

Projeto e Análise de um Sistema Descentralizado e Local para Monitoramento de Trânsito Baseado em Dados Colaborativos

Thales T. Almeida, José G. R. Júnior, Fabrício A. Silva, Alyson Santos, José A. M. Nacif

Resumo— Em sistemas descentralizados, a falta de sincronismo entre os dispositivos pode resultar em informações inválidas e, conseqüentemente, decisões incorretas. Este artigo apresenta o DOCS4V, um sistema descentralizado para monitoramento de trânsito que minimiza a falta de sincronismo atribuindo tempos de vida relativos para as informações geradas, a serem interpretadas de acordo com o relógio local dos dispositivos. Unidades de Bordo e de Acostamento compartilham dados a fim de atualizar suas informações sobre as condições de trânsito, além de propagar alertas sobre obstáculos detectados. Para validar o DOCS4V, simulações utilizando o padrão IEEE 802.11p foram realizadas no NS-3. A comparação dos resultados com um GPS simulado mostra que o DOCS4V é preciso ao estimar as condições de trânsito e eficiente ao disseminar alertas sobre obstáculos com baixo atraso de rede, pequeno volume de tráfego e altos índices de quadros entregues com sucesso.

Abstract— In decentralized systems, the lack of synchronism among the devices may result in invalid information and hence incorrect decisions. This paper presents DOCS4V, a decentralized system for traffic monitoring that minimizes the lack of synchronism assigning lifetime to the generated information, which is managed according to the local clock of the device. Onboard and Roadside Units share data in order to update their information about the traffic conditions, in addition to propagate alerts about detected obstacles. We performed simulations using IEEE 802.11p in NS-3 to validate DOCS4V. The comparison of the results with a simulated GPS shows that DOCS4V is accurate to estimate the traffic conditions and efficient to spread alerts about obstacles with low network delay, small volume of traffic and high levels of successfully delivered frames.

I. INTRODUÇÃO

O aumento contínuo no número de veículos tem como principal consequência o aumento no número de congestionamentos. Em 2014, o prejuízo nos EUA foi de U\$160 bilhões por consequência de congestionamentos [16]. Uma vez que aumentar a infraestrutura das vias no mesmo ritmo não é viável, o avanço no uso de Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transportation Systems - ITS*) aparece como uma alternativa, possibilitando a execução de ações preventivas, como identificar áreas congestionadas e disseminar alertas de obstáculos. No entanto, a maioria das propostas é baseada em uma arquitetura centralizada, dependente de um elemento central [5]. Além de maior custo de implantação e manutenção, outra desvantagem destes sistemas está em depender de cobertura celular para divulgação dos dados na Internet.

Por não exigir grandes investimentos em infraestrutura, sistemas descentralizados aparecem como uma boa opção para o monitoramento de trânsito. No entanto, grande parte dos

sistemas propostos utilizam GPS para descartar informações consideradas obsoletas [6], implicando no aumento do consumo de bateria em dispositivos móveis. Outros dependem de conexão com a Internet para obter a localização dos veículos e divulgar as condições de trânsito [12]. Além disso, apesar da rapidez na disseminação de informações, sistemas baseados exclusivamente em redes *ad-hoc* [10] dependem que a densidade de veículos seja suficiente para que as informações sejam distribuídas com êxito. Em [14], os autores propõem um sistema descentralizado para monitoramento de trânsito que dispensa o uso do GPS como referência espacial e temporal. O envio das informações é feito exclusivamente via comunicação V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), utilizando os próprios veículos como enlaces de comunicação. A proposta não garante o privilégio de informações mais recentes, uma vez que nenhuma política para cálculo do tempo de vida da informação, ou TTL (*Time-to-Live*) foi definida. Além disso, como o sistema é baseado somente em comunicações V2I, a latência de divulgação dos dados é proporcional à velocidade dos veículos e maior que os 100 ms recomendados [19].

