

# Aplicação de Algoritmos de Escalonamento de Processos para Gerenciamento de Interseções em VANETs

Thiago Lopes Trugillo da Silveira  
Curso de Ciência da Computação - UFSM  
thiago@inf.ufsm.br

Marcia Pasin  
Centro de Tecnologia - UFSM  
marcia@inf.ufsm.br

**Resumo**—Controle de interseções representa um problema interessante no gerenciamento de trânsito. Quando a tecnologia de VANETs for implantada e disponibilizada para usuários em geral, permitindo comunicação entre veículos e com a infraestrutura, novas políticas poderão ser aplicadas para o controle de passagem de veículos em interseções, provendo agilidade a redes de transporte. Neste sentido, este trabalho explora a aplicação de algoritmos de escalonamento de processos em CPUs para gerenciar interseções em vias urbanas, usando como suporte comunicação veículo-estrutura, e levando em conta um cenário com demanda de larga escala. Foi realizada uma implementação contemplando diferentes políticas de escalonamento de processos para gerenciar trânsito considerando diferentes interseções.

## I. INTRODUÇÃO

Soluções para gerenciamento de trânsito eficiente e provimento de mobilidade urbana são assuntos que vêm ganhando destaque, tanto no contexto internacional (por exemplo, DARPA *Grand Challenge*), quanto em nosso país (Edital RNP-CTIC Cidades Inteligentes). Com o número crescente de veículos circulando nas vias, e com o conseqüente aumento da demanda, a aplicação de estratégias para melhorar o gerenciamento do trânsito tornam-se imprescindíveis. Possíveis soluções são o provimento de transporte público de qualidade, a limitação da quantidade de veículos em circulação, e o uso de semáforos adaptativos para controle de interseções viárias.

Os semáforos adaptativos, já implantados em algumas cidades, são calibrados de forma dinâmica, de acordo com o fluxo de veículos, objetivando que o trânsito flua de forma mais eficiente. Essa situação evitaria, por exemplo, 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. Os semáforos adaptativos inteligentes seriam um passo mais adiante, estariam baseados nos veículos (e não no fluxo), e usariam algum mecanismo para promover não apenas a eficiência no escoamento do fluxo de veículos, mas também o equilíbrio para o atendimento aos usuários.

Em um cenário futurista, com a implantação de VANETs (*vehicular ad hoc networks* ou redes veiculares) e o conceito de veículos autônomos, semáforos seriam eliminados. O controle de passagem nas interseções e cálculo de rotas (*road-planning*), por exemplo, será realizado pelos próprios veículos (arquitetura descentralizada), desde que os veículos disponham de dispositivos com serviço de GPS e tecnologias de comunicação veicular instalados e operacionais. Novas políticas para o controle de interseções, além da tradicional janela de tempo, adotada pela sinaleira,

poderão ser implementadas. Por exemplo, políticas para escalonamento de processos em CPUs, como *first in first out* (FIFO) e *shortest job first* (SJF), poderiam ser implementadas para controle de passagem nas interseções com suporte de comunicação veicular e comunicação veículo-estrutura.

A possibilidade de implementar políticas para o controle de interseções baseadas no comportamento e nas interações entre os veículos contrasta com o controle de semáforos tradicional, que usa um modelo matemático para descrever fluxo no trânsito. Uma vez que esta tecnologia ainda não está amplamente disponível, simulação computacional abre caminho para avaliar possibilidades antes de serem implantadas na prática.

Neste contexto, este artigo propõe a implementação de políticas para controle de passagem de veículos em interseções baseadas em soluções para escalonamento de processos em CPUs, com o suporte de comunicação veículo-estrutura. A avaliação das políticas é feita através da execução experimentos em um ambiente controlado.

