

# Rede Ad Hoc Veicular Centrada em Interesses

Fabrcio B. Goncalves<sup>1,2</sup>, Felipe M. G. Franca<sup>1</sup>, Cláudio L. Amorim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação – COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, RJ – Brasil

<sup>2</sup>Núcleo de Sistemas Complexos – IFF-BJI – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Fluminense – Bom Jesus do Itabapoana, RJ – Brasil

fabricio.goncalves@iff.edu.br, {felipe, amorim}@cos.ufrj.br

**Abstract.** *In this paper, we propose a variation of the RAdNet for vehicular environments (RAdNet-VE). The proposal extends the message header, mechanism for registering interest, and message forwarding mechanism of RAdNet. Based on results obtained from simulation experiments, we compare the performance of RAdNet-VE against that of RAdNet, a basic content-centric (CCN) using reactive data routing, (CCN<sub>R</sub>), and a basic CCN using proactive data routing, (CCN<sub>P</sub>). These CCNs provide non-cacheable data services. The results shown that the performance of the RAdNet-VE was upper than those of the RAdNet, CCN<sub>R</sub> and CCN<sub>P</sub>. In this sense, RAdNet-VE protocol (RVEP) presented low latencies of communication among nodes, such as 20.4 ms using IEEE 802.11n radios in the scenario 1 and 2.87 ms using IEEE 802.11p radios in the scenario 2. Our network also presented high data delivery rates, i.e, 83.05% using IEEE 802.11n radios in the scenario 1 and 88.05% using IEEE 802.11p radios in the scenario 2.*

**Resumo.** *Neste trabalho, é proposta uma variação da RAdNet para ambientes veiculares (RAdNet-VE). A proposta estende o cabeçalho de mensagens, o mecanismo para registrar interesses e o mecanismo para encaminhamento de mensagens da RAdNet. Com base nos resultados obtidos a partir de experimentos de simulações, foi realizada uma comparação entre os desempenhos da RAdNet-VE, RAdNet, uma rede centrada em conteúdos (CCN) básica usando roteamento reativo de dados (CCN<sub>R</sub>) e uma CCN básica usando roteamento proativo de dados (CCN<sub>P</sub>). Estas CCNs forneceram serviços dados sem cache. Os resultados mostraram que o desempenho da RAdNet-VE foi superior aos da RAdNet, CCN<sub>R</sub> e CCN<sub>P</sub>. Neste sentido, RAdNet-VE apresentou baixas latências de comunicação entre nós, tais como 20.4 ms usando rádios IEEE 802.11n no cenário 1 e 2.87 ms usando rádios IEEE 802.11p no cenário 2. A RAdNet-VE também apresentou altas taxas de entrega, ou seja, 83.05% usando rádios IEEE 802.11n no cenário 1 e 88.05% usando rádios IEEE 802.11p no cenário 2.*

## 1. Introdução

Muitos métodos têm sido propostos para facilitar a comunicação entre os nós de redes *ad hoc* veiculares (VANETs - *Vehicular Ad Hoc Networks*) [Yu et al. 2013], mas o uso de modelos de pilhas de protocolos e esquemas de endereçamento, ambos projetados para redes centradas em IP (Internet Protocol), os tornam inadequados para ambientes veiculares altamente dinâmicos [Yu et al. 2013]. Por isto, Bai e Krishnamachari

[Bai and Krishnamachari 2010] têm argumentado a respeito de uma troca de paradigma de comunicação em redes veiculares.

Para este fim, alguns pesquisadores têm identificado as redes centradas em informação (ICNs - *Information-Centric Networks*) [Ahlgren et al. 2012] como um paradigma chave, pois elas oferecem uma solução atrativa para ambientes móveis e altamente dinâmicos tais como as VANETs. Entre os modelos arquiteturais encontrados na literatura de ICN, as redes centradas em conteúdos (CCNs - *Content-Centric Networks*) têm ganhado proeminência em trabalhos sobre redes veiculares [Arnould et al. 2011, Amadeo et al. 2012b, Amadeo et al. 2013, Wang et al. 2012b, Wang et al. 2012a]. Embora as CCNs sejam mais promissoras que os modelos centrados em IP em ambientes veiculares, existem algumas limitações quanto a adoção destas em projetos de VANETs. Por exemplo, a inundação da rede com pacotes de interesses cuja causa provém das políticas de encaminhamento de pacotes de interesses. Nestas, tais pacotes são encaminhados para todos os vizinhos de um nó, à medida que este os recebe. Isto possibilita o surgimento de broadcast storms. Além disto, o modelo da CCN usa estruturas de dados semelhantes às tabelas de roteamento e adota algoritmos similares ao AODV [Perkins and Baghawat 1994], DSR [Johnson and Maltz 1996] e GPSR [Karp and Kung 2000]. Tais algoritmos são vulneráveis em ambientes veiculares altamente dinâmicos devido a intermitência de caminho [Yu et al. 2013]. Por fim, embora existam estudos promissores no campo de redes veiculares, estes têm somente focado em cenários relacionados a serviços populares de dados compartilháveis [Yu et al. 2013]. Consequentemente, cenários em que aplicações precisam trocar um grande montante de dados sensíveis a atraso não têm sido estudados. Aplicações com estas características fazem uso de serviços de dados sem cache [Yu et al. 2013], tais como: controle de sinalizações semafóricas por meio da cooperação de veículos conectados, controle cooperativo e adaptativo de cruzeiro, entre outros.

