

Avaliação de desempenho de uma arquitetura VANET V2I através de modelagem estocástica

Firmino Azevedo Neto[‡], Glauber Dias Gonçalves[‡],
Paulo Antonio Leal Rego[◊] e Francisco Airton Pereira da Silva[‡]

¹ ‡ Universidade Federal do Piauí (UFPI)
◊ Universidade Federal do Ceará (UFC)
Brasil

{faps, ggoncalves}@ufpi.edu.br, pauloalr@ufc.br

Abstract. *Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) have rapidly evolved with the evolution of telecommunications. Performing experiments on real VANETs requires expensive equipment. This paper evaluates the performance of a VANET architecture using stochastic Petri net (SPN) models. The proposed models calculate the mean response time, resource utilization, probability, and the number of request drops.*

Resumo. *As VANETs (Veicular Ad Hoc Networks) tem avançado rapidamente com a evolução das telecomunicações. Realizar experimentos reais em VANETs exige equipamentos de alto custo. Este artigo apresenta uma avaliação de desempenho de uma arquitetura VANET utilizando modelos de redes de Petri estocásticas (SPN). Os modelos propostos calculam o tempo médio de resposta, utilização de recursos, probabilidade e número de descartes de mensagens.*

1. Introdução

As VANETs são redes veiculares móveis que emergiram devido ao crescimento das tecnologias de comunicação sem fio. As VANETs foram projetadas para melhorar a eficiência do tráfego de veículos [Fernandes et al. 2013]. Existem duas categorias de comunicação neste contexto. A primeira, também conhecida como V2V (*Vehicle to Vehicle*), onde carros se comunicam diretamente. A segunda, também conhecida como V2I (*Vehicle to Infrastructure*), onde ocorre a comunicação entre automóveis e estações fixas (infraestruturas) localizadas nas margens das ruas e estradas. O presente artigo foca na segunda categoria, V2I, que possui uma limitação com relação à capacidade da infraestrutura de responder satisfatoriamente a requisições paralelas de múltiplos veículos.

Avaliar o desempenho é um aspecto fundamental na concepção, aquisição e utilização de uma arquitetura VANET, onde um dos objetivos é atingir o melhor desempenho minimizando o custo. O conhecimento de determinadas estatísticas é essencial para o planejamento de uma VANET eficiente. Porém, é interessante avaliar arquiteturas VANETs com simulação ou modelagem analítica, evitando gastos com infraestruturas reais. Nesse contexto, redes de Petri estocásticas se tornam uma alternativa adequada para avaliação de desempenho deste tipo de sistemas. Eles permitem modelar e avaliar desempenho de sistemas envolvendo concorrência, não-determinismo e sincronização.

Este artigo apresenta um modelo SPN para modelar uma arquitetura VANET. O modelo proposto permite avaliar a utilização de uma Road Side Unit (RSU), tempo médio de resposta (MRT), o número de descarte e a probabilidade de descarte de mensagens.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta alguns trabalhos relacionados à avaliação de VANETS. Na apresentação dos trabalhos foram destacadas as correlações e diferenças com o trabalho proposto. A Tabela 1 exibe um resumo comparativo dos trabalhos relacionados com o trabalho atual. Nenhum dos trabalhos adota a métrica número de mensagens descartadas, nem todos os trabalhos aplicam modelos SPN e apenas alguns trabalhos focam em V2I. O trabalho mais próximo da presente proposta é dos autores em [Junior et al. 2017]. Uma das diferenças deste trabalho para o trabalho de Junior et al. está no tipo de serviço avaliado da RSU. No trabalho de Junior et al., apenas o serviço de envio de dados pela RSU foi considerado pelos autores. No nosso trabalho nós consideramos a captação das mensagens advindas dos veículos, o processamento destas mensagens e posterior envio (broadcast) para os veículos do perímetro de alcance da rede.