Com base no sistema apresentado em [14], neste artigo é proposto DOCS4V (*Decentralized and Offline Community-based System for Vehicles*), um sistema descentralizado que divulga as condições de trânsito por meio de comunicação V2I, bem como alertas sobre obstáculos via comunicação híbrida (V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) e V2I). DOCS4V não requer o uso de dispositivos GPS. Assim, cada Unidade de Bordo (*Onboard Unit - OBU*) é responsável por calcular sua velocidade média no trecho. Como a conexão entre Unidades de Acostamento (*Roadside Units - RSUs*) não é necessária, OBUs e RSUs trocam informações a fim de atualizar suas TCTs (Tabela de Condição de Trecho), que contém informações sobre cada trecho da via. Para tratar a falta de sincronismo e garantir a recenticidade das informações, DOCS4V estabelece tempos de vida (TTL) relativos para cada informação gerada, interpretados de acordo com o relógio local dos dispositivos. O TTL é dado em segundos e cada dispositivo é responsável por decrementá-lo, baseado no relógio local, até chegar a zero, quando a informação perde valor. Diferente da proposta de [14], onde o mecanismo de TTL fora sugerido sem que nenhuma política de cálculo do valor fosse estabelecida, no DOCS4V fora definida uma política para cálculo do valor do TTL em tempo de execução, utilizando os próprios dados contidos na TCT de cada veículo.

A Tabela I apresenta uma comparação entre as principais características do sistema proposto em [14] e o DOCS4V.

Experimentos foram realizados em cenários de larga escala, utilizando o simulador NS-3 e o padrão IEEE 802.11p. Os resultados mostram que é possível monitorar as condições de trânsito com acurácia e baixa latência, mesmo considerando

Thales T. Almeida, Fabrício A. Silva e José A. M. Nacif, Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa. José G. R. Júnior, Departamento de Informática, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Alyson Santos, Grupo de Teleinformática e Automação, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TABELA I
CARACTERÍSTICAS E CONTRIBUIÇÕES DO DOCS4V.

Recurso	Sistema Anterior	DOCS4V
Comunicação V2I	X	X
Comunicação V2V	-	X
Divulgação das Condições de Trânsito	X	X
Alerta de Incidentes na Estrada	-	X
Mecanismo para Cálculo do TTL	-	X
Avaliação em Cenários de Larga Escala	-	X
Avaliação Utilizando o Padrão IEEE 802.11p	-	X
Avaliação e Análise dos Aspectos de Rede	-	X

que somente 30% dos veículos estão equipados com OBUs.

O restante deste artigo possui a seguinte estrutura: a Seção II apresenta a arquitetura do DOCS4V, a Seção III detalha sua implementação e a Seção IV analisa os resultados experimentais. Por fim, a Seção V conclui o artigo e propõe os trabalhos futuros.

II. ARQUITETURA DO DOCS4V

A Figura 1 apresenta os elementos da arquitetura e o modo de operação do DOCS4V.

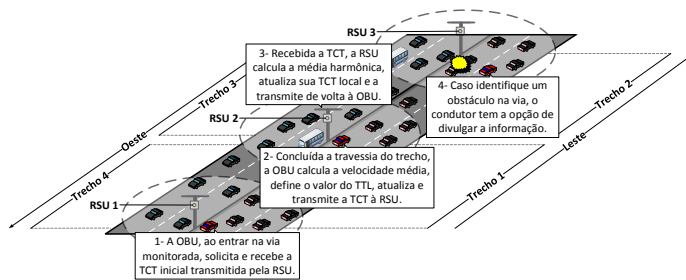


Fig. 1. Detalhes do modo de operação do DOCS4V em uma via monitorada.

A. Transmissão da TCT pela Unidade de Bordo

Ao passar pela RSU inicial e entrar no perímetro monitorado da via, a OBU solicita a TCT por meio de um quadro de requisição, permitindo ao condutor conhecer as condições de trânsito de toda a via. A OBU detecta que passou pela RSU quando recebe um *beacon* com RSSI (*Received Signal Strength Indication*) 0.5 dBm mais fraco que o maior RSSI recebido da mesma RSU. Este valor foi definido empiricamente, baseado nos resultados dos experimentos simulados apresentados na Seção IV.

No final do trecho, ao passar por uma RSU, a OBU calcula a velocidade média e define o TTL da informação. Por exemplo, na Figura 1, a condição de trânsito do trecho 2 será gerada quando a OBU passar pela RSU 3. Como a informação é transportada pelas OBUs da direção oposta, o TTL da informação é baseado na velocidade média para viajar até o último trecho desta direção (trecho 4). Esta informação deve viajar pelos trechos 3 e 4 para chegar à RSU 1.