Para conduzir a avaliação experimental foi usado o simulador Siafu [6], para ambientes ubíquos e implementado com o suporte de MAS (*Multi-Agent System* ou sistema multi-agente). Bazzan [1] enfatiza que o modelo de agentes de *software* é adequado para descrever muitas aplicações envolvendo trânsito de veículos. Cada veículo é representado como um *agente* autônomo que segue um comportamento de forma independente e interage com os demais agentes e/ou com a infraestrutura para a tomada de decisão (isto é, para decidir quem deve passar primeiro em uma interseção).

O texto está organizado como segue. Trabalhos relacionados são descritos na seção II. A contextualização do problema para o modelo de agentes de *software* e políticas de controle de interseções são descritas na seção III. Detalhes de implementação são descritos na seção IV. Avaliação experimental é discutida na seção V. Conclusões e trabalhos futuros são apresentados na seção VI.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Controle de interseções representa um problema interessante no gerenciamento de trânsito. Dresner & Stone [3] descrevem um esquema de reserva onde o veículo deve alocar, em uma central, espaço e tempo para atravessar a interseção de duas vias. Esta técnica é mais eficiente que o controle semafórico tradicional por janelas de tempo. Entretanto, se o veículo não conseguir reservar um *slot* necessário para a passagem da interseção, pode sofrer

espera indefinida. Outro problema é a existência de uma central para controlar a política de passagem no semáforo. Se a central falhar, o serviço torna-se indisponível. Uma extensão do trabalho de Dresner & Stone para o contexto de múltiplas interseções foi realizado por Vasirani & Ossowski [8]. A ideia é oferecer um serviço adequado ao coletivo, mas sem colaboração entre os agentes. Em Ferreira *et al.* [4], através do suporte de comunicação veicular, um veículo próximo de uma interseção é escolhido para controlar a interseção. Quando o veículo se afasta da interseção, um novo veículo é eleito entre os demais para controlar a interseção. O artigo não descreve especificamente que política é usada para controlar a interseção. Krajzewicz *et al.* [5] compara tamanhos de filas para passagem em interseções e a fila maior tem maior prioridade, ao contrário do que ocorre na política SJF (avaliada neste trabalho). Em Mugnola & Netto [7], o fluxo do trânsito é medido, avaliado e melhorias para a calibração semafórica são propostas pelo uso de algoritmos genéticos. O enfoque do trabalho de Mugnola & Netto é na calibração da janela de tempo adotada na sinaleira. Comunicação veicular não é levada em conta. Em contraste, neste presente trabalho são avaliados algoritmos simples e conhecidos, de fácil implementação e de rápida execução, aproveitando a natureza distribuída inerente a VANETs e o suporte de comunicação com a infraestrutura.

### III. MODELAGEM DO PROBLEMA

#### A. Modelo de agentes de software aplicado a gerenciamento de interseções de trânsito

Uma abstração conveniente para modelar veículos em circulação é o conceito de agentes de *software*, que são unidades com comportamento independente. Um grupo de agentes (veículos) obedece a uma determinada política para realizar a travessia de uma interseção. Cada veículo  $c_i$  (para  $i \in \mathbb{N}$ ) é unicamente identificado (na prática, pode ser o RENAVAN ou a sequência alfanumérica que consta na placa do veículo) e pertence a apenas uma fila  $q_m$  ou  $q_n$ . As filas compartilham uma seção crítica (interseção), onde os veículos devem passar para atingir seu objetivo final. Apenas um veículo pode passar a seção crítica por vez. Quem decide qual é este veículo é a **política de controle de interseção**.

#### B. Políticas de controle para interseções de trânsito

Para o controle de interseção, veículos podem obedecer as seguintes políticas:

- **FIFO (*first in first out*)**: utiliza o conceito de uma fila virtual global, formada por elementos das filas  $q_m$  e  $q_n$ ; oferece prioridade ao primeiro veículo que chegar à interseção (topo da fila virtual); é um algoritmo que busca justiça no tempo de atendimento à passagem de interseção (quem chegou primeiro espera menos); no entanto se uma fila for mais rápida (e densa) que a outra, veículos na fila mais lenta podem sofrer longa espera até serem atendidos; consequentemente o tempo médio de espera para os veículos passarem a interseção aumenta.

