Avaliação da Eficiência de Algoritmos para Semáforos Virtuais em Redes Veiculares

Rafael Fao de Moura, Eric Tomas Zancanaro, Liza Lunardi Lemos, Marcia Pasin [1]

[1]Centro de Tecnologia – Laboratório de Sistemas de Computação (LSC)
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Av. Roraima 1.000 – Cidade Universitária – Santa Maria – RS

{rfao, ezancanaro, llemos, marcia}@inf.ufsm.br

Resumo. *Este artigo compara a eficiência no escoamento do trânsito de algoritmos para controle semafórico usando o conceito de semáforos virtuais em redes veiculares. Neste contexto, eficiência implica na redução dos tempos de viagens e, possivelmente, auxilia na redução de congestionamentos. Um simulador específico para redes de transporte foi usado na avaliação. Resultados demonstram que soluções adaptativas oferecem ganhos significativos.*

1. Introdução

Com o número crescente de veículos circulando nas vias, e com o consequente aumento da demanda, a aplicação de estratégias para melhorar o controle semafórico e, possivelmente, o escoamento do trânsito tornam-se imprescindíveis. Uma possível solução é uso de semáforos adaptativos ou inteligentes, já presentes em algumas cidades brasileiras. Os semáforos inteligentes são calibrados de forma dinâmica, de acordo com o fluxo de veículos (controle macroscópico), permitindo assim, que o trânsito flua de forma mais eficiente. A informação sobre o fluxo é extraída através de sensores instalados na pista. O semáforo inteligente, em contraste com o semáforo tradicional, evita a exposição do sinal verde de forma prolongada em uma via com poucos veículos, se no fluxo de contra-partida há uma outra via onde o trânsito é intenso.

Em um cenário futurista, com a implantação de VANETs (*vehicular ad-hoc networks* ou redes veiculares), semáforos seriam eliminados. Veículos implementariam o controle semafórico usando semáforos virtuais (VTL ou *Virtual Traffic Lights*), com o suporte de comunicação inter-veicular. O controle de passagem nas interseções será realizado pelos próprios veículos (controle microscópico), sem a necessidade de um dispositivo físico ou da instalação de sensores na pista. Para isso, veículos devem dispor de dispositivos específicos como aqueles que oferecem o serviço de GPS e tecnologias de comunicação veicular instalados e operacionais.

O uso de algoritmos adaptativos operados por VTL, centrados nos veículos, poderá colaborar no aumento da eficiência no trânsito e, consequentemente, na redução dos tempos de viagens. Também, acredita-se a tecnologia de VTL poderá aliviar os cofres públicos, reduzindo gastos na instalação e manutenção de semáforos. Por exemplo, Porto Alegre tem mais de 1.007 semáforos, e o custo de instalação de um semáforo oscila entre R$10.000 e R$14.000 (Fonte: EPTC Março 2011). Outra vantagem, é que o controle de passagem de veículos no semáforo será automatizado, reduzindo acidentes, desde que não haverá intervenção manual (sabe-se que a maioria dos acidentes é causada por falha

humana). Como esta tecnologia ainda não está amplamente disponível, simulação abre caminho para avaliar possibilidades antes de serem implantadas na prática.

Neste contexto, este artigo propõe a implementação e avaliação de diferentes algoritmos para controle semafórico usando VTL em redes veiculares (VANETs) levando em conta a eficiência no escoamento de veículos. O eficiência, neste contexto, é medida pela vazão. Quando maior a vazão, maior a eficiência do algoritmo. Experimentos foram realizados usando um simulador específico para redes de transporte (SUMO) [Behrisch et al. 2011].

2. Trabalhos relacionados

Existem duas linhas de trabalhos para tratar de controle de fluxo de trânsito: soluções centradas no fluxo (macroscópicas) e soluções centradas nos veículos (microscópica). Este trabalho é focado em soluções centradas nos veículos, mais adequadas para VANETs. Modelos microscópicos para gerenciar veículos em passagem de interseção são usados em [Krajzewicz *et al* 2005] e [Ferreira *et al* 2010]. [Krajzewicz *et al* 2005] compara tamanhos de filas para passagem em interseções (isso seria feito através de comunicação V2I), e a fila maior tem maior prioridade. Em [Ferreira *et al* 2010], através do suporte de comunicação V2V e do serviço de AVL (*automatic vehicle location*), o veículo mais próximo de uma interseção é eleito para coordenar a passagem de veículos naquela interseção. Quando o coordenador passa a interseção, um novo coordenador é eleito. Entretanto, dado que dois veículos v_i e v_j podem pertencer a vias distintas, mas possuir mesma distância d em relação à interseção, uma garantia de eleição de coordenador único precisa ser imposta.

