Avaliação de Desempenho de Algoritmos para Controle de Interseções de Trânsito em um Cenário Real

Andre S. Brizzi[1], **Leonardo de Abreu Schmidt**[1], **Marcia Pasin**[1]

[1]Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

andre.s.brizzi@gmail.com, {lschmidt, marcia}@inf.ufsm.br

Abstract. *In this article, we evaluate different strategies to deal with control of multiple intersections, with Veicular Ad Hoc Networks support. Regarding the simulation results, we found that platoon-based strategies are the best solution for increasing throughput, though strategies based on individual vehicle behaviour achieved short waiting time, thus depicting more fairness.*

Resumo. *Neste artigo, avaliamos diferentes estratégias para o controle de múltiplas interseções de trânsito, com o apoio de redes veículares. Em relação aos resultados dos experimentos, estratégias baseadas no pelotão são a melhor solução para aumentar o rendimento, embora as estratégias baseadas no comportamento individual dos veículos tenham alcançado tempo de espera curto, representando mais justiça.*

1. Introdução

Com a implantação de redes veiculares (VANETs), novas estratégias para o controle de interseções de trânsito poderão ser aplicadas. Dentre elas, existem soluções adaptativas que modificam dinamicamente os tempos dos semáforos [Krajzewicz et al. 2005], soluções que modificam dinamicamente a velocidade dos veículos [Tielert et al. 2010], soluções combinando as duas abordagens [Bodenheimer et al. 2014], ou mesmo eliminando semáforos [Dresner and Stone 2004]. Este trabalho explora a possibilidade de veículos com capacidades de comunicação organizarem um Virtual Traffic Light (VTL), eliminando a necessidade de um dispositivo físico que controle o fluxo de veículos. Diferentes estratégias para VTL são comparadas em um cenário onde há multiplas interseções, contemplando períodos de alta carga e períodos de ociosidade.

Este artigo está organizado como segue. A seção 2 descreve estratégias para VTL. A seção 3 descreve a avaliação experimental das estratégias. A experimentação foi realizada através da simulação de um cenário real com múltiplas intersecções. Finalmente, a seção 4 discute conclusões e direções futuras.

2. Estratégias de Controle de Interseções

Como mencionado, este trabalho explora o uso de comunicação veicular para melhorar o fluxo de tráfego. Os veículos, em um determinado intervalo de comunicação, implementam uma VTL para decidir a ordem de passagem por uma interseção compartilhada. É assumido que veículos e *Road Side Units* (RSUs) na rede de transporte possuem recursos de comunicação incorporados e usam esse recurso para implementar uma VTL. Basicamente, quando um veículo começa a se aproximar de uma VTL, ele inicia continuamente o envio de *beacons* para um controlador (distribuído) para saber sua ordem de passagem.

O controlador pode ser um RSU, um veículo líder ou um grupo de veículos. Alternativamente, a computação em nuvem pode ser usada para processar informações quando os recursos de veículos embarcados não são suficientes. A entidade controladora responde à solicitação do veículo, informando a ordem em que este deve passar pela interseção.

Com o apoio da infraestrutura das VANETs, é possível implementar diferentes estratégias para tratar o controle de interseções; três delas são descritas a seguir. A estretégia maior fila primeiro (Largest Queue First ou LQF) [Pasin et al. 2015] compara tamanhos das filas em cada interseção, e passa a maior fila seguida da menor fila. Normalmente, essa estratégia possui bom rendimento porque permite que um pelotão de veículos cruze uma interseção, evitando assim a penalidade de mudar de fila para direções diferentes. No entanto, deve-se limitar o tamanho máximo da fila, a fim de evitar longas esperas ou inanição da fila opositora. A estretégia ZIPper merge (ZIP) [Baselt et al. 2014] intercala fluxos concorrentes, permitindo a passagem de um veículo de cada fluxo a cada vez. Essa estratégia adiciona uma penalidade a cada troca de fluxo mas oferece um resultado equilibrado quando os fluxos apresentam o mesmo comportamento ou quase o mesmo comportamento. A estratégia Ranking (Free Flow Arrival Time ou FFAT) [Pasin et al. 2015] organiza um ranking de veículos que pretendem passar um cruzamento levando em conta o momento da chegada dos veículos em cada cruzamento. FFAT é o tempo que o veículo chegaria em uma interseção desenvolvendo a velocidade máxima permitida nessa via se não houvessem veículos na frente desse veículo. No escopo deste trabalho, as três estratégias apoiadas por comunicação foram comparadas com o cenário atual, onde o controle de tráfego é feito por esquemas de temporização fixos, independentemente do período do dia ou do comportamento do fluxo.