- **SJF (*shortest job first*)**: calcula o tamanho das filas; a fila menor passa primeiro; esta política pode impor espera indefinida (*starvation*) para uma fila de veículos que for tipicamente maior que a outra, a medida que novos veículos são continuamente adicionados às filas.
- **janela de tempo**: política de controle para interseções tradicional aplicada através de *traffic lights* ou **sinaleira**; fornece fatias de tempo limitadas para cada via (por exemplo 15s ou 20s); dessa forma veículos não sofrem de espera indefinida; entretanto uma fila longa  $q_m$  pode ficar bloqueada, aguardando o esgotamento do tempo de uma fila vazia  $q_n$ , como ocorre frequentemente na realidade.

As três políticas são tipicamente adotadas para escalonamento de processos em CPUs, mas todas poderiam ser usadas para controle de interseção em trânsito, desde que o suporte adequado seja provido (o que já ocorre com a política *janela de tempo*). De forma geral, políticas de controle para interseções podem ser classificadas segundo o tipo de operação, a saber: (i) algoritmos não-adaptativos e (ii) algoritmos adaptativos. A sinaleira convencional é um exemplo de política não-adaptativa, pois normalmente não avalia o tráfego para ajustar a janela de tempo de cada cor apresentada aos motoristas. Algoritmos enfocados neste trabalho, como FIFO e SJF, são exemplos de políticas adaptativas, e são baseadas nos comportamento dos veículos. Neste caso, veículos precisam interagir entre si ou com a infraestrutura para saber quem está na maior (ou menor) fila, ou quem chegou antes na fila de forma a decidir como a sincronização ocorrerá em uma interseção.

### IV. IMPLEMENTAÇÃO

#### A. O simulador Siafu

Como o suporte adequado ainda não está amplamente disponível para avaliar todas as políticas anteriormente descritas, foi construída uma simulação usado o simulador Siafu [6]. Este simulador basicamente é uma API para simulação de ambiente ubíquos de propósito geral, desenvolvido no contexto de MAS.

Para programar através desta API, é necessário descrever o comportamento dos agentes no cenário, mais precisamente descrever (i) o movimento dos veículos nas vias, (ii) os lugares específicos onde os veículos podem circular, ou seja, as vias (ruas) dispostas em um mapa, e (iii) as sobreposições (*overlays*) que são as regiões do mapa que se destinam a originar alterações na simulação. Por exemplo, à noite, o fluxo de veículos é menor. No final da tarde, quando as pessoas estão retornando as suas casas, há maior movimentação de veículos. O recurso de sobreposições não foi usado no escopo deste trabalho.

#### B. Desafios e detalhes de implementação

A simulação em questão destina-se à travessia de uma interseção por duas filas de carros. Uma restrição da implementação é que interseção comporta vias de sentido único, cenário que ocorre na realidade. Como o Siafu é um simulador ubíquo de propósito geral e não apresenta

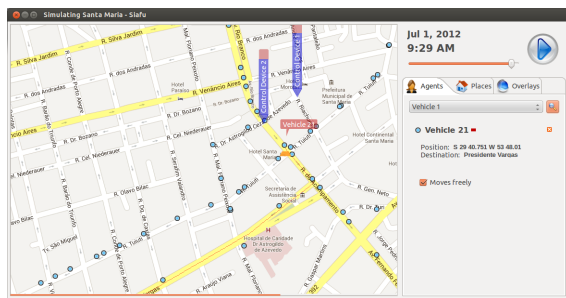


Figura 1. Captura de tela de uma simulação com 2 dispositivos de controle para a cidade de Santa Maria (RS), apresentando informações sobre um veículo (*vehicle 21*) na área lateral ao mapa

a implementação do conceito de interseção (ou seção crítica), uma extensão através do método *isNear()* foi realizada para detecção de movimento de veículos na seção crítica e, então, o tratamento de conflito entre agentes em interseções (implementado por uma política), pode ser executado. A implementação deste mecanismo foi materializada através do dispositivo de controle ou *Control Device* proposto neste trabalho, que executa uma política de controle de interseção específica.