Neste trabalho, é proposto um novo modelo de ICN para VANETs. Este modelo é uma variante da RAdNet (*InterRest-Centric Mobile Ad Hoc Network*) para ambientes veiculares, que é chamado de RAdNet-VE (*RAdNet for Vehicular Environments*). Neste modelo, cada nó usa um Prefixo Ativo para compensar a ausência de um mecanismo centrado em IP, eliminando a necessidade de identificar unicamente os nós e o custo de manutenção de estruturas de dados para manter informações de roteamento. O Prefixo Ativo é uma estrutura de dados simples, que é implementada na camada de rede de cada nó. Além disto, esta estrutura de dados é composta por dois campos, que são: prefixo do nó e interesse. O prefixo do nó é usado para a identificação do nó, endereçamento de mensagem e encaminhamento probabilístico de mensagens, enquanto o interesse é usado para pesquisa de nomes e formação de grupos de maneira distribuída. Os interesses são termos que tenham algum significado para aplicações, tais como dados e eventos inerentes aos ambientes rodoviários e urbanos. Além disto, o modelo proposto estende certas estruturas de dados e mecanismos da RAdNet, tais como o cabeçalho de mensagens, o mecanismo de registro de interesses e o mecanismo de encaminhamento de mensagens. Detalhes sobre estas extensões podem ser encontrados em [Gonçalves et al. 2016]. A partir das extensões, o protocolo de comunicação da RAdNet-VE (ou *RAdNet-VE Protocol*, RVEP) é capaz de encaminhar mensagens de acordo com as seguintes informações presentes no cabeçalho de mensagens: prefixo da origem da mensagem; interesse da aplicação; posição relativa do nó origem da mensagem; identificador da via onde os nós de rede (veículos

ou unidades de acostamento) estejam operando ; e direção de propagação das mensagens. Além disto, o RVEP também é capaz de limitar o escopo de comunicação, de acordo com os números de saltos registrados com seus respectivos interesses na camada de rede e o identificador da via em que o nó está operando, e implementar serviços de pertencimento de grupos de maneira distribuída por meio dos interesses presentes nas mensagens de rede. É importante salientar que os nós da RAd-Net-VE não fazem cache de dados e também não realizam processamentos intra-rede. Por fim, o projeto do RVEP baseou-se nos requisitos de comunicação de categorias de aplicações para VANETs propostos por Wilke et al. [Willke et al. 2009].

Para este trabalho, foram criados experimentos de simulação cujas construções se deram a partir de cenários de uso e protocolos de comunicação, usando o framework Veins [Sommer 2014]. Portanto, foram projetados dois cenários de uso para comparar o desempenho da RAdNet-VE contra o da RAdNet, uma CCN básica usando roteamento reativo de dados ( $CCN_R$ ) e uma CCN básica usando roteamento proativo de dados ( $CCN_P$ ). Tanto  $CCN_R$  quanto  $CCN_P$  fornecem serviços de dados sem cache. Além disto, os padrões dos rádios de comunicação adotados nos cenários de uso 1 e 2 foram respectivamente o IEEE 802.11n e IEEE 802.11p. Detalhes sobre os cenários de uso, assim como, a configuração dos parâmetros de simulação de cada um dos cenários podem ser encontrados em [Gonçalves et al. 2016].

Os resultados mostraram que o desempenho da RAdNet-VE apresentou baixas latências de comunicação entre nós, tais como 20.4ms (cenário 1) e 2.87ms (cenário 2). Ela também apresentou altas taxas de entrega, tais como 83.05% (cenário 1) e 88.05% (cenário 2). Com base nestes e outros resultados apresentados neste trabalho, argumenta-se que a RAdNet é uma alternativa viável às CCNs, uma vez que o RVEP satisfaz os requisitos de comunicação das categorias de aplicações para VANETs.

Em resumo, as principais contribuições deste trabalho são:

- A proposta de uma nova ICN cuja a troca de dados é baseada somente nos interesses de aplicações para VANETs;
- Extensões realizadas nas estruturas de dados e mecanismos da RAdNet, a fim de criar um protocolo de comunicação que satisfaça os requisitos de comunicação das categorias de aplicações para VANETs;
- A demonstração de viabilidade da RAdNet-VE como uma VANET cuja comunicação é centrada em interesses de aplicações. A demonstração de viabilidade da RAdNet advém da análise dos resultados de simulações de dois cenários de uso distintos. No primeiro cenário, foi avaliada a cooperação entre veículos e sinalizações semafóricas usando um modelo de rádio baseado no padrão IEEE 802.11n. No segundo cenário, foi avaliada a cooperação entre veículos, após estes receberem avisos sobre a presença de um obstáculo na via em que trafegam, usando o modelo de rádio baseado no padrão IEEE 802.11p.

Este artigo está organizado como segue. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o projeto da RAdNet. A Seção 4 apresenta brevemente as configurações dos experimentos. A Seção 5 apresenta uma análise dos resultados obtidos a partir dos experimentos de simulação. A Seção 6 apresenta uma discussão acerca dos requisitos de comunicação das categorias de aplicações para VANETs. Por fim, a Seção 7 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

Existem vários trabalhos em CCNs para VANETs. Dentre estes, os mais proeminentes foram conduzidos por Arnould et al. [Arnould et al. 2011], Amadeo et al [Amadeo et al. 2012b, Amadeo et al. 2013] e Wang et al. [Wang et al. 2012b, Wang et al. 2012a].

Arnould et al. [Arnould et al. 2011] aplicaram o modelo da CCN para disseminar informações críticas em uma VANET híbrida. Tal estudo propôs um mecanismo de entrega de dados chamado pacote de evento, que não requer o envio prévio de um pacote de interesse para que a entrega de dados aconteça. Desta forma, o publisher detecta eventos críticos, usando sensores embutidos em um veículo e, em seguida, transmite pacotes de evento contendo informações relacionadas a eventos sensíveis a atraso, tais como informações de acidentes, alertas de segurança e avisos de colisões. Porém, os autores modificaram a arquitetura original da CCN, para controlar a disseminação de pacotes de evento de acordo com largura de banda demandada por estes pacotes. Este aumento de complexidade pode causar falhas na entrega de dados em ambientes de alta demanda.