De fato, existe carência de trabalhos que avaliem mais efetivamente o controle de interseções centrado em veículos e que explorem de forma mais ampla esses mecanismos. O atendimento à solicitação de veículos para passagem por uma interseção precisa ser realizado de forma eficiente (através de uma solução que ofereça vazão ao tráfego) e na direção de minimizar o tempo de espera de cada veículo individualmente. De forma geral, novos mecanismos para controle de interseções precisam ser propostos e deveriam ser analisados amplamente antes de serem colocados em prática e antes que a tecnologia de VANETs seja amplamente disponibilizada. Adicionalmente, seria interessante que políticas fossem preferencialmente centradas em comunicação veicular, para possibilitar a exclusão (física) de semáforos, dado que a manutenção de semáforos representa gastos consideráveis no orçamento das cidades.

3. Simulação em redes de transporte

SUMO [Behrisch et al. 2011] é um simulador para redes de transporte, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa do Transporte do Centro Aerospacial na Alemanha. Uma rede de transporte no SUMO é basicamente composta de *nodos* e *links* que conectam nodos, *vias* que associam *nodos* e *links*, e *veículos* que circulam nas vias. Esses elementos são configurados em arquivos XML para compor uma simulação. Cada elemento possui atributos. Por exemplo, um veículo possui tipo (carro de passeio, ônibus, veículo de carga), velocidade, origem e destino. Os arquivos de configurações servem de entrada para uma simulação no SUMO, que pode ser visualizada através de uma interface gráfica.

3.1. Configuração de cenários

Para executar os experimentos foi definido um cenário com duas vias S e W que se encontram em uma interseção P, e diferentes configurações de volume de tráfego com: (i) duas vias arteriais (rápidas e com tráfego intenso) (Art. & Art.), (ii) uma avenida arterial e uma via coletora (Art. & Col), para representar um cenário com via de alta demanda e outra com demanda mediana, (iii) uma avenida arterial e uma via local (Art. & Loc.), isto é, uma via com alta demanda e outra com demanda mais rara, (iv) duas ruas coletoras (Col. & Col.), portanto, uma situação com tráfego mediano, e (v) duas ruas locais (Loc. & Loc.), isto é, um cenário com pouco tráfego de veículos.

Para modelar o cenário no SUMO, precisam ser definidos origem e destino de cada uma das vias, além dos nodos, $links$ e veículos. Na simulação em questão todos os veículos são idênticos, do tipo carro de passeio, e são identificados por um único id. Adicionalmente, precisa ser realizada a configuração em arquivo XML de cada conjunto de vias com um período específico, que representa diferentes volumes de tráfego. A unidade de tempo no SUMO é $step$. Basicamente, uma simulação é composta por ações executadas em $steps$. Os valores usados para configurar o período nas vias arterial, coletora e local foram de 1/1, 1/10 e 1/20 $vehicules/steps$, respectivamente.

3.2. VTL para controle de interseções

No escopo deste trabalho, foram implementados três algoritmos que possibilitam operação em VTL: (i) *zipper merge*: alterna entre os fluxos, permitindo a passagem de x veículos um uma interseção a cada $round$. O valor mais comum para x é um, indicando que haverá sempre uma alternância de passagem de fluxo cada vez que um único carro passa a interseção, (ii) fila mais velha primeiro (*The Oldest Queue First* ou OQF): avalia o tempo de geração do veículo no topo das filas em W e S. Se o veículo no topo da fila W é mais velho que o veículo no topo da fila S, a fila em W passa primeiro. De outra forma, a fila S passa primeiro, (iii) maior fila primeiro (*The Largest Queue First* ou LQF): avalia o tamanho das filas em W e S. Se o tamanho da fila W é maior que o tamanho da fila em S, a fila em W passa primeiro. De outra forma, a fila S passa primeiro.