3. Experimentos

As estratégias de controle de interseções foram avaliadas em termos de vazão e tempo de espera. A vazão representa o número de veículos que chega ao destino final em cada hora de simulação. O tempo de espera representa o tempo de espera acumulado médio para veículos na frente de uma interseção. Para a avaliação, desde que o suporte de VANETs não está plenamente disponível, foi usado o simulador SUMO [Behrisch et al. 2011] com o TraCI (Traffic Control Interface) para gerenciar o controle da VTL durante a simulação. A rede de transporte alvo é representada Fig. 1(a) é uma rede real do centro de Santa Maria - RS. O cenário de simulação contém sete ruas e dez controladores de sinais de trânsito, mostrados em azul no esquema da figura. As linhas contínuas representam as ruas com um limite de velocidade de 40 km/h e as linhas tracejadas representam uma via de mão dupla com 60 km/h. As setas na figura indicam a direção do tráfego em cada pista e também correspondem aos pontos de inserção e remoção de veículos no cenário. Em cada pista, considerando o comprimento dos veículos como 4 m e a distância entre eles (2,5 m), a capacidade é de cerca de 33 veículos por segmento de faixa. Dois tipos de padrões de tráfego foram considerados, com base na taxa de inserção de veículos. Um fluxo baixo é alcançado com a inserção aleatória de um veículo em um período de 0 a 7 s, enquanto um fluxo alto exige a inserção de um veículo aleatoriamente entre 0 e 1 s. No cenário da simulação, os veículos não podem dobrar. Além disso, assume-se que não há comunicação entre as VTLs. Foram simuladas 4 horas de tráfego porque esse período pode ser facilmente associado à duração dos picos matinais ou vespertinos.

Foram avaliados a vazão e o tempo de espera para três estratégias com apoio de

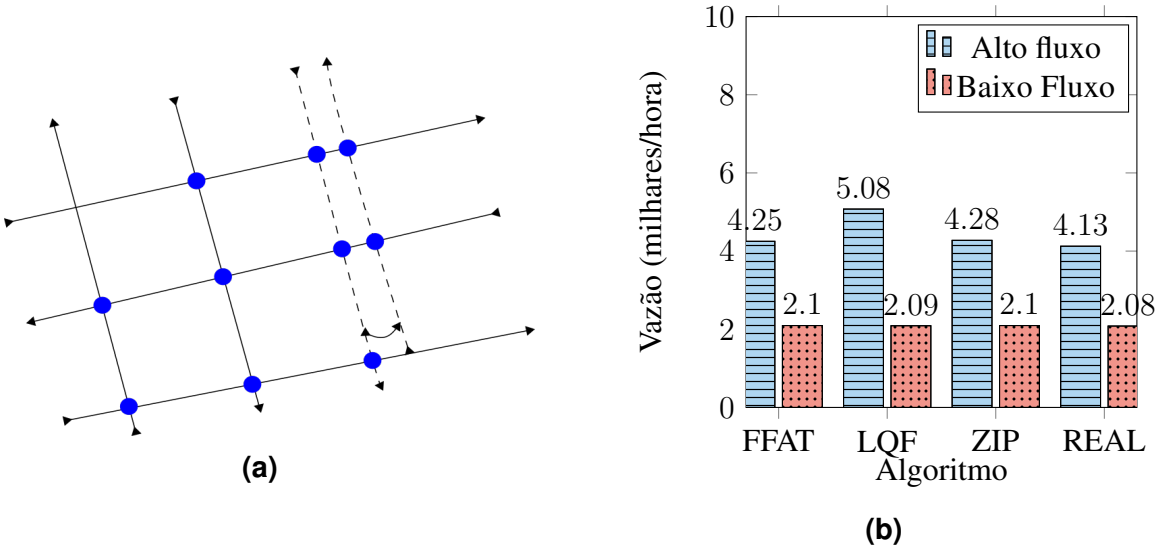

Figura 1. Cenário utilizado na simulação (a) e vazão para alto e baixo fluxo (b).

comunicação veicular em contraste com os valores do cenário REAL, usando dois tipos de fluxo (alto e baixo). Fig. 1(b) representa valores de vazão obtidos nos experimentos. A estratégia LQF (baseado em pelotão) obteve o melhor rendimento na presença de engarrafamentos (situações de alto fluxo de tráfego). As estratégias FFAT e ZIP têm quase o mesmo resultado, porque o fluxo alto faz com que o FFAT se comporte quase como o ZIP. O cenário REAL - sem o suporte da VANET - tem o pior resultado de vazão, indicando que a comunicação veicular pode realmente melhorar o tráfego. Para o cenário de baixo fluxo todas as estratégias se comportam quase identicamente. O comportamento do LQF aproxima-se do FFAT e do ZIP, pois as filas são pequenas devido ao baixo fluxo. A Fig. 2(a) descreve o comportamento para o tempo de espera na presença de alto fluxo de tráfego. A estratégia REAL gera tempos de espera maiores do que as demais. Pelo motivo já mencionado, as estratégias FFAT e ZIP resultam em tempos de espera similares, enquanto O LQF tem um desempenho intermediário, embora muito próximo a FFAT e ZIP. O tempo de espera alcançado em tráfego de baixa vazão, representado Fig. 2(b), mostra que as estratégias ZIP e FFAT continuam a se comportar de forma semelhante, alcançando os melhores resultados. Com relação ao LQF, há um pouco mais de atraso, que, apesar de ter mais vazão, o LQF gera mais filas e consequentemente maior tempo de espera, diferentemente do FFAT e ZIP que no fluxo baixo não fazem com que os veículos esperem. Finalmente, a estratégia REAL causa um alto nível de atraso, provavelmente porque não foi projetada para uma situação de baixo fluxo.