Amadeo et al. [Amadeo et al. 2012b, Amadeo et al. 2013] propuseram um framework para VANET que tem como base a arquitetura de uma CCN. De acordo com Amadeo et al. [Amadeo et al. 2012a], VANETs baseadas em CCN têm desempenho melhor que as VANETs baseadas em IP, quando se trata da transmissão de dados e do balanceamento de carga dos veículos na rede, além de sofrerem menos com a degradação de desempenho à medida que o volume de dados aumenta. Além disso, os autores dividiram os pacotes de interesse em dois subtipos, que são: interesse básico (B-Int) e interesse avançado (A-Int). Em ambos os trabalhos, B-Int foi usado quando um consumidor desejava descobrir fornecedores de conteúdo e requisitar o primeiro segmento de dados do conteúdo descoberto, enquanto o A-Int foi usado para requisitar os segmentos de dados restantes a partir dos fornecedores descobertos após o envio de B-Int. Os autores também introduziram uma nova estrutura de dados chamada de *content provider table* (CPT) para substituir a *forwarding information base* (FIB). A CPT foi usada para armazenar informações a respeito de fornecedores que já tenham sido descobertos e associa o endereço MAC destes nós com o conteúdo. Com esta mudança, os autores descartaram a principal premissa de uma CCN, que é a independência do conteúdo em relação a sua localização física. Tal ruptura conceitual pode levar ao comprometimento do suporte à mobilidade dos nós [Prates and Moraes 2014].

Wang et al [Wang et al. 2012b] apresentaram uma arquitetura de CCN, mas não consideraram os tipos de aplicações possíveis ou eventos que poderiam afetar significativamente sua arquitetura. Além disso, a arquitetura proposta não pode ser usada eficientemente em aplicações baseadas fortemente na comunicação veículo-a-veículo. Wang et al [Wang et al. 2012a] também propuseram um mecanismo de disseminação de pacotes para reduzir a latência da entrega de conteúdo. Este mecanismo utilizou temporizadores para coordenar o envio de pacotes entre os nós da rede. No entanto, Wang et al. não definiram limites para a disseminação de interesses em uma área geográfica, tornando persistente o problema de inundação de pacotes de interesses [Prates and Moraes 2014]. Por fim, a avaliação feita pelos autores não considerou como a mobilidade dos nós impactaria o mecanismo proposto.

A principal lacuna na literatura de CCN é a ausência de trabalhos que considerem

cenários baseados em aplicações que usam CCNs com serviços de dados sem cache [26]. Apesar disto, os trabalhos descritos nesta seção forneceram o substrato para construção de dois tipos básicos de CCNs com serviço de dados sem cache, são elas: (i)  $CCN_R$ : é uma implementação básica de uma CCN com serviços de dados sem cache, usando roteamento reativo de dados [Amadeo et al. 2012a, Yu et al. 2013]; (ii)  $CCN_P$ : é uma implementação básica de uma CCN com serviços de dados sem cache, usando roteamento proativo de dados [Wang et al. 2012a, Yu et al. 2013]. Estas CCNs foram criadas com intuito de comparar os seus desempenhos com o da nossa proposta.

### 3. Rede *Ad Hoc* Veicular Centrada em Interesses

Entender os requisitos de comunicação de categorias de aplicações para VANETs é fundamental durante a concepção de um protocolo de comunicação eficiente [Willke et al. 2009]. Neste sentido, o projeto da RAdNet-VE tem como objetivo satisfazer todos os requisitos de comunicação apresentados por [Willke et al. 2009], bem como, ser uma nova proposta de ICNs para VANETs, o RVEP um substituto do IP. Os detalhes de como o projeto da RAdNet-VE aborda os requisitos de comunicação das categorias de aplicações para VANETs e as propostas de extensões do cabeçalho de mensagem da RAdNet estão disponíveis em [Gonçalves et al. 2016].

Na Radnet-VE, todos os nós precisam ser inicializados antes de transmitirem qualquer mensagem. Durante a etapa de inicialização do nó, as seguintes variáveis de controle e estruturas de dados devem ser inicializadas: contador de mensagens enviadas; prefixo do nó, tabela de prefixos de origens e identificadores de mensagens recebidas; tabela para armazenamento de interesses e seus números máximos de saltos; tabela para armazenamento das posições relativas de vizinhos que esteja dentro do alcance de comunicação do rádio; lista de identificadores de via. Após as estruturas de dados terem sido inicializadas, o nó registra os interesses de aplicações com seus respectivos limites de saltos. Por fim, se o nó é uma unidade de acostamento, a lista de identificadores de via pode conter uma ou mais entradas, pois ele pode ser posicionado ao lado de uma ou mais vias. Por exemplo, se o nó é responsável pela notificação de obstáculos em uma rodovia, sua lista de identificadores deve conter somente uma entrada, uma vez que este nó só publica dados a respeito das condições de uma única rodovia. No entanto, se o nó for responsável pelo controle de uma sinalização semafórica em um cruzamento complexo, sua lista de identificadores de via deve conter mais de uma entrada. Neste caso, a lista deve conter entradas que correspondam a via de entrada para o cruzamento e as vias que saem deste. Se o nó é um veículo, a lista de identificadores deve conter somente uma única entrada, que é sempre atualizada quando o veículo troca de via.