3.3. Medindo a eficiência dos algoritmos: definição de vazão

Considerando um determinado volume de tráfego, e uma interseção P de duas vias S e W, a vazão $\mathbb{Q}$, que é o número total de veículos k que chegaram no destino final pelo tempo que uma simulação requer para ser executada, é calculada pela fórmula $\mathbb{Q} = n/(T_f - T_0)$, onde n é o número total de veículos que passou pela interseção durante a simulação, onde $n \leq N$, e T_f representa o tempo final da simulação e T_0 representa o tempo de início da simulação. A vazão é medida em veículos por minuto.

No contexto deste trabalho, uma simulação ocorre em um tempo definido de 900 $steps$, logo $T_f = 900$. Cada $step$ representa um segundo (opção *default*). Com respeito a vazão, um aspecto interessante é que aumento da vazão implica na redução nos tempos de viagens e, possivelmente, auxilia na redução de congestionamentos.

4. Implementação e análise de resultados

Os algoritmos anteriormente descritos foram implementadas usando Java SE 1.6/TraCI4J com suporte para o controle de VTL para o simulador SUMO (versão

0.17.1). Informações sobre a TraCI4J podem ser obtidas a partir do *link* `https://github.com/egueli/TraCI4J`. A arquitetura de suporte executa com 2.3 GHz (Intel Core i5), 2GB de memória e Mac OS X versão 10.7.5.

Basicamente, cada veículo v_i emite para a VTL uma mensagem m_i que solicita permissão para passagem da interseção, de acordo com o algoritmo em questão. O VTL aplica o algoritmo e decide a ordem na qual o veículo passa a interseção, e informa ao veículo através de uma mensagem $m_i - 1$. Quando operacional, a comunicação veículo-VTL poderia ser suportada pelos protocolos IEEE 802.11p (Wi-Fi) ou GSM/GPRS e 3G por redes móveis de celular.

Resultados dos experimentos são mostrados na Tabela 1. O algoritmo *zipper merge* foi avaliado usando 1, 10 e 20 veículos a cada troca de fluxo. O que se pode observar, através da Tabela 1, é que algoritmos que usam filas longas (*zipper merge* (20) e LQF) apresentam a melhor vazão mesmo com diferentes volumes de tráfego. O Algoritmo OQF, voltado para a justiça, pois a fila mais velha nunca espera, também apresentou resultados interessantes. Portanto, conforme o esperado, soluções com filas mais longas são os melhores algoritmos para escoamento eficiente de veículos.

Tabela 1. Valores para a Vazão (veículos/min), considerando diferentes algoritmos e diferentes volumes de tráfego

Algoritmo	Art. & Art.	Art. & Col.	Art. & Loc.	Col. & Col.	Loc. & Loc.
Zipper merge (1)	10.74	10.68	6.00	10.68	5.88
Zipper merge (10)	19.02	17.46	17.40	11.64	5.88
Zipper merge (20)	19.80	19.62	19.08	11.64	5.88
OQF	19.74	19.68	18.54	11.64	5.88
LQF	19.74	19.92	20.04	11.64	5.88

5. Conclusões

Este artigo apresentou uma comparação de algoritmos para controle semafórico em redes veiculares (VANETs) levando em conta a vazão. A avaliação dos algoritmos foi realizada usando o simulador SUMO, específico para redes de transporte. Resultados demonstram que soluções adaptativas e orientadas ao tamanho da fila, oferecem significativa eficiência se comparadas às soluções que passam um número fixo de carros e realizam muitas trocas entre as filas (*zipper merge* com valores baixos).

Apontamentos

Este trabalho é apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)/Brasil, projeto número 204972/2014-0.

Referências

M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, D. Krajzewicz (2011). "SUMO – Simulation of Urban MObility: an overview", Proc. 3rd SIMUL 2011 - ThinkMind.

D. Krajzewicz *et al* (2005). "Simulation of modern traffic lights control systems using the open source traffic simulation SUMO", Proc. 3rd Industrial Simulation Conference (EUROSIS-ETI), pp. 299-302.

M. Ferreira, R. Fernandes, H. Conceição, W. Viriyasitavat, O. K. Tonguz (2010). "Self-organized traffic control", Proc. 7th ACM Int. Workshop on VANET. pp.85-90.