4. Conclusão

Neste artigo, foram avaliadas estratégias para controle de sinais de tráfego com apoio de um serviço de comunicação. Valores obtidos foram comparados aos valores do cenário real, onde controladores de sinais seguem uma estratégia de temporização fixa e pré-definida. Os resultados mostram que a estratégia baseada no pelotão (LQF) é mais efetiva em termos de vazão, embora a estratégia baseada em ranking por tempo de chegada (FFAT) tenha alcançado melhores resultados em termos de tempo de espera, tratando, assim, a equidade [Pasin et al. 2015] e a existência de picos de alto congestionamento. As

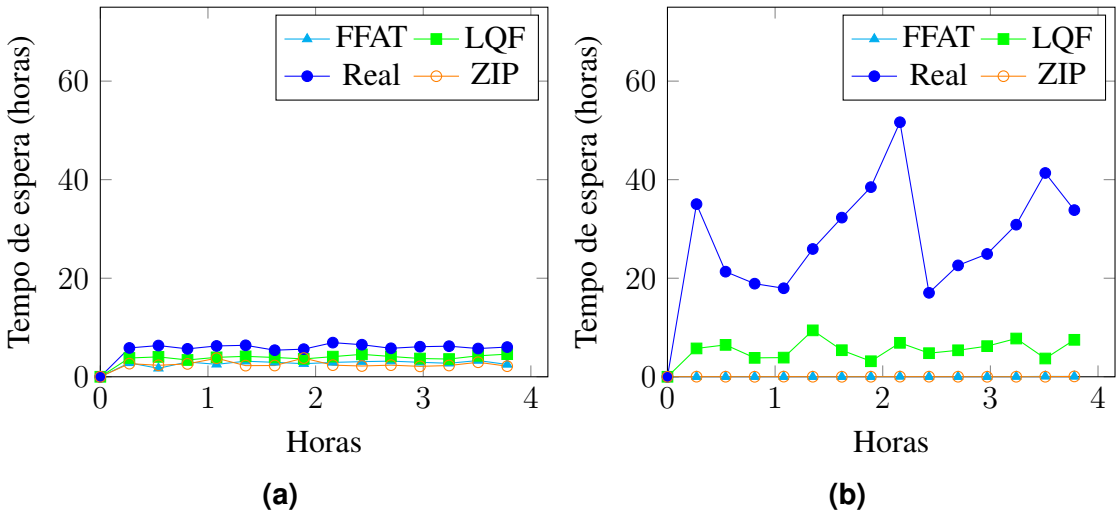

Figura 2. Tempo de espera para alto fluxo (a) e baixo fluxo (b).

três estratégias com suporte de comunicação demonstraram mais efetividade em relação aos controladores de sinais fixos. O trabalho futuro inclui a investigação de novas estratégias e novas métricas, com um foco específico na justiça, garantindo não apenas eficiência em termos de produtividade, mas também equidade.

Referências

Baselt, D., Knorr, F., Scheuermann, B., Schreckenberg, M., and Mauve, M. (2014). Merging lanes – fairness through communication. *Vehicular Communications*, 1(2):97–104.

Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). Sumo – simulation of urban mobility (an overview). *Proceedings of the Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, páginas 63–68.

Bodenheimer, R., Brauer, A., Eckhoff, D., and German, R. (2014). Enabling glosa for adaptive traffic lights. In *Vehicular Networking Conference (VNC), 2014 IEEE*, páginas 167–174.

Dresner, K. and Stone, P. (2004). Multiagent traffic management: A reservation-based intersection control mechanism. In *The Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, páginas 530–537.

Krajzewicz, D., Brockfeld, E., Mikat, J., Ringel, J., Rössel, C., Tuchscheerer, W., Wagner, P., and Wösler, R. (2005). Simulation of modern traffic lights control systems using the open source traffic simulation sumo. In *Proceedings of the 3rd Industrial Simulation Conference 2005, EUROSIS-ET*, páginas 299–302.

Pasin, M., Scheuermann, B., and de Moura, R. F. (2015). Vanet-based intersection control with a throughput/fairness tradeoff. *Proceedings of the 8th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2015). Munich Germany*, páginas 208–215.

Tielert, T., Killat, M., Hartenstein, H., Luz, R., Hausberger, S., and Benz, T. (2010). The impact of traffic-light-to-vehicle communication on fuel consumption and emissions. In *Internet of Things (IOT), 2010*, páginas 1–8.