Tabela 1. Trabalhos relacionados com este artigo

Artigo	Modelo Analítico de Avaliação	Métricas	Tipo de Comunicação
[Malik and Pandey 2018]	Markov Chain	Tempo para distribuição de pacotes/ Probabilidade de colisão de pacotes	V2V
[Li et al. 2013]	Markov Chain	Probabilidade de colisão de pacotes/ Vazão/ Tamanho de fila	V2I
[Li et al. 2017]	Markov Chain	Tamanho de fila/ Perda de pacotes/ MRT/ Vazão	V2I (broadcast)
[Shirani and Hendessi 2008]	Markov Chain	Disponibilidade	V2V
[Alheeti et al. 2016]	Fuzzy Petri Net	Segurança	Não especificado
[Jahanian et al. 2015]	Colored Petri Nets	Segurança	V2V
[Zhang et al. 2016]	Stochastic Petri Net	Nível de sucesso em encontrar estacionamento	V2I
[Louazani and Sekhri 2016]	Stochastic Petri Net	Tempo para distribuição de pacotes	V2V
[Junior et al. 2017]	Stochastic Petri Net	Utilização da RSU/ MRT/ Probabilidade de descarte	V2I (broadcast)
O presente artigo	Stochastic Petri Net	Utilização da RSU/ MRT/ Probabilidade de descarte/ Número de mensagens descartadas	V2I (considera mensagem de entrada dos carros)

3. Arquitetura e Modelo

A Figura 1 apresenta a arquitetura VANET que propomos analisar o desempenho a partir do nosso modelo SPN. Essa figura representa uma parte importante de uma VANET, que é a comunicação (V2I) entre veículos munidos de OnBoard Unit (OBU) dentro da área de cobertura de uma RSU. A comunicação V2I nessa arquitetura está dividida em 3 etapas. Na primeira etapa OBUs enviam mensagens para uma RSU provendo informações sobre o veículo ou sobre a via. A seguir, as mensagens são processadas para, por exemplo, agrupar informações e extrair um resumo mais informativo. A seguir, na terceira etapa, os dados processados na RSU são retransmitidos às OBUs presentes na área de cobertura. Dada esta visão geral, o objetivo deste trabalho é responder à seguinte pergunta: **Qual a configuração mais adequada do aparelho RSU para atender a uma determinada demanda de mensagens?** Os recursos atrelados a tal configuração refere-se à quantidade de canais disponíveis e capacidade de processamento paralelo da RSU em questão.

É importante ressaltar que diferente do modelo proposto em [Junior et al. 2017], consideramos uma arquitetura onde a RSU processa dados provenientes dos veículos e retransmite esses dados para veículos que estão em seu alcance. Esse é um aspecto de suma

relevância para o setor de transportes inteligentes, pois a RSU tem um papel fundamental nessa arquitetura, que é intermediar troca de informações entre os veículos. Portanto, ao considerar a retransmissão de dados, avaliamos de forma mais realística o desempenho da infraestrutura V2I de uma VANET para informar aos motoristas as condições do trânsito, prover recursos de mídia, controle de congestionamento, alertas de acidentes, e etc.

A Figura 2 apresenta o modelo SPN para a arquitetura anteriormente detalhada. O foco do nosso modelo é auxiliar engenheiros e analistas a avaliarem com rapidez o desempenho de uma VANET, em particular a comunicação V2I. Esse modelo está organizado em duas partes principais: a sub-rede *Admission* representa a geração das mensagens, ao passo que a sub-rede RSU representa a comunicação e distribuição das informações entre veículos.

Dado a visão geral do modelo, descrevemos agora detalhes do seu funcionamento. A sub-rede *Admission* é composta por dois lugares: $P_Arrival$ e $P_InputQueue$. $P_Arrival$ representa o estado do sistema esperando novas mensagens serem geradas. $P_InputQueue$ representa a aceitação dessas mensagens na fila de entrada no sistema. Os tokens em $P_Arrival$ e $P_InputQueue$ representam quaisquer tipos de mensagens que envolvam entrada de dados e que possam ser distribuídos. Os tempos entre chegadas de trabalhos são atribuídos à transição AD (*arrival delay*). Apesar de considerarmos que os tempos entre disparos são exponencialmente distribuídos, tal suposição pode ser modificada, alterando a distribuição. A sub-rede *Admission* também não considera o atraso proveniente da transmissão do cliente para o sistema. A transição AD leva em conta apenas o tempo que as mensagens entram no sistema, ou seja, não são levadas em conta as perdas provenientes da rede. A transição imediata $T0$ representa simplesmente a entrada de mensagens no sistema. Como esta transição é imediata, não apresenta atraso associado à sua execução.