B. Recepção da TCT pela Unidade de Acostamento

Após receber a TCT, a RSU compara cada linha da TCT recebida com sua TCT local com base no TTL e, se necessário, atualiza a informação sobre o trânsito. Como mencionado na

Seção II-A, o TTL é obtido considerando o tempo médio para que uma OBU (da direção oposta à direção da OBU que está emitindo a informação sobre o trecho) transporte a informação até o último trecho de sua direção. O processo inicia no trecho paralelo ao trecho atualmente percorrido pela OBU que está emitindo a informação sobre o trecho. A Equação 1 define como calcular o TTL.

$$TTL = \sum_{i=TP_A}^{TP_I} tempo_i \quad (1)$$

onde TP_A é o trecho paralelo ao trecho atualmente percorrido pela OBU que está emitindo a informação gerada no trecho, TP_I é o trecho paralelo ao trecho inicial da direção da OBU que está emitindo a informação, e $tempo_i$ é o tempo para percorrer cada trecho. Tais informações estão na TCT da OBU.

O sistema depende que haja um fluxo de veículos em ambas as direções para geração das velocidades médias nos trechos e, conseqüentemente, registro destas informações na TCT. Só assim será calculada a base de informações utilizada para cálculo do TTL por meio da consulta (na TCT) do tempo necessário para percorrer os trechos paralelos aos trechos já percorridos por um determinado veículo que está emitindo a condição de trânsito de um trecho. Assim, o valor do TTL só poderá ser calculado após pelo menos uma interseção de duas OBUs em direções opostas com uma RSU em comum. Neste momento ambas compartilharão suas TCTs, possibilitando o cálculo para pelo menos metade dos trechos.

Caso o TTL já tenha sido definido, o algoritmo do DOCS4V executado nas RSUs compara cada linha da TCT da RSU com as linhas correspondentes na TCT enviada pela OBU. As linhas da TCT da RSU, cujo TTL é menor que o TTL das linhas correspondentes na TCT da OBU, terão as informações sobre o respectivo trecho atualizadas.

C. Propagação de quadros de alerta de obstáculos

Além do monitoramento da condição de trânsito, DOCS4V também permite a divulgação da existência de obstáculos nas faixas. Em DOCS4V, este alerta é informado pelo condutor e se propaga via *broadcast*. O objetivo é permitir que os condutores troquem de faixa antecipadamente caso haja obstáculos em sua faixa atual.

Se um condutor detecta um obstáculo que ainda não existe na TCT, o mesmo tem a opção de registrá-lo. Caso a informação sobre o obstáculo já exista na TCT, significa que o alerta já fora propagado anteriormente, não sendo necessárias novas transmissões. Esta e outras restrições evitam a disseminação desnecessária de dados, amenizando os impactos do *broadcast storm* [18].

O quadro de alerta transmitido conterá, além da TCT, o trecho do obstáculo e o trecho atual do transmissor. O trecho do obstáculo é necessário para que apenas nós localizados entre o trecho inicial de sua direção e o trecho do obstáculo (na mesma direção) recebam e propaguem o alerta. Nós localizados em posições anteriores possuem trecho nulo, cujo valor só será válido após o recebimento da TCT pela RSU inicial. Caso o alerta esteja sendo propagado nesta região e alcance a OBU

que está entrando na via, a RSU inicial já conterà a informação do obstáculo, divulgado-a para a OBU via comunicação V2I e tornando descartável o alerta de um obstáculo já conhecido. Já o trecho atual do transmissor é usado para que apenas receptores em trechos anteriores (OBUs) ou iguais (RSUs) emitam quadros ACK (*Acknowledgement*), evitando a interrupção precoce de alertas não propagados a trechos anteriores ao obstáculo. Tais condições também minimizam o *broadcast storm*.

O alerta é propagado até o recebimento de um quadro ACK. OBUs que detectam um obstáculo transmitem a cada 100 ms. Demais nós transmitirão a cada segundo, para que seja gerado um menor volume de tráfego. Por se tratar de um elemento estratégico na disseminação de alertas, RSUs não cessam a transmissão após o recebimento de quadros ACK. Sua transmissão só é interrompida quando recebem uma TCT (via comunicação V2I) contendo informações sobre o obstáculo, de uma OBU da mesma direção deste, e cujo trecho em que estava ao receber o alerta seja duas vezes menor que o trecho da RSU em questão (valor de segurança, que confirma que a propagação do alerta pela via fora realizada com sucesso). RSUs instaladas na posição inicial de cada direção não transmitem o alerta periodicamente, já que neste momento a informação é acessível a todos os nós.

