AVALIAÇÃO DE ASPECTOS DE DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÃO EM REDES VEICULARES *AD HOC*

Santiago Cardoso, Adriano Fiorese

INTRODUÇÃO

O crescente número de veículos circulando nas vias tornou a mobilidade complexa e sujeita a interrupções (Damjanović *et al*., 2022). A comunicação confiável e oportuna de eventos críticos é essencial para que as autoridades de gerenciamento de tráfego e motoristas tomem decisões informadas para mitigar seus impactos. Em resposta a essa necessidade, as Redes Veiculares *Ad Hoc* (VANETs) são empregadas para identificar os melhores veículos para disseminar essas informações.

Nesse contexto, dada a complexidade das VANETs e os fatores que influenciam suas operações, a credibilidade veicular é chave para o sucesso da entrega das mensagens. Propõe-se que essa credibilidade seja avaliada por meio do cálculo de um Índice de Credibilidade em Retransmissão (ICR) em que a seleção do veículo retransmissor ideal envolve a análise de múltiplos critérios. Para abordar essa multiplicidade de fatores, justifica-se o uso de Métodos de Decisão Multicritério (MCDM) (Ishizaka; Nemery, 2013). Para este trabalho, o AHP (Saaty, 1987), o PROMETHEE (Vincke; Brans, 1985) e a TOPSIS (Hwang; Yoon, 1981) foram selecionados.

Dessa forma, este trabalho propõe um método para selecionar retransmissores de alertas de trânsito em VANETs. A contribuição central é a aplicação de uma arquitetura e comparação de métodos MCDM para agregar critérios de credibilidade, transformando-os em uma pontuação, denominada de Índice de Credibilidade em Retransmissão (ICR), que fundamenta a seleção do retransmissor de forma robusta e contextualizada.

DESENVOLVIMENTO

Em VANETs, quando eventos críticos de trânsito são detectados fora do alcance de uma Estação de Beira de Estrada (RSU), o veículo detector encaminha a mensagem por comunicação Veículo-para-Veículo (V2V) através de nós intermediários até a RSU. Dessa forma, o desempenho da VANET depende diretamente da qualidade do retransmissor selecionado. Assim, o ICR é uma proposta para solucionar a problemática descrita, fornecendo um modelo estruturado capaz de disponibilizar um valor (pontuação ou score) que pode ser utilizado para realizar a seleção do melhor retransmissor.

Para isso, o ICR utiliza de critérios para sua modelagem e consequente cálculo (realizado pelos MCDM) das pontuações atribuídas aos veículos. Os critérios são categorizados por dois tipos: métricas dinâmicas e físicas da rede (Direção (θ), Velocidade no *Cluster* (C), Distância até a RSU (D), Número de Vizinhos (N) e Velocidade (V)) e critérios contextuais e semi-estáticos acessíveis na VANET (Ano de fabricação do Veículo (A), Eficiência Energética (E), Tempo de Habilitação para Condução x Idade do Motorista x Potência do Veículo (I), Tempo Dirigido no Dia (T) e Modelo de Veículo (M)).

Para este trabalho, foi implementada uma arquitetura multinível em cinco etapas, conforme Figura 1: 1) definição offline da ponderação dos critérios elencados pelo tomador de decisão; 2) início da fase online (em tempo real) da solução proposta; 3) cálculo das pontuações ICR das alternativas (veículos), pelos métodos MCDM, para seleção do retransmissor; 4) utilização da entrada do nível anterior para produzir uma decisão robusta e consensual; e 5) geração de relatórios de todo o processo de análise da arquitetura, com base nos *logs* coletados.

RESULTADOS

A avaliação da arquitetura para seleção de veículos retransmissores para transmitir mensagens de alerta sobre eventos críticos de trânsito foi conduzida por meio de experimentação baseada em simulação. De forma a realizar as experimentações propostas, cenários de simulação foram projetados utilizando o simulador de redes NS-3 (Henderson *et al*., 2008), o simulador de tráfego SUMO (Lopez *et al*., 2018), o cenário de tráfego LuST (Codeca; Frank; Engel, 2015) e os sistemas MINUET (Andrade et al., 2020) e SOCIABLE (Yury *et al*., 2020).