A sub-rede RSU é composta por três etapas: transmissão, processamento e retransmissão. Nas três etapas existe um tempo associado. Na primeira etapa, a mensagem é transmitida para a RSU. Na segunda etapa, a mensagem é processada pela RSU. Na terceira etapa a mensagem é retransmitida para as OBUs. Quando $T0$ dispara, a sub-rede RSU é alcançada, um token é retirado de $P_InputQueue$ e $P_TransmitCap$. A quantidade de tokens em $P_Transmit$ representa o enfileiramento de mensagens a serem enviados para a RSU. O enfileiramento ocorre quando não há capacidade disponível para enviar a mensagem recém-chegada. Em $P_Transmit$ a mensagem espera um tempo associado à transição $T_Transmit$ para a mensagem passar para a segunda etapa. A segunda e terceira etapas seguem a mesma ideia desta primeira etapa. As marcações $RSUTC$, $RSUPC$, e $RSURC$ representam a quantidade de recursos disponíveis para trans-

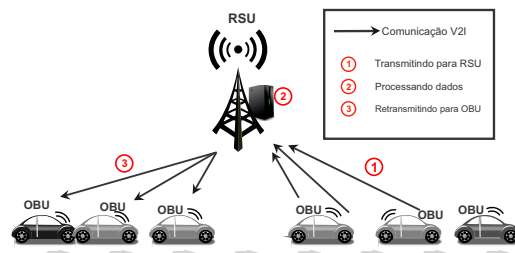


Figura 1. Arquitetura VANET V2I

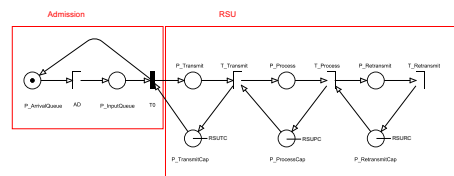


Figura 2. Modelo SPN para a arquitetura VANET

mitir, processar e retransmitir mensagens, respetivamente.

4. Estudos de Caso

Nesta seção apresentamos as métricas para avaliar diferentes parametrizações da arquitetura V2I de uma VANET com o modelo proposto. Apresentamos também um cenário realístico como exemplo de aplicação prática do modelo.

4.1. Métricas

Utilizamos o modelo SPN apresentado na seção anterior para obter as métricas de interesse para a avaliação de desempenho. Especificamente, calculamos o tempo médio de resposta (ou comunicação V2I), erros de comunicação de dado pela probabilidade/número de descartes de mensagens de veículos ao sistema, e por fim, o nível de utilização da RSU. Descrevemos a seguir como obtemos cada uma dessas métricas com o modelo SPN.

O tempo médio de resposta (*MRT*) pode ser obtido a partir da Lei de Little [Little 1961]. A Lei de Little relaciona o número médio de requisições em progresso em um sistema (*RequestsInProgress*), a taxa de chegada (*ArrivalRate*) e o tempo médio de resposta (*MRT*). A taxa de chegada é o inverso do tempo de chegada. Considerando a transição para tempo entre chegadas do modelo, temos que $ArrivalRate = \frac{1}{AD}$. Vale ressaltar que a Lei de Little requer um sistema estável, ou seja, que possua uma taxa de requisições menor que a taxa de processamento dos servidores. A equação para calcular *MRT* é portanto: $MRT = (Esp(P_Transmit) + Esp(P_Process) + Esp(P_Retransmit)) \times AD$. $P(Lugar = n)$ calcula a probabilidade de existirem *n* tokens em “Lugar”. $Esp(Lugar)$ indica quantos tokens ocupam aquele Lugar.