Caso o obstáculo tenha sido removido, mas ainda esteja na TCT, o condutor (ao concluir o trecho) tem a opção de anular esta informação.

III. DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO DO DOCS4V

Foram criados sete tipos de quadros para toda a troca de dados entre OBUs e entre OBUs e RSUs. As RSUs transmitem *beacons* periodicamente a cada 100 ms. Das informações contidas nos *beacons*, apenas o endereço MAC é utilizado pelo DOCS4V.

O padrão IEEE 802.11p é utilizado para transmissão de dados entre os nós nas simulações executadas no NS-3. OBUs e RSUs comunicam-se fora do contexto de um BSS, utilizando um BSSID (*Basic Service Set Identification*) coringa.

Neste artigo, foi definida uma EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) de 23 dBm, sem ganho de antena, simulando a menor potência entre todos os canais. A camada de enlace utiliza modulação baseada na multiplexação por divisão de frequência (*Orthogonal frequency-division multiplexing* - OFDM), taxa de 6 Mbps e largura de banda de 10 MHz. O limiar de energia do sinal recebido para uma correta detecção na camada física foi -95 dBm [7]. Utilizou-se o espectro de frequência na faixa de 5,9 GHz, de acordo com o padrão para aplicações DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) [8]. Como em [7], os cenários projetados neste artigo possuem características urbanas. Deste modo, foram utilizados os mesmos parâmetros do modelo de perda propagação Nakagami-m, que define o desvanecimento rápido no canal sem fio, integrado ao 3-Log-Distância, que permite determinar os expoentes de atenuação por faixa de distância entre transmissor e receptor.

Para gerar a mobilidade realística dos veículos, foi utilizado o modelo IDM (*Intelligent Driver Model*), em conjunto ao

modelo de troca de faixa MOBIL (*Minimizing Overall Braking decelerations Induced by Lane changes*) [1]. Neste artigo, os modelos foram modificados de forma a calcular dinamicamente a distância de segurança para o veículo à frente, baseado na velocidade dos veículos [3].

As simulações são baseadas na Marginal Tietê, localizada na cidade de São Paulo, SP. A escolha por esta avenida se justifica pelas suas características: 23 km de extensão, alta densidade de veículos, composição mista da frota e acidentes constantes. O volume total diário é de 350.000 veículos. A Tabela II apresenta os parâmetros fixos utilizados nas simulações.

TABELA II
PARÂMETROS DOS EXPERIMENTOS.

Parâmetros	Valor
Tempo de simulação	7.340 segundos
Bidirecional	Sim
Extensão da via	10.000 m
Número de faixas	2
Largura da faixa	5 m
Número de RSUs	19
Posição da primeira RSU	500 m
Distância entre as RSUs	500 m
Número de trechos	36
Percentual de carros	83%
Percentual de caminhões	17%
Velocidade máxima (carros) [13]	90 km/h
Velocidade máxima (caminhões) [13]	70 km/h
Densidade de OBUs	33%
Obstáculos na via	Sim

Foram simulados 10 dos 23 km de extensão da Marginal Tietê. Este valor foi baseado no algoritmo de roteamento do Waze [20], que calcula todas as possíveis rotas em 10 km a partir da posição do veículo.

Para avaliar o DOCS4V, considera-se um acidente em cada direção (trecho 9 da direção leste e 27 da direção oeste) durante a simulação. Obstáculos são simulados com base no total de acidentes, cerca de 1,5 por dia [17]. Dado que um acidente típico obstrui a faixa por aproximadamente 45 minutos [15] e que o tempo de simulação é de cerca de 2 horas (7.340 segundos), os acidentes simulados bloqueiam a faixa por 3 minutos.

A densidade de OBUs foi definida com base no Waze. Em São Paulo, existem mais de 7 milhões de veículos em circulação [4] e, aproximadamente, 2,5 milhões de usuários ativos do Waze [11]. Assim, em cada cenário, foram configurados somente 33% dos veículos colaborando com o sistema.

Para comparar a acurácia do DOCS4V, um GPS que informa a posição quatro vezes por segundo foi simulado. A condição gerada pelo GPS é calculada usando a mediana das velocidades de todos os veículos no trecho.

IV. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados de 10 repetições dos experimentos. As simulações foram executadas em computadores Intel Core i5 3.20 GHz, com 4 GB de memória RAM.