A topologia da rede viária e a mobilidade dos veículos reflete o comportamento realista dos condutores da cidade de Luxemburgo. Assim, as simulações utilizaram janelas de tempo correspondentes aos períodos específicos de alta e baixa densidade de tráfego. Esses recortes temporais garantiram variações de tráfego ideais para testar a lógica do ICR e da arquitetura de seleção multicritério em diferentes níveis de estresse da rede. Para avaliar a adaptabilidade da arquitetura proposta e o funcionamento da rede, o posicionamento da infraestrutura de trânsito e do evento crítico variou conforme as características de cada região simulada.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que não existe uma solução universalmente superior para VANETs. A Tabela 1 apresenta um exemplo de cálculo das pontuações ICR para cada método em um agrupamento de dez veículos. Nesse viés, o desempenho ideal está relacionado à topologia viária e à densidade da rede. Para cenários esparsos e altamente fragmentados, como em um ambiente de zona residencial, o método PROMETHEE mostrou-se a alternativa mais eficaz. Sua metodologia baseada em limiares de tolerância permitiu uma seleção oportunista, aproveitando quaisquer veículos viáveis para atuarem como retransmissores. Para cenários com alta densidade veicular, o método AHP destacou-se. Sua metodologia baseada em comparações par-a-par estabilizou o cenário volátil e selecionou eficazmente os melhores retransmissores, garantindo que veículos prestes a realizar conversões e abandonar a via principal não fossem selecionados. Por outro lado, o método TOPSIS revelou-se altamente especializado para cenários de superadensamento veicular, como o centro urbano da cidade. Sua metodologia baseada no cálculo de distâncias euclidianas para soluções ideais e anti-ideais foi capaz de garantir o avanço geométrico da mensagem. Por fim, a Contagem de BORDA demonstrou sua robustez como uma estratégia que busca o consenso entre os métodos, principalmente em cenários de média a alta densidade, anulando falhas de decisões extremas. Apesar disso, em ambientes de escassez extrema de veículos que forçam os algoritmos a decisões divergentes, o consenso da BORDA perde sua eficácia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos, validados por meio de extensas simulações, o ICR quantificou e selecionou com sucesso os veículos retransmissores mais adequados na rede, identificando consistentemente aqueles (dentre os disponíveis) com características superiores. Uma descoberta fundamental da análise realizada foi que, embora os três métodos MCDM tenham se mostrado eficazes, suas diferenças matemáticas e filosóficas levaram a variações nas classificações finais, comprovando que não existe uma solução universalmente superior para todas as situações de tráfego

Como trabalhos futuros, propõe-se a evolução do ICR para uma abordagem adaptativa em resposta ao contexto local da rede com base na densidade e no tipo de via identificados pelos sensores do veículo. Esta evolução tornaria o sistema autônomo e resiliente a perturbações em qualquer ambiente de cidades inteligentes. Adicionalmente, sugere-se realizar a análise do *overhead* da comunicação.

Palavras-chave: VANETs; retransmissor; multicritério; multinível; QoS.