No modelo é possível ter noções sobre o nível de utilização do sistema, o que permite saber qual a configuração correta dos equipamentos da arquitetura. Com essa noção, é possível saber, sem gastar recursos reais, se o valor que o projetista pretende investir em recursos está acima ou abaixo da quantidade necessária. Imagine que um projetista esteja, por exemplo, planejando uma infraestrutura VANET e precisa saber o nível de utilização. O projetista sabe a média de veículos que trafegam na via e quer que a infraestrutura apresente 50% de sua capacidade. O projetista configura os parâmetros no modelo e nossa modelagem vai informar a utilização que o sistema apresentará. A equação para utilização da RSU é: $URSU = \frac{Esp(P_Process)}{RSUC} \times 100$

Em uma rede veicular, um ou vários descartes no sistema pode fazer com que o veículo saia do alcance de uma RSU sem obter informações sobre a estrada. Com a modelagem proposta, é possível saber qual a porcentagem e qual o número de mensagens descartadas no sistema. Para calcular o descarte é necessário existir token na fila de entrada $P_Arrival$ e não restar mais nenhum recurso disponível dentro dos nós. A equação que define a probabilidade de descarte é dada por: $Discard = P((P_Input_Queue = 1) \wedge (P_Transmit = 0) + \wedge(P_Process = 0) \wedge P_Retransmit = 0)$ A Equação $DiscardNumber = P((P_Input_Queue = 1) \wedge (P_Transmit = 0) + \wedge(P_Process = 0) \wedge P_Retransmit = 0) \times (1/AD)$ define o número de mensagens descartadas em um determinado período de tempo *T*.

4.2. Considerações Práticas

Nesta seção demonstramos a utilização do nosso modelo a partir de um cenário prático onde avaliamos o desempenho de uma determinada configuração da arquitetura, variando

a carga de trabalho do sistema, ou seja, crescimento do tráfego de veículos na área de cobertura da infraestrutura V2I.

Assumimos uma RSU instalada em uma via urbana típica onde o tráfego de veículos varia ao longo do dia. Assim temos diferentes tipos de tráfego por período de tempo, indo de leve (tráfego nas madrugadas) a pesado (tráfego no fim do expediente comercial, 17 às 18hs). Cada veículo tem uma OBU que segue o padrão 802.11p/WAVE. A RSU também segue esse padrão e está habilitada para se conectar a cada um dos veículos em sua área de cobertura. No entanto a RSU possui limitações de recursos, incluindo um número limitado de canais de transmissão retransmissão e threads de processamento de mensagens.

Para representar um tipo de tráfego em um intervalo de tempo, assumimos intervalos entre chegadas de mensagens na RSU seguindo distribuição exponencial, então variamos o parâmetro dessa distribuição para obter o crescimento dos tempos entre chegadas, ou seja, tráfego pesado para leve. Os parâmetros de configuração do modelo foram os seguintes: $AD = [1.0\text{ms a } 19.0\text{ms, acréscimos de } 1.0]$, $T_{\text{Transmit}} = 3.5\text{ms}$, $T_{\text{Process}} = 10.5\text{ms}$, $T_{\text{Retransmit}} = 2.5\text{ms}$, $RSUTC = 5$, $RSUPC = 5$, $RSURC = 5$.

Dados essas definições, apresentamos quatro análises numéricas a partir da resolução do modelo SPN para exemplificar como um projetista de uma VANET pode utilizar o modelo para dimensionar adequadamente a configuração dessa rede. A Figura 3 apresenta os resultados para as 4 métricas analisadas neste trabalho. O MRT (Figura 3a) possui um comportamento ascendente no início devido ao alto gargalo de mensagens e decresce logo depois. A Figura 3b apresenta a probabilidade de descarte de novas mensagens. Conforme o tempo de chegada das mensagens aumenta, a probabilidade de haver descarte no dispositivo diminui. A partir do $AD = 10.0$ as chances de haver descarte é zero. A Figura 3c apresenta o número de descartes que ocorreram no sistema em um determinado período de tempo T . Pode-se observar que quanto maior o tempo entre chegadas, menor é o número de mensagens descartadas. A Figura 3d apresenta o nível de utilização dos recursos de processamento da RSU. Quando o tempo entre chegadas aumenta para 6.0ms , o nível de utilização tende a cair.