Para um nó enviar uma mensagem, o protocolo de comunicação deve receber quatro dados de entrada, a saber: prefixo do destino, interesse, direção da mensagem e identificador da via. Estes dados devem ser passados pelas aplicações. Antes de enviar a mensagem para todos os seus vizinhos, o nó contrói a mensagem, executando os seguintes passos: (i) configurar o campo versão com a versão atual do protocolo; (ii) configurar o campo limite de saltos com valor 0; (iii) configurar o campo tamanho do cabeçalho com um número inteiro equivalente; (iv) configurar o campo direção com o dado de entrada correspondente; (v) configurar campo identificador com o valor atual do contador de mensagens enviadas; (vi) configurar o campo prefixo do destino com o dado de entrada correspondente; (vii) configurar o campo prefixo da origem com o prefixo do nó; (viii)

```

Input:  $msg_j$ 
1 if  $msg_j.ID \in idTable_i[msg_j.srcPrfx]$  then
2   | Discard  $msg_j$ ;
3 else
4   | Insert  $msg_j.ID$  into  $idTable_i[msg_j.srcPrfx]$ ;
5   |  $msg_j.hopLimit := msg_j.hopsLimit + 1$ ;
6   | if  $msg_j.hopLimit = 1$  then
7     | | Insert  $msg_j.position$  into  $posTable_i[msg_j.srcPrfx]$ ;
8     | end
9     | if  $msg_j.roadId \in roadIdentifiers_i$  then
10      | |  $positioning_i := calcPositioning(position_i, msg_j.position, msg_j.roadId)$ ;
11      | |  $fwdPrfx := prefix_i$ ;
12      | |  $dist := calculateDistance(position_i, msg_j.position, msg_j.roadId)$ ;
13      | | foreach  $position \in posTable_i$  do
14        | | | if  $calcPositioning(position, msg_j.position, msg_j.roadId) = msg_j.direction$  then
15          | | | |  $neighborDist := calculateDistance(position, msg_j.position, msg_j.roadId)$ ;
16          | | | | if  $neighborDist > dist \wedge neighborDist \leq radioRange/2$  then
17            | | | | |  $fwdPrfx := \text{Neighbor's prefix}$ ;
18            | | | | |  $dist := neighborDist$ ;
19            | | | | end
20          | | | end
21        | | end
22      | |  $intrstMch := msg_j.interest \in intrstTable_i$ ;
23      | |  $prfxMch := |prefix_i \cap msg_j.srcPrfx| > 0 \vee msg_j.destPrfx = \text{null}$ ;
24      | | if  $intrstMch = \text{true}$  then
25        | | | if  $msg_j.destPrfx = \text{null} \vee msg_j.destPrfx = prefix_i$  then
26          | | | | Send a copy of  $msg_j$  to application;
27          | | | end
28        | | end
29      | | if  $prfxMch = \text{true} \vee intrstMch = \text{true}$  then
30        | | |  $fwdMsg := msg_j.destPrfx = \text{null} \vee msg_j.destPrfx \neq prefix_i$ ;
31        | | |  $nodePos := fwdPrfx = prefix_i \wedge (positioning = msg_j.direction \vee msg_j.direction = 0)$ ;
32        | | |  $fwdHops := \text{false}$ ;
33        | | | if  $intrstMch = \text{true}$  then
34          | | | |  $fwdHops := msg_j.hopLimit < intrstTable_i[msg_j.interest]$ ;
35        | | | else
36          | | | |  $fwdHops := msg_j.hopLimit < intrstTable_i$ ;
37        | | | end
38        | | | if  $(fwdMsg \wedge nodePos \wedge fwdHops) = \text{true}$  then
39          | | | | Wait  $uniform(0, 1)/dist$ ;
40          | | | | Send  $msg_j$  to all neighbors $_i$ ;
41        | | | else
42          | | | | Discard  $msg_j$ ;
43        | | | end
44      | | else
45        | | | Discard  $msg_j$ ;
46      | | end
47    | else
48      | | Discard  $msg_j$ ;
49    | end
50 end

```

**Algoritmo 1:** Protocolo de comunicação da RAdNet-VE

configurar o campo posição relativa da origem a partir dos dados obtidos pelo dispositivo GPS embarcado no veículo; (ix) configurar o campo identificador de via com o valor de entrada correspondente; (x) configurar o campo interesse de com o dado de entrada correspondente.

Ao receber  $msg_j$ , o nó  $i$  executa o Algoritmo 1. O algoritmo primeiro checa se o identificador da mensagem ( $msg_j.id$ ) existe na tabela de prefixos de origens e identificadores de mensagens recebidas ( $idTable_i$ ). Se existir,  $msg_j$  é descartada. Caso contrário, o nó registra o identificador, usando o prefixo do nó que originou a mensagem, em ( $idTable_i$ ). Após isto, o algoritmo checa se o número de saltos da mensagem é igual a

1. Sendo verdade, o nó armazena o prefixo e a posição relativa da origem da mensagem contidos em  $msg_j$  na tabela de posições de vizinhos dentro do alcance de comunicação ( $posTable_i$ ). É importante salientar que o nó  $i$  mantém  $tabelaPos_i$  sempre atualizada, ou seja, se um vizinho deixa o alcance de comunicação do nó  $i$  por muito tempo, a entrada correspondente a ele é excluída de  $posTable_i$ .

Em seguida, o algoritmo verifica se o nó  $i$  trafega na mesma via que  $j$ . Isto é feito por meio da checagem da existência do identificador de via, contido em  $msg_j$ , na lista de identificadores de vias ( $roadIdentifiers_i$ ). Se isto for falso,  $msg_j$  é descartada. Caso contrário, é realizado o cálculo do posicionamento do nó em relação a origem da mensagem. O resultado do cálculo deve retornar -1 ou 1, tornando possível determinar se o nó que originou a mensagem está atrás ou a frente do nó  $i$ . A partir das posições relativas em  $tabelaPos_i$ , o nó  $i$  pode calcular se ele ou qualquer um de seus vizinhos é o nó mais distante da origem da mensagem. Após isto, o algoritmo descobre o prefixo do nó mais distante da origem da mensagem e atribui esta informação a  $fwdPrfx$ . Nos próximos dois passos, o algoritmo realiza o processo de checagem herdado da RAdNet. Portanto, ele primeiro checa se  $intrstTable$  tem uma entrada igual a  $msg_j.interest$  e, logo após, o algoritmo checa se o prefixo da origem contido na mensagem ( $msg_j.srcPrfx$ ) tem um ou mais campos cujos valores sejam iguais aos dos campos de mesma posição pertencentes ao prefixo do nó  $prefixo_i$ ; ou se o prefixo do destino da mensagem ( $msg_i.destPrfx$ ) é  $null$ . Então, se  $msg_j.interest$  existe em  $intrstTable_i$ , o algoritmo checa se o nó  $i$  é o destino de  $msg_j$ , ou se o prefixo do destino da mensagem é igual a  $null$ . Caso seja verdadeira tal checagem, o algoritmo cria uma cópia da mensagem e encaminha para a aplicação que tenha registrado um interesse igual ao contido na mensagem.