ANEXOS

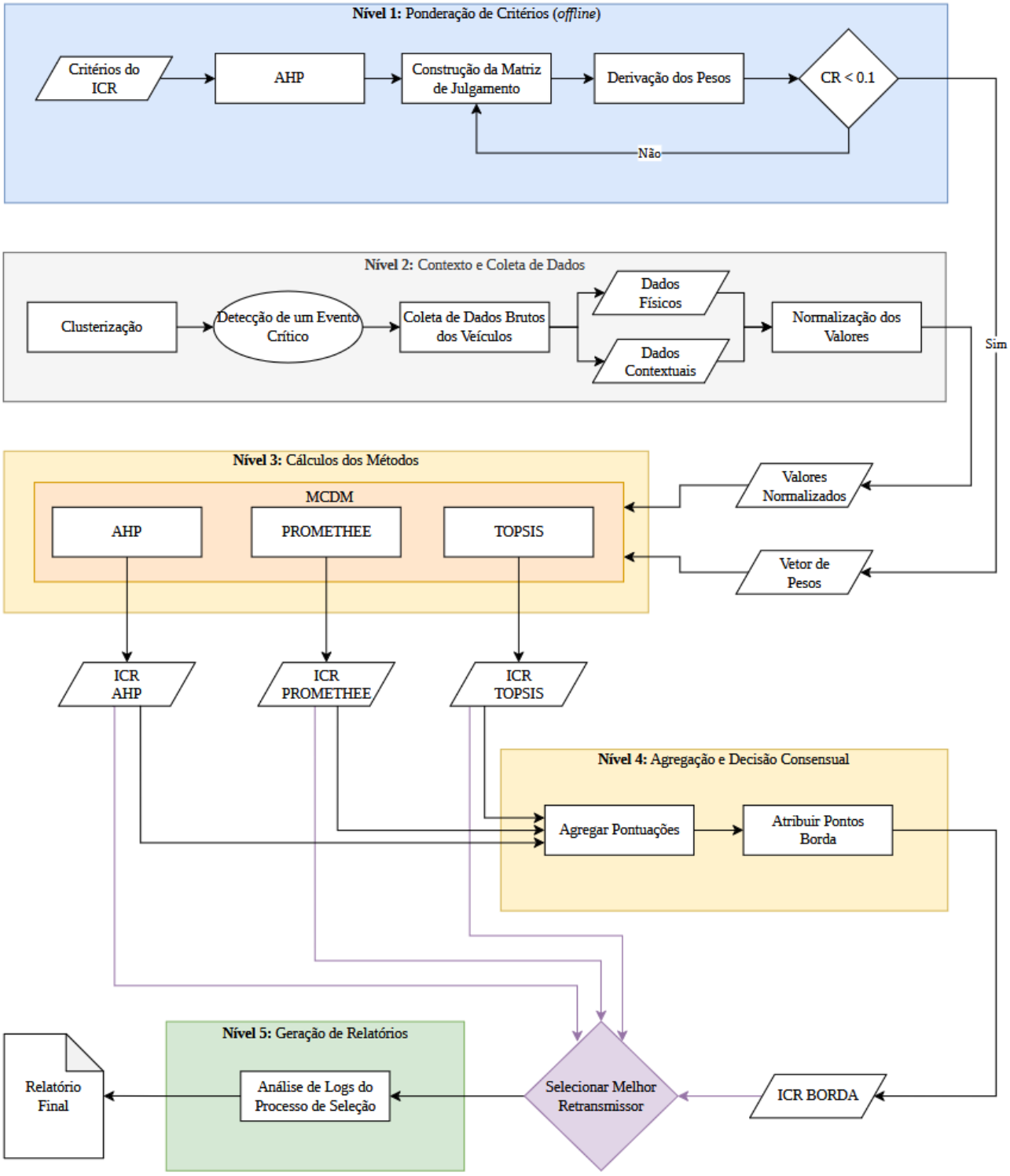


Figura 1. *Arquitetura.*

Tabela 1. *Cálculo do ICR com as Pontuações Finais dos Métodos.*

Veículo	Critérios (Valores Normalizados)										Pontuação ICR			
	θ	C	D	N	V	A	E	I	T	M	AHP	PROMETHEE	TOPSIS	BORDA
46	0.000	0.000	0.045	0.185	0.000	1.000	0.200	0.125	1.000	0.250	0.020	-0.621	0.108	2
92	0.637	1.000	0.693	0.148	0.250	1.000	1.000	1.000	1.000	0.250	0.064	0.148	0.521	30
86	0.000	0.000	0.000	0.148	0.000	0.500	0.700	1.000	1.000	0.250	0.019	-0.606	0.104	1
103	0.965	0.750	0.815	0.259	0.500	0.500	0.200	1.000	0.750	0.750	0.081	0.452	0.645	44
134	0.945	0.250	0.966	0.407	0.250	0.750	1.000	0.750	0.750	0.250	0.077	0.353	0.682	43
96	0.112	0.750	0.398	1.000	0.250	0.500	0.200	1.000	0.750	0.500	0.065	-0.045	0.521	25
111	0.000	0.750	0.339	0.704	0.500	0.750	0.400	0.625	1.000	0.250	0.055	-0.202	0.428	9
67	0.000	0.000	0.659	0.481	0.000	0.750	0.800	0.625	0.250	0.250	0.045	-0.265	0.449	7
112	0.001	0.750	0.549	0.815	0.500	0.750	0.200	0.875	1.000	0.500	0.067	-0.015	0.530	32
130	0.522	1.000	0.689	0.037	0.250	0.750	0.700	0.875	1.000	0.250	0.057	-0.025	0.479	17

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAMJANOVIĆ, Milanko et al. Impact of the number of vehicles on traffic safety: multiphase modeling. **Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering**, v. 20, n. 1, p. 177–197, 2022.

ISHIZAKA, Alessio; NEMERY, Philippe. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

SAATY, Roseanna W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical modelling**, Elsevier, v. 9, n. 3-5, p. 161–176, 1987.

VINCKE, Jean Pierre; BRANS, Philippe. A preference ranking organization method. the PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647–656, 1985.

HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981. v. 186. (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, v. 186). ISBN 978-3-642-48318-9.

HENDERSON, Thomas R et al. Network simulations with the NS-3 simulator. In: **Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 Conference**. [S.l.: s.n.], 2008. Demonstration Paper.

LOPEZ, Pablo Alvarez et al. Microscopic traffic simulation using sumo. In: **2018 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)**. IEEE, 2018. p. 2575–2582. Disponível em: https://elib.dlr.de/127994/.

CODECA, Lara; FRANK, Raphaël; ENGEL, Thomas. Luxembourg SUMO traffic (LuST) scenario: 24 hours of mobility for vehicular networking research. In: IEEE. **2015 IEEE vehicular networking conference (VNC)**. [S.l.], 2015. p. 1–8.

ANDRADE, Everaldo et al. Cooperative monitoring and dissemination of urban events supported by dynamic clustering of vehicles. **Pervasive and Mobile Computing**, Elsevier, v. 67, p. 101244, Sep 2020. ISSN 1574-1192. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157411922030095X.

YURY, Alisson et al. Social-based cooperation of vehicles for data dissemination of critical urban events. In: IEEE. **GLOBECOM 2020 - IEEE Global Communications Conference**. [S.l.], 2020. p. 1–6.