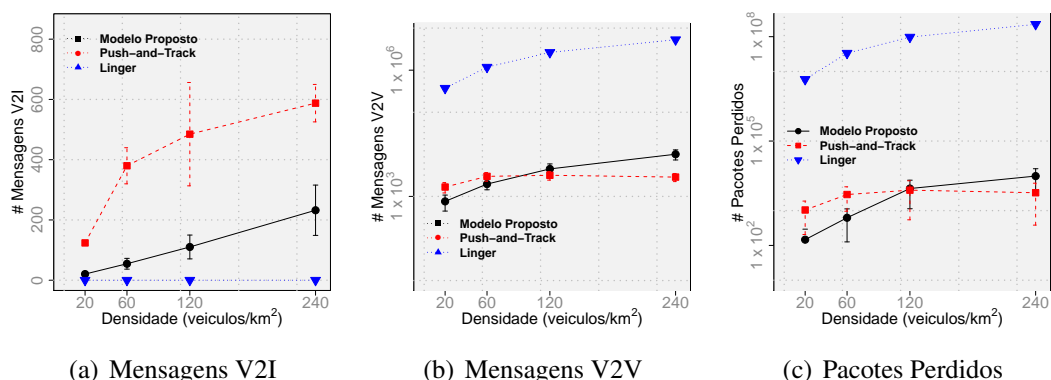


Figura 4. Resultados de mensagens V2I e V2V enviadas, e de pacotes perdidos.

A Figura 4 apresenta os resultados em termos de mensagens de infraestrutura (V2I), mensagens entre veículos (V2V), e pacotes perdidos para cada solução. Push-and-Track precisou de significativamente mais mensagens V2I (sem considerar mensagens ACK) que as outras soluções (aproximadamente 400 mensagens a mais nos cenários mais densos), como mostra a Figura 4(a). Isso se deve ao fato da escolha de disseminadores não ser adequada, precisando se adaptar para aumentar a cobertura quando a taxa de veículos alvo que recebem o conteúdo está baixa. Por ser uma solução totalmente distribuída, Linger não necessita de nenhuma mensagem de infraestrutura. O modelo proposto conseguiu um resultado satisfatório de cerca de 3 vezes menos mensagens V2I que Push-and-Track para todos os cenários. Vale destacar que, em geral, o custo de mensagens V2I é maior que o de mensagens V2V, devido à necessidade da infraestrutura que é controlada por alguma entidade com interesse monetário.

Apesar de não fazer uso de mensagens V2I, Linger necessita de uma quantidade cerca de três ordens de grandeza maior de mensagens V2V do que VCDN e Push-and-Track. Isso leva a uma sobrecarga na rede e, conseqüentemente, atrasos e perda de pacotes, como mostra a Figura 4(c). O modelo proposto obteve resultados similares a Push-and-Track, tanto na quantidade de mensagens V2V quanto na quantidade de pacotes perdidos.

Em linhas gerais, a implementação do modelo proposto levou a um balanceamento entre a cobertura e o consumo de recursos de rede. Foi possível obter uma taxa de cobertura próxima de 100%, sem precisar de muitas mensagens de infraestrutura (400 mensagens a menos em alguns casos), e sem consumir muitos recursos da rede com mensagens redundantes (duas ordens de grandeza menos). Esses resultados refletem a ideia do modelo VCDN de integrar os principais conceitos de CDN e P2P, para aumentar a disponibilidade de conteúdo, deixando-o mais próximo de seus potenciais clientes. Com isso, os clientes são alcançados mais rapidamente e com um custo menor.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou um novo modelo híbrido para a entrega de conteúdo em redes veiculares. O modelo proposto, chamado de VCDN, adapta e estende conceitos de CDN

e P2P, e é flexível para ser utilizado em diferentes aplicações com demandas específicas. Para avaliar a proposta, uma aplicação foi implementada seguindo o modelo, e comparada por meio de simulação com duas outras da literatura. Os resultados mostraram que foi possível balancear a cobertura e o consumo de recursos da rede. Como trabalhos futuros, pretende-se implementar novas aplicações em que requisições devem ser explicitamente enviadas, além de avaliar o mecanismo de controle de incentivo.

6. Agradecimento

Este trabalho contou com o apoio do CNPq (573.738/2008-4 INCT NAMITEC) e CAPES (99999.002061/2014-07).