Antes de encaminhar mensagens para os vizinhos do nó, o algoritmo verifica se o casamento dos prefixos ou o casamento dos interesses é verdadeiro. Se ambos forem falsos, a mensagem é descartada. Caso contrário, o nó espera um tempo pequeno e, em seguida, encaminha a mensagem recebida para todos os vizinhos. Para tanto, três condições devem ser satisfeitas: (i) nó não é o destino da mensagem; (ii) nó é o mais distante da origem da mensagem e, o posicionamento do nó é igual ao campo de direção da mensagem ou o campo de direção da mensagem é igual a 0; (iii) a mensagem não alcançou o número máximo de saltos.

Na primeira condição, o algoritmo checa se o nó não é o destino da mensagem. Quando esta condição não é satisfeita, a mensagem alcançou o nó de destino. Na segunda condição, o algoritmo checa se o nó é o mais distante da origem da mensagem e, o posicionamento do nó permite o encaminhamento da mensagem ou a mensagem não tem restrição de encaminhamento por direção. Quando esta condição não é satisfeita, significa que existe um vizinho mais distante da origem da mensagem, ou o nó está na direção contrária a direção de propagação da mensagem. Na terceira condição, o algoritmo checa se a mensagem alcançou o número máximo de saltos. Quando o casamento dos interesses é verdadeiro, o algoritmo checa se o número de saltos da mensagem é menor do que o número máximo de saltos do interesse. Caso contrário, o algoritmo checa se o número de saltos da mensagem é menor que o número máximo de saltos do protocolo. Se uma das três condições for falsa, a mensagem é descartada.

Por fim, o tempo de espera para o encaminhamento de mensagem é calculado por meio do resultado de uma função de geração de números aleatórios da distribuição

uniforme entre 0 e 1, dividido pela distância entre o nó e a origem da mensagem (*dist*). Este tempo de espera é necessário, pois evita que os nós encaminhem muitas mensagens em instantes de tempo muito próximos. Outro ponto importante, é que à medida que uma mensagem se distancia de sua origem, menor é o tempo de espera para o encaminhamento da mesma.

#### 4. Experimentos

Neste trabalho, o framework Veins foi utilizado para implementar os protocolos de comunicação para RAdNet-VE, RAdNet, CCN<sub>R</sub> e CCN<sub>P</sub>. Além disto, este framework também foi utilizado para projetar e implementar dois cenários de uso. A descrição completa dos cenários de uso está disponível no relatório técnico em [Gonçalves et al. 2016]. O tempo das simulações foi fixado em 3600s. Os rádios de comunicação usados nos cenários de uso 1 e 2 foram respectivamente IEEE 802.11n e IEEE 802.11p.

No cenário 1, os rádios IEEE 802.11n tiveram a camada de acesso ao meio configurada com o protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). As Tabelas 1 e 2 listam as configurações adotadas para os rádios IEEE 802.11n.

**Tabela 1. Configuração dos rádios IEEE 802.11n**

Parâmetros	Valor
Potência de transmissão	158.48mW
Límite da atenuação de sinal	-90dBm
Frequência	5.0 GHz
Ruído térmico	-160dbm
Sensibilidade da camada física	-87dBm
Tamanho do cabeçalho PHY	128 bits
Alcance do rádio	200 m

**Tabela 2. Configuração adotada para o CSMA/CA**

Parâmetro	Valor
Tamanho da fila	100
Duração do <i>slot</i>	0.0005s
Difs	0.00011s
Número de tentativas de retransmissão	14
Taxa de transmissão	11.35 Mbps
Tamanho da janela de contenção	20
Tamanho do cabeçalho MAC	256 bits

No cenário 2, os rádios IEEE 802.11p tiveram a camada de controle de acesso ao meio configurada com o protocolo OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). As Tabelas 3 e 4 listam as configurações adotadas para os rádios IEEE 802.11p.

Nos experimentos usando a RAdNet-VE e a RAdNet, foram utilizados prefixos ativos compostos por oito campos com oito possibilidades. Cada nó criou aleatoriamente seu prefixo ao entrar na rede. Os interesses foram definidos pelas aplicações implementadas durante a construção dos cenários de uso. Detalhes sobre estes interesses estão disponíveis em [Gonçalves et al. 2016]. Para endereçar os nó das CCNs, foi utilizada a identificação de nó fornecida pelo Omnet++.



**Tabela 3. Configuração dos rádios IEEE 802.11p**

Parâmetro	Valor
Potência de transmissão	20mW
Limite da atenuação de sinal	-89dBm
Frequência	5.89 GHz
Ruído térmico	-110dbm
Sensibilidade da camada física	-89dBm
Tamanho do cabeçalho PHY	46 bits
Alcance do rádio	1000m

**Tabela 4. Configuração adotada para o OFDM**

Parâmetro	Valor
Duração do <i>slot</i>	0.00013s
Difs	0.00032s
Taxa de transmissão	18 Mbps
Tamanho da janela de contenção	15
Tamanho do cabeçalho MAC	256 bits

Nos experimentos usando a  $CCN_R$  e  $CCN_P$ , foram adotados nomes de serviços de dados, respeitando a seguinte estrutura para nomes: `uri://typeofprovider/geolocation/application/dataservicename`. A descrição de cada um dos componentes desta estrutura de nomes e a definição dos nomes de serviços de dados podem ser encontradas em [Gonçalves et al. 2016].

Além dessas configurações, também foi necessário configurar o número máximo de saltos para os mecanismos de encaminhamento de mensagens dos protocolos de comunicação da RAdNet-VE, RAdNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ . Os mecanismos de encaminhamento de mensagens foram configurados para permitir no máximo cinco saltos no cenário 1 e 50 saltos no cenário 2. De acordo com o Algoritmo 1, é necessário configurar um número máximo de saltos, para quando um nó receber uma mensagem cujo interesse contido nela não existe na tabela de interesses e números máximos de saltos. O valor adotado foi 50.