A. Atraso de rede para cada quadro

A Figura 2 apresenta o desvio padrão do tempo médio de atraso para cada tipo de quadro utilizado pelo DOCS4V no

monitoramento do trânsito (*beacons* não são considerados). De acordo com o consórcio VSC (*Vehicle Safety Communications*), o atraso total para aplicações de segurança em redes veiculares deve ser inferior a 100 ms por salto [19]. Em [9], os autores apresentam um algoritmo para disseminação de alertas que utiliza um número fixo de nós com privilégio de retransmissão, permitindo baixa sobrecarga da rede e atrasos inferiores a 100 ms. Assim como em [9], a média do atraso total de rede para transmissão de alertas no DOCS4V (inferior a 10 ms em média) é muito inferior ao recomendado para aplicações de segurança em redes veiculares e três ordens de grandeza menor que os resultados obtidos nos experimentos realizados em [14]. Cabe ressaltar que, diferente de [9], no DOCS4V a disseminação de alertas não é completamente dependente da densidade de OBUs, já que as RSUs mantém a propagação dos alertas ativa mesmo quando não há OBUs em seu perímetro de transmissão.

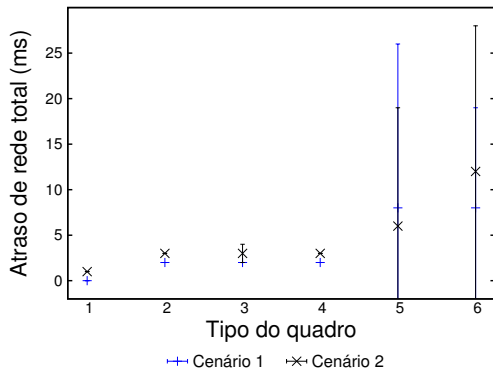


Fig. 2. Atraso total de rede e tamanho para cada tipo de quadro.

B. Tempo para disseminação de alertas

O tempo para que a informação sobre um obstáculo chegue às RSUs iniciais foi, em média, de 219 ms para a direção leste e 187 ms para oeste. Cerca de 30 saltos foram necessários. Os resultados são altamente satisfatórios considerando a distância entre o obstáculo e a RSU inicial, de 4.5 km.

Por ser uma informação menos crítica, e com o objetivo de minimizar a sobrecarga causada por transmissões via *broadcast*, o alerta de remoção de um obstáculo é transportado e atualizado nas RSUs iniciais por OBUs atuando como enlaces de comunicação. Deste modo, o tempo necessário para disseminar a informação sobre a remoção de um obstáculo é superior: 256 s em média para ambas as direções.

C. Vazão agregada dos fluxos de dados

A Figura 3 apresenta a vazão agregada, calculada como o somatório das vazões de todos os nós da rede (OBUs e RSUs), o que possibilita avaliar a taxa de ocupação do canal em cada zona de comunicação. Conceitua-se como zona de comunicação o parâmetro compreendido pelo diâmetro de cobertura de cada RSU.

Como é possível perceber, a vazão agregada aumenta devido à eventual disseminação de alertas via *broadcast*.

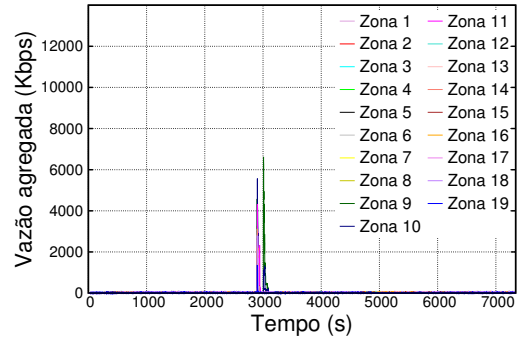


Fig. 3. Vazão agregada dos nós a cada segundo de simulação.

Este resultado é considerado satisfatório, já que, graças às restrições impostas pelo DOCS4V no que se refere à recepção e propagação de alertas, o processo completo de disseminação via *broadcast* dura apenas alguns segundos em cada zona de comunicação. Esses resultados mostram que, na maior parte do tempo, DOCS4V não impacta no funcionamento de outras aplicações utilizadas simultaneamente.