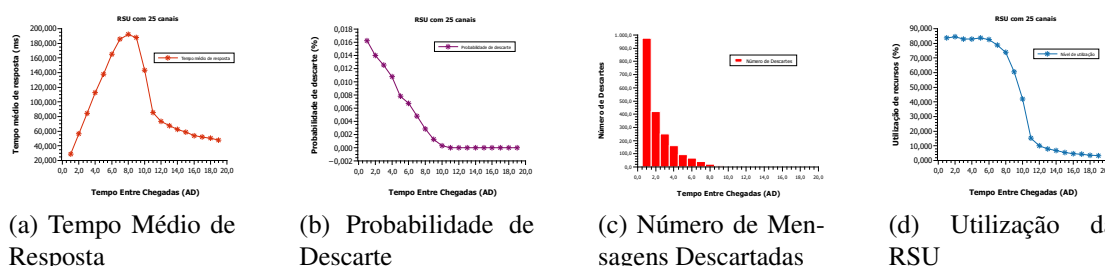


Figura 3. Resultados das Análises Numéricas

5. Conclusão

Este trabalho propôs um modelo SPN para representar e avaliar o desempenho de uma arquitetura VANET V2I. O modelo permite estimar o MRT, o nível de utilização de uma RSU, a probabilidade de descarte e o número de mensagens descartadas. O projetista pode configurar vários parâmetros de entrada no modelo, o que permite um alto nível

de flexibilidade de avaliação. A análise numérica permitiu observar o comportamento das quatro métricas (MRT, utilização, probabilidade de descarte e número de descarte) em função da variação do tempo entre chegadas de novas mensagens. Como trabalhos futuros, pretendemos estender o modelo para explorar a comunicação entre OBUs sem infraestrutura intermediária, ou seja, arquiteturas V2V.

Referências

- Alheeti, K. M. A., Gruebler, A., McDonald-Maier, K. D., and Fernando, A. (2016). Prediction of dos attacks in external communication for self-driving vehicles using a fuzzy petri net model. In *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 502–503. IEEE.
- Fernandes, C. P. et al. (2013). Um sistema de reputação descentralizado para avaliar a confiança dos nós em redes veiculares.
- Jahanian, M. H., Amin, F., and Jahangir, A. H. (2015). Analysis of tesla protocol in vehicular ad hoc networks using timed colored petri nets. In *2015 6th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, pages 222–227. IEEE.
- Junior, A. L., Matos, R., Silva, B., and Maciel, P. (2017). Exponential modelling for supporting vanet infrastructure planning. In *2017 IEEE 22nd Pacific rim international symposium on dependable computing (PRDC)*, pages 86–91. IEEE.
- Li, B., Hu, B., Liu, R. P., and Chen, S. (2013). Modeling and qos analysis of ieee 802.11 broadcast scheme in vehicular ad hoc networks. In *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 6444–6448. IEEE.
- Li, B., Sutton, G. J., Hu, B., Liu, R. P., and Chen, S. (2017). Modeling and qos analysis of the ieee 802.11 p broadcast scheme in vehicular ad hoc networks. *Journal of Communications and Networks*, 19(2):169–179.
- Little, J. D. (1961). A proof for the queuing formula: $L = \lambda w$. *Operations research*, 9(3):383–387.
- Louazani, A. and Sekhri, L. (2016). Petri net model for connectivity maintenance in vanet clustering-based routing algorithm. In *2016 International Conference on Advanced Aspects of Software Engineering (ICAASE)*, pages 92–97. IEEE.
- Malik, A. and Pandey, B. (2018). Security analysis of discrete event based threat driven authentication approach in vanet using petri nets. *IJ Network Security*, 20(4):601–608.
- Shirani, R. and Hendessi, F. (2008). A markov chain model for evaluating performance of store-carry-forward procedure in vanets. In *2008 11th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems*, pages 593–598. IEEE.
- Zhang, X., Li, D., Wang, J., Zhang, G., and Jiang, X. (2016). Faster parking and less cruise for public parking spot discovery: Modeling and analysis based on timed petri nets. In *2016 IEEE 13th International Conference on Networking, Sensing, and Control (ICNSC)*, pages 1–6. IEEE.