Para o cenário 1, foi contruída uma grade manhattan 3 x 3, com dezesseis interseções cujas distância entre elas foi de 300m. Além disto, a grade recebeu fluxos de 1500 veículos/hora em cada uma de suas oito entradas. O cenário também contou com 32 sinalizações semaforicas equipadas com rádios de comunicação. O número contabilizado de veículos para o cenário 1 foi de 600 veículos a cada 100s de simulação. Para o cenário 2, foi construída uma reta de 10 km cujo final possui um obstáculo. Este cenário contou com uma única unidade de acostamento. Além disso, a via recebeu um fluxo de 1500 veículos/hora. O número contabilizado de veículos para o cenário 2 foi de 250 veículos a cada 100s de simulação. Maiores detalhes sobre as configurações relacionadas ao uso do SUMO podem ser encontrados em [Gonçalves et al. 2016].

A validade dos dados trocados pelas aplicações implementadas para os cenários de uso é altamente dependente do tempo. Devido a estas características, as CCNs implementadas para os experimentos fornecem serviços de dados sem cache.

**Tabela 5. Resultados dos experimentos de simulação do cenário 1**

Redes	CMT(msgs)	LCN(ms)	TED (%)	NS(saltos)	AM(m)	TPM(s)
<b>RAdNet-VE</b>	$2,19 \times 10^5 \pm$	20,04 $\pm$	83,05 $\pm$	4	305,92 $\pm$	0,229 $\pm$
	$2,83 \times 10^4$	0,05	0,25		79,58	0,04
<b>RAdNet</b>	$1,12 \times 10^6 \pm$	29,92 $\pm$	79,19 $\pm$	5	576,39 $\pm$	0,231 $\pm$
	$1,35 \times 10^5$	0,05	0,65		113,60	0,045
<b>CCN<sub>R</sub></b>	$5,44 \times 10^6 \pm$	26,24 $\pm$	84,9 $\pm$	4	293,99 $\pm$	0,237 $\pm$
	$9,14 \times 10^5$	0,06	0,54		42,87	0,037
<b>CCN<sub>P</sub></b>	$1,49 \times 10^7 \pm$	46,69 $\pm$	73,09 $\pm$	4	429,39 $\pm$	0,252 $\pm$
	$2,77 \times 10^6$	0,08	1,57		110,67	0,038

**Tabela 6. Resultados dos experimentos de simulação do cenário 2**

Redes	CMT (msg)	LCN (ms)	TED (%)	NS (Saltos)	AM (m)	TPM (s)
<b>RAdNet-VE</b>	$7,86 \times 10^6 \pm$	2,87 $\pm$ 0,1	88,95 $\pm$	28 $\pm$ 5	9957,62 $\pm$	0,14 $\pm$
	$2,53 \times 10^6$		0,4		7,87	0,03
<b>RAdNet</b>	$1,06 \times 10^8 \pm$	36,52 $\pm$	16,81 $\pm$	30 $\pm$ 5	9983,73 $\pm$	1,29 $\pm$
	$6,17 \times 10^6$	4,0	0,4		28,14	0,21
<b>CCN<sub>R</sub></b>	$2,01 \times 10^7 \pm$	20,01 $\pm$	18,21 $\pm$	29 $\pm$ 4	9932,73 $\pm$	0,64 $\pm$
	$1,57 \times 10^6$	1,0	1,0		28,14	0,226
<b>CCN<sub>P</sub></b>	$1,97 \times 10^7 \pm$	23,04 $\pm$	35,59 $\pm$	29 $\pm$ 4	9937,73 $\pm$	0,73 $\pm$
	$2,09 \times 10^6$	4,0	0,15		37,78	0,209

## 5. Análise dos Resultados

O desempenho da RAdNet-VE foi comparado com os da RAdNet, CCN<sub>R</sub> e CCN<sub>P</sub>, usando as seguintes métricas:

- **Custo de Mensagens Trafegadas (CMT):** é o total de mensagens recebidas pelos nós (inclusos os nós destino e aqueles que as encaminharam);
- **Latência de Comunicação entre Nós (LCN):** é o tempo entre o envio de uma mensagem da camada de rede por um nó origem até a recepção da mensagem pela camada rede de um nó vizinho;
- **Taxa de Entrega de Dados (TED):** total de mensagens de dados recebidas dividido pelo total de mensagens dados enviadas;
- **Número de Saltos (NS):** consiste na número de vezes que as mensagens foram encaminhadas pelos nós;
- **Alcance das Mensagens (AM):** consiste na distância que as mensagens percorreram à medida que foram encaminhadas pelos nós;
- **Tempo de propagação de mensagens (TPM):** tempo gasto para uma mensagem alcançar uma determinada distância.

Os resultados são valores médios obtidos a partir dos experimentos de simulação, usando os protocolos de comunicação da RAdNet-VE, RAdNet, CCN<sub>R</sub> e CCN<sub>P</sub>. Os valores médios e seus desvios padrão são listados nas Tabelas 5 e 6.

Dentre as redes usadas nos experimentos de simulação, a RAdNet-VE foi a que gerou o menor custo de mensagens. No cenário 1, o número médio de mensagens gerado pela RAdNet-VE foi 5,12 vezes menor que o da RAdNet, 24,88 vezes menor que o da CCN<sub>R</sub> e 68,08 vezes menor que o da CCN<sub>P</sub>. No cenário 2, o valor médio de mensagens

gerados pela RAdNet-VE foi 13,51 vezes menor que o da RADNet, 2,55 vezes menor que o da  $CCN_R$  e 2,5 vezes menor que o da  $CCN_P$ . O baixo custo de mensagem da RAdNet-VE é consequência do mecanismo de encaminhamento de mensagens, que usa os valores dos campos posição relativa da origem da mensagem, direção e identificador de via para filtrar mensagens. O baixo custo de mensagens também resultou do mecanismo de registro de interesses. Este mecanismo registrou os interesses definidos pelas aplicações e limitou o número de saltos que as mensagens contendo tais interesses poderiam alcançar, à medida que foram encaminhadas pelos nós. Dessa forma, os nós não puderam transmitir mensagens além do número máximo de saltos, resultando também na redução do custo de mensagens. Devido ao baixo custo de mensagens, as mensagens não congestionaram os canais de comunicação dos rádios nos nós. Os benefícios do mecanismo de registro de interesses são mais evidentes no cenário 2, uma vez que a cooperação entre os veículos se dá entre os veículos pertencentes a uma mesma vizinhança de nós de rede.