D. Estatísticas da entrega de quadros

A Figura 4 apresenta as estatísticas da entrega para cada quadro utilizado pelo DOCS4V. Novamente, *beacons* não são considerados. Em transmissões baseadas na comunicação V2I (quadros 1 a 4), a taxa de entrega com sucesso é próxima de 100%. Nestes cenários, OBUs estão localizadas em regiões próximas as RSUs. Nestas posições, o RSSI atinge seu nível máximo, proporcionando uma SINR (*Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio*) composta de uma quantidade de sinal válido muito superior à quantidade de interferência e ruído.

Nos demais casos (propagação de alertas e transmissão de quadros ACK), a comunicação pode ser realizada entre dois nós em posições geográficas distantes. Como o sinal enfraquece com a distância, a relação de interferência e ruído passa a ser superior ao sinal de interesse. Para estes quadros, o valor médio da SINR foi 2,72 dB em ambos os cenários.

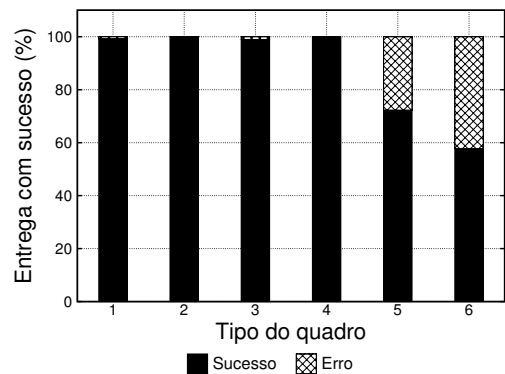


Fig. 4. Estatísticas de entrega para cada tipo de quadro.

Apesar de menor, o índice de alertas sobre obstáculos entregues com sucesso é superior a 70%, resultado aceitável para comunicações de segurança, conforme definido em [2]. A taxa de entrega de aproximadamente 60% para quadros

ACK também é considerada aceitável, uma vez que não compromete a disseminação dos alertas de obstáculos, bem como a conclusão do processo de disseminação via *broadcast*.

E. Taxa de acurácia do DOCS4V

Três intervalos foram definidos para classificar as condições de trânsito: abaixo de 40 km/h (lenta); entre 40 e 80 km/h (intermediária); e acima de 80 km/h (rápida). Considera-se uma boa precisão quando as condições de trânsito inferidas pelo DOCS4V e pelo GPS estão no mesmo intervalo. Para o cenário simulado, são analisadas:

- Taxa de acurácia global: comparação entre todas as condições de trânsito geradas por DOCS4V e pelo GPS simulado;
- Taxa de acurácia no trecho atualmente percorrido pela OBU: comparação da velocidade média no trecho atual, definida por DOCS4V, e pelo GPS simulado;
- Taxa de acurácia de veículos fantasma: veículos que recebem a TCT da RSU inicial assim que entram na via, e não participam do processo de troca nos momentos seguintes. Sua única função é comparar a condição em cada um dos trechos presentes na TCT que recebeu inicialmente, verificando se as condições recebidas correspondem à condição encontrada ao passar pelos respectivos trechos.

Os resultados apresentam uma acurácia global de 96% quando comparado aos resultados obtidos pelo GPS, mesmo com obstáculos, baixa densidade de OBUs e variações de velocidade. A acurácia aumenta para 98% à medida que se avalia informações próximas à posição da OBU (no trecho atualmente percorrido pela OBU). A acurácia de veículos fantasma também é superior a 90%, permitindo ao motorista planejar a melhor rota de maneira segura ao entrar na via.

V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou DOCS4V, um sistema descentralizado para monitoramento e divulgação das condições de trânsito. DOCS4V utiliza um mecanismo de atribuição de tempos de vida relativos para cada informação gerada, interpretados de acordo com o relógio local dos dispositivos, que minimiza a falta de sincronismo inerente à sistemas descentralizados. Condições de trânsito são armazenadas em tabelas compartilhadas entre OBUs e RSUs via comunicação V2I. Caso um obstáculo seja detectado pelo condutor, alertas são propagados em tempo hábil via *broadcast* aos demais interessados.

A escalabilidade do DOCS4V em cenários reais foi avaliada. Utilizando o padrão IEEE 802.11p e apenas 33% dos veículos colaborando com o sistema, ambientes com alto número de veículos, composição mista da frota e obstáculos foram projetados. A acurácia do sistema é altamente satisfatória, superior a 90%, comparada aos dados de um GPS. O volume de tráfego gerado é muito pequeno, já que somente um quadro é necessário para divulgar informações sobre a via. O atraso total para transmissão de alertas é de cerca de 10 ms, muito inferior ao recomendado para aplicações críticas em redes veiculares.