Referências

- Acer, U., Giaccone, P., Hay, D., Neglia, G., and Tarapiah, S. (2011). Timely data delivery in a realistic bus network. In *International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2011)*, pages 446–450, Shanghai, China. IEEE.
- Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2012). CRoWN: Content-Centric Networking in Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE Communications Letters*, 16(9):1380–1383.
- Borsetti, D., Fiore, M., Casetti, C., and Chiasserini, C.-F. (2011). An application-level framework for information dissemination and collection in vehicular networks. *Performance Evaluation*, 68(9):876–896.
- Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M. G., and Duarte, O. C. M. B. (2009). *Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios*, chapter 5, pages 199–254. Minicursos do XXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores.
- Cao, Y., Guo, J., and Wu, Y. (2014). Sdn enabled content distribution in vehicular networks. In *International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH)*, pages 164–169. IEEE.
- Cheng, L., Henty, B., Stancil, D., Bai, F., and Mudalige, P. (2007). Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 ghz dedicated short range communication (dsrc) frequency band. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(8):1501–1516.
- Costa-Montenegro, E., Quiñoy-García, F., González-Castaño, F., and 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., and Borsetti, D. (2013). Persistent Localized Broadcasting in VANETs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 31(9):480–490.
- Gerla, M., Wu, C., Pau, G., and Zhu, X. (2014). Content distribution in VANETs. *Vehicular Communications*, 1(1):3–12.
- Jiang, D. and Delgrossi, L. (2008). Ieee 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*, pages 2036–2040.

- Júnior, J. G. R., Quintanilha, I. M., Campista, M. E. M., and Costa, L. (2013). Sistema para monitoramento descentralizado de trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 863–876.
- Khabbaz, M. J., Fawaz, W. F., and Assi, C. M. (2012). Which Vehicle To Select? *IEEE Communications Letters*, 16(6):812–815.
- Malandrino, F., Casetti, C., Chiasserini, C.-F., and Fiore, M. (2014). Content download in vehicular networks in presence of noisy mobility prediction. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 13(5):1007–1021.
- Meneguette, R. I., Maia, G., Madeira, E. R., Pinto, A. R., Loureiro, A. A., and Villas, L. A. (2014). Um algoritmo autônomo para disseminação de informações em redes veiculares. In *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 911–924.
- Morgan, Y. L. (2010). Notes on dsrc & wave standards suite: Its architecture, design, and characteristics. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 12(4):504–518.
- 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., Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F. J., Cano, J.-C., Calafate, C. T., and Manzoni, P. (2015). Rtad: A real-time adaptive dissemination system for vanets. *Computer Communications*.
- Silva, F., Boukerche, A., Silva, T. R. M., Ruiz, L. B., Cerqueira, E., and Loureiro, A. A. (2014). Content replication and delivery in vehicular networks. In *ACM International Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, DIVANet '14, pages 127–132, New York, NY, USA. ACM.
- Silva, F. A., Boukerche, A., Silva, T. R. B., Ruiz, L. B., and Loureiro, A. A. (2016). Geo-localized content availability in vanets. *Ad Hoc Networks*, 36(1):425–434.
- Silva, F. A., Boukerche, A., Silva, T. R. M. B., Benevenuto, F., Ruiz, L. B., and Loureiro, A. A. F. (2015a). Odcrep: Origin-destination-based content replication for vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(12):5563–5574.
- Silva, V. B. C., Campista, M. E. M., , and Costa, L. H. M. K. (2015b). Uma estratégia de cache proativo para distribuição de conteúdo em redes veiculares. In *XXXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 403–416.
- Sommer, C., Eckhoff, D., German, R., and Dressler, F. (2010). A Computationally Inexpensive Empirical Model of IEEE 802.11p Radio Shadowing in Urban Environments. Technical Report CS-2010-06, University of Erlangen, Dept. of Computer Science.
- Trullols-Cruces, O., Fiore, M., and Barcelo-Ordinas, J. (2012). Cooperative Download in Vehicular Environments. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(4):663–678.
- Whitbeck, J., Lopez, Y., Leguay, J., Conan, V., and de Amorim, M. D. (2012). Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(5):682–697.
- Zeadally, S., Hunt, R., Chen, Y.-S., Irwin, A., and Hassan, A. (2012). Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges. *Telecommunication Systems*, 50(4):217–241.