Conforme listado nas Tabelas 5 e 6, a RAdNet-VE foi a rede que apresentou os menores valores médios de latência de comunicação entre nós. No cenário 1, a latência média de comunicação entre nós da RAdNet-VE foi 33,02%, 23,62% e 57,07% menor que as da RADNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ , respectivamente. No cenário 2, a latência média de comunicação entre os nós da RAdNet-VE foi 12,72 vezes, 6,98 vezes e 8,01 vezes menor que as da RADNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ , respectivamente. A baixa latência de comunicação resultou do baixo custo de mensagem.

No que diz respeito às taxas de entrega de dados,  $CCN_R$  foi a rede mais eficiente nas simulações do cenário 1. Apesar disto, a diferença entre os valores médios das taxas de entrega de dados da  $CCN_R$  e RAdNet-VE foi de 1,4%. Sendo assim, a RAdNet-VE ainda pode ser considerada a rede com o melhor desempenho durante as simulações do cenário 1, uma vez que ela produziu valores médios de custo de mensagens e latência de comunicação entre nós melhores que os produzidos pela  $CCN_R$ . Comparando os valores médios das taxas de entregas de dados da RAdNet-VE com os da RADNet e da  $CCN_P$ , a RAdNet-VE produziu ganhos de 5.06% e 13.62%, respectivamente. No cenário 2, RAdNet-VE foi a rede que produziu os melhores valores médios de taxas de entrega de dados. Neste sentido, ela produziu valores 5,29 vezes, 4,88 vezes e 2.49 vezes melhores que os da RADNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ , respectivamente. As excelentes taxas de entrega de dados da RAdNet-VE resultou do baixo custo de mensagens e da baixa latência durante as comunicações entre os nós.

De acordo com os dados listados nas Tabelas 5 e 6, somente a RADNet apresentou cinco saltos no cenário 1, enquanto as demais redes apresentaram quatro saltos. A RADNet produziu tal resultado, pois o seu protocolo de comunicação encaminhou todas as mensagens que passaram pelo filtro do mecanismo de encaminhamento de mensagens e com um número de saltos diferente de zero (veja o Algoritmo 1 em [Gonçalves et al. 2016]). Apesar deste resultado, a diferença entre o número máximo de saltos da RAdNet-VE e os das demais redes foi muito pequena, como pode ser visto na Tabelas 6.

De acordo com os dados listados na Tabela 5, as mensagens transmitidas pelos nós da RAdNet-VE atingiram um alcance médio de 305.92m durante as simulações do cenário 1. Isto mostrou que as mensagens se mantiveram dentro do escopo de comunicação estabelecido para o cenário 1, ou seja, as mensagens foram encaminhadas somente dentro

das vias onde os veículos trafegavam. Este resultado é consequência do uso de identificadores de vias como um dos mecanismos de definição de escopo comunicação. De acordo com a Tabela 6, as mensagens da  $CCN_R$  também se mantiveram dentro do escopo de comunicação da via em que os veículos trafegavam. No entanto, as mensagens tanto da RAdNet quanto da  $CCN_P$  não se mantiveram dentro do escopo de comunicação da via onde os veículos trafegavam. No cenário 2, as redes produziram valores médios muito próximos, conforme listado na Tabela 6. Estes resultados mostraram que os protocolos de comunicação das redes avaliadas neste artigo podem encaminhar mensagens a longas distâncias.

Os tempos médios de propagação de mensagens foram obtidos a partir dos tempos máximos gastos, quando as mensagens percorreram 300m no cenário 1 e 10000m no cenário 2. No cenário 1, as redes produziram medidas muito próximas. A diferença entre as medidas foi de aproximadamente 1ms. No entanto, no cenário 2, a RadNet-VE teve um desempenho melhor que as demais redes. Seu tempo médio de propagação de mensagens foi 9,12 vezes, 4,52 vezes e 5,16 vezes menor que o da RAdNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ , respectivamente. Isto é consequência da baixa latência de comunicação entre os nós da RAdNet-VE.

## 6. Discussão

Esta seção apresenta uma discussão acerca dos requisitos de comunicação das categorias de aplicações para VANETs e os resultados obtidos a partir dos experimentos de simulação. Esta discussão é apresentada nos parágrafos seguintes.

Quando uma aplicação precisa se comunicar em baixa latência, o protocolo de comunicação deve permitir que os nós se comuniquem com baixo *delay* [Willke et al. 2009]. De acordo com os resultados apresentados anteriormente, o RVEP apresentou comunicação com baixa latência. Os nós da RAdNet-VE não sofreram com mudanças de topologia de rede, uma vez que eles não precisam conhecer a topologia da rede, devido ao mecanismo de comunicação por interesses. Logo, não foi necessário utilizar mensagens de controle para obter e manter atualizados dados para rotear mensagens entre nós origem e nós destino, diminuindo o custo de mensagens do protocolo. Como consequência, uma parte da banda de comunicação não é consumida por mensagens de controle.

Quanto às altas taxas de entrega, aplicações precisam de um protocolo que seja capaz de entregar mensagens a um grupo de nós [Willke et al. 2009]. O RVEP atende parte deste requisito por meio do mecanismo de comunicação por interesse herdado do protocolo de comunicação da RAdNet. Além disto, o protocolo deve garantir uma alta probabilidade de entrega de mensagens. Para isto, inclusão dos campos posição relativa da origem da mensagem, direção e identificador de via no cabeçalho de mensagens da RAdNet, foi muito útil para reduzir o custo de mensagens no RVEP. A partir do uso destes campos, foi possível encaminhar mensagens, utilizando os nós mais distantes das origens das mensagens e nas direções de propagação de mensagens definidas pelas aplicações, fazendo com que os nós não encaminhem mensagens desnecessariamente. Um ponto positivo a respeito da utilização dos campos posição e direção é a capacidade do RVEP entregar mensagens, com valores menores em termos de número de saltos e custo de mensagens, quando comparados à RAdNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ . Outro ponto importante a

respeito do uso desses campos durante o encaminhamento de mensagens, é a capacidade do protocolo RVEP conseguir escalar em termos das distâncias em que as mensagens devem percorrer e densidade de veículos em um seguimento de via. Por fim, também foi positivo o uso de identificadores de via, pois estes permitem virtualizar as vias e torná-las canais de transmissão de mensagens de rede.