Como trabalhos futuros, pretende-se estender as funcionalidades da TCT, implementando mecanismos que auxiliem a atuação de veículos preferenciais (carros de polícia e ambulâncias). Pretende-se ainda realizar experimentos práticos utilizando o 802.11p.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Hadi Arbabi and Michele C. Weigle. Highway Mobility and Vehicular Ad-Hoc Networks in ns-3. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2010.
- [2] Xianbo Chen, Hazem H Refai, and Xiaomin Ma. A quantitative approach to evaluate dsrc highway inter-vehicle safety communication. In *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM'07. IEEE*, pages 151–155. IEEE, 2007.
- [3] Yuan-Lin Chen, Kun-Yuan Shen, and Shun-Chung Wang. Forward collision warning system considering both time-to-collision and safety braking distance. In *ICIEA'13*, pages 972–977, 2013.
- [4] DENATRAN. Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo os Municípios. Disponível em <http://www.denatran.gov.br>, 2015. Acessado em fevereiro de 2016.
- [5] Cheng Feng, Kai Li, Zhijun Li, and Shouxu Jiang. A Compressed Sensing Approach to Monitor Urban Traffic with Data Aggregation in VANETs. In *ICCPW'14*, pages 380–386, 2014.
- [6] Marco Gramaglia, Maria Calderon, and Carlos Bernardos. ABEONA Monitored Traffic: VANET-Assisted Cooperative Traffic Congestion Forecasting. *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, 9(2):50–57, 2014.
- [7] Dayro AB Hernandez, Dianne SV Medeiros, Miguel Elias M Campista, and P Pedroza Aloysio de Castro. Uma Avaliação da Influência da Velocidade dos Nós no Estabelecimento de Caminhos em Redes Ad Hoc Veiculares. In *SBRC'15*, pages 431–444, 2010.
- [8] Daniel Jiang and Luca Delgrossi. IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *VTC'08*, pages 2036–2040, 2008.
- [9] DH Lee, SN Bai, DY Kwak, and JI Jung. Enhanced selective forwarding scheme for alert message propagation in vehicular ad hoc networks. *International Journal of Automotive Technology*, 12(2):251–264, 2011.
- [10] Ilias Leontiadis, Gustavo Marfia, David Mack, Giovanni Pau, Cecilia Mascolo, and Mario Gerla. On the effectiveness of an opportunistic traffic management system for vehicular networks. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 12(4):1537–1548, 2011.
- [11] Imprensa Mídia. Aberto para publicidade, Waze atrai atenção do mundo automotivo. Disponível em <http://portalimprensa.com.br>, 2015. Acessado em fevereiro de 2016.
- [12] Marco Picone, Michele Amoretti, and Francesco Zanichelli. A decentralized smartphone based traffic information system. In *IV'12*, pages 523–528, 2012.
- [13] Marcelo Chaim Rezk. Alterações no perfil da frota de veículos de carga urbana em decorrência das restrições a circulação de caminhões na cidade de São Paulo. Master's thesis, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, SP, jun 2013. Escola de Administração de Empresas de São Paulo.
- [14] Jose G Ribeiro Junior, Miguel Elias M Campista, and Luis Henrique MK Costa. A decentralized traffic monitoring system based on vehicle-to-infrastructure communications. In *Wireless Days (WD), 2013 IFIP*, pages 1–6. IEEE, 2013.
- [15] Andrea Schrage. Traffic congestion and accidents. *Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft*, 419, 2006.
- [16] David Schrank, Bill Eisele, Tim Lomax, and Jim Bak. 2015 Urban Mobility Scorecard. Technical report, Texas Transportation Institute., ago 2015.
- [17] Jilmar Tatto. Redução de velocidade nas marginais. Technical report, Prefeitura de São Paulo., jul 2015.
- [18] Yu-Chee Tseng, Sze-Yao Ni, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. *Wireless networks*, 8(2-3):153–167, 2002.
- [19] VSC. Vehicle Safety Communications Project Task 3 Final Report. Technical report, U.S. Department of Transportation., mar 2005.
- [20] Waze. Routing server. Disponível em <https://wiki.waze.com>, 2015. Acessado em fevereiro de 2016.