Aplicações para controle de movimento individual e de grupo operam em um escopo de comunicação bem definido, podendo ser simplesmente uma vizinhança de veículos ou uma pequena região dentro da rede. Para tanto, os protocolos de comunicação devem assegurar que a entrega seletiva de mensagens, que pode ser uma entrega baseada em trajetória, proximidade de veículo ou identificação do veículo. Com o registro do número máximo de saltos para os interesses e o uso de identificadores de vias, foi possível limitar o escopo de comunicação. Assim, as mensagens da RAdNet-VE tiveram seus encaminhamentos limitados aos números máximos de saltos de cada um dos interesses registrados na camada de rede dos nós e às vias onde tais nós estavam trafegando ou posicionados. Tal definição de escopo não pode ser feita na RAdNet,  $CCN_R$  e  $CCN_P$ .

Por fim, no que diz respeito ao baixo custo de mensagens para serviços de pertencimento a grupos, aplicações como aquelas para movimento de grupo precisam de um protocolo que as permita manter e atualizar estruturas de grupos persistentes. Devido a RAdNet-VE ser uma rede centrada em interesses, não é necessário levar em conta espaços de endereçamento e mecanismos centralizados ou distribuídos para gerenciamento de grupo. Como a RAdNet, RAdNet-VE baseia-se no modelo Publicador/Subscritor. Por meio do mecanismo de interesses em uma mensagem, a RAdNet-VE implementa serviços de pertencimento a grupos de maneira completamente distribuída e sem um alto custo de mensagens.

## 7. Conclusões

Neste trabalho, foi apresentada a proposta de uma nova ICN chamada de RAdNet-VE. Os resultados das simulações mostraram que RAdNet-VE pode ser uma alternativa viável às CCNs, uma vez que estas redes apresentaram um custo maior de mensagens e latências maiores de comunicação entre nós quando foram comparadas ao desempenho da RAdNet-VE. Além disto, os resultados das simulações dos dois cenários de uso mostraram que o RVEP é capaz de satisfazer os requisitos de comunicação das categorias de aplicações para VANETs. Como trabalhos futuros, pretende-se comparar o desempenho do RVEP contra protocolos para disseminar WSAs (*WAVE Service Advertisements*) e trocar dados por meio de WSMs (*WAVE Short Messages*).

## 8. Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPQ pelo financiamento deste trabalho.

## Referências

- Ahlgren, B., Dannewitz, C., Imbrenda, C., Kutscher, D., and Ohlman, B. (2012). A survey of information-centric networking. *IEEE Communications Magazine*, 50(7):26–36.
- Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2012a). Content-centric networking: Is that a solution for upcoming vehicular networks? In *Proceedings of the Ninth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking, Systems, and Applications*, VANET '12, pages 99–102, New York, NY, USA. ACM.

- Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2012b). Crown: Content-centric networking in vehicular ad hoc networks. *Communications Letters, IEEE*, 16(9):1380–1383.
- Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2013). Enhancing content-centric networking for vehicular environments. *Computer Networks*, 57(16):3222 – 3234.
- Arnould, G., Khadraoui, D., and Habbas, Z. (2011). A self-organizing content centric network model for hybrid vehicular ad-hoc networks. In *Proceedings of the First ACM International Symposium on Design and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications*, DIVANet '11, pages 15–22, New York, NY, USA. ACM.
- Bai, F. and Krishnamachari, B. (2010). Exploiting the wisdom of the crowd: localized, distributed information-centric vanets [topics in automotive networking]. *Communications Magazine, IEEE*, 48(5):138–146.
- Gonçalves, F. B., França, F. M. G., and Amorim, C. L. (2016). Radnet-ve: An interest-centric mobile ad hoc network for vehicular environments. Available at: <https://arxiv.org/abs/1604.00589>. Accessed in: 30 de abril de 2016.
- Jhonson, D. B. and Maltz, D. A. (1996). Dynamic source routing in ad hoc networks. *Mobile Computing*, 353:153–181.
- Karp, B. and Kung, H. T. (2000). Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '00, pages 243–254, New York, NY, USA. ACM.
- Perkins, C. E. and Bagawat, P. (1994). Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsv) for mobile computers. In *Proceedings of the Conference on Communications architectures, Protocols and Applications*, pages 234–244, New York, NY, USA.
- Prates, A. and Moraes, I. (2014). Geozone: Um framework eficiente de difusão de interesses em redes veiculares orientadas a conteúdo. In *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 163–176, Florianópolis, SC, Brasil.
- Sommer, C. (2014). Veins. Disponível em: <http://veins.car2x.org/>. Acessado em: 30 de abril de 2016.
- Wang, L., Afanasyev, A., Kuntz, R., Vuyyuru, R., Wakikawa, R., and Zhang, L. (2012a). Rapid traffic information dissemination using named data. In *Proceedings of the 1st ACM Workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design - Architecture, Algorithms, and Applications*, NoM '12, pages 7–12, New York, NY, USA. ACM.
- Wang, L., Wakikawa, R., Kuntz, R., Vuyyuru, R., and Zhang, L. (2012b). Data naming in vehicle-to-vehicle communications. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2012 IEEE Conference on*, pages 328–333.
- Willke, T. L., Tientrakool, P., and Maxemchuk, N. F. (2009). A survey of inter-vehicule communication protocols and their applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 11(2):3–20.
- Yu, Y.-T., Li, X., Gerla, M., and Sanadidi, M. (2013). Scalable vanet content routing using hierarchical bloom filters. In *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2013 9th International*, pages 1629–1634.