Basicamente, cada veículo  $c_i$  entra em contato com a infraestrutura (mais precisamente com o dispositivo de controle) através da emissão de uma mensagem  $m_i$  para solicitar sua passagem na interseção, de acordo com política em questão. O dispositivo de controle aplica a política e decide a ordem na qual o veículo deve passar a interseção, e informa ao veículo através de uma mensagem  $m_i - 1$ . Cada dispositivo de controle funciona de forma independente, sem comunicação inter-dispositivo. A comunicação veículo-infraestrutura poderia ser suportada pelos protocolos IEEE 802.11p (WiFi) ou GSM/GPRS e 3G (redes móveis de celular).

Uma captura de tela para uma simulação com 2 dispositivos de controle para cidade de Santa Maria (RS) é apresentada na Figura 1. Na figura, há duas áreas para visualização, (i) o mapa, com um sub-conjunto de ruas da cidade e (ii) informações sobre a simulação (no caso, informações sobre um veículo (*vehicle 21*)).

O suporte do SIAFU também permite obter informação sobre os dispositivos de controle *Control Device*, como mostrado na Figura 2, desde que seja selecionada a aba correta na interface da simulação.

## V. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Após a implementação de um cenário (para um conjunto de vias da cidade de Santa Maria) com apoio do simulador SIAFU, foram realizados experimentos para avaliar o desempenho computacional das políticas de controle para interseções, considerando o tempo médio de espera para iniciar uma travessia. A análise de resultados obtidos nos experimentos, partiu da realização de diferentes testes no ambiente controlado. Foram realizadas simulações com cada uma das três políticas descritas na seção III, variando a quantidade de agentes (veículos) da simulação. Nos experimentos, foram usados até 1.000 veículos, isto é,

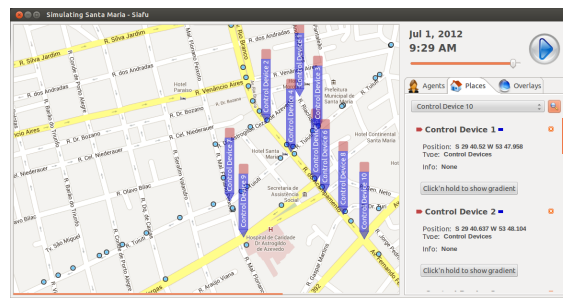


Figura 2. Captura de tela de uma simulação para 10 dispositivos de controle para a cidade de Santa Maria (RS), apresentando informações sobre específicas sobre dispositivos de controle (*Control Device 1* e *Control Device 2*) na área lateral ao mapa

1.000 é o número total (máximo) de processos (veículos) que foram gerados na simulação. Veículos se deslocam com a velocidade de  $40\text{km/h}$ . Não há aceleração. O período de simulação foi de 10 dias inteiros. O primeiro e o último dia foram desconsiderados. As jornadas foram, então, de 24 horas (o trânsito foi considerado o mesmo durante todo o período).

Mais especificamente, foram realizados dois experimentos, (i) um teste inicial com 20, 40, 60, 80 e 100 veículos e um dispositivo de controle, e (ii) outro experimento de maior escala, com até 1.000 veículos, para simular situações de tráfego mais intenso, como a hora do *rush* ou a saída de algum espetáculo. No segundo experimento foram considerados 10 dispositivos de controle para gerenciamento de interseções em vias de sentido único. O resultado dos experimentos é sumarizado através de valores apresentados nos gráficos das Figuras 3 e 4, respectivamente. Em ambos experimentos, a política *janela de tempo* foi usada como base e aplica janelas de tempo de 20s e 25s. para os dispositivos de controle.

No gráfico apresentado na Figura 3, com 20 agentes simulados, a política por *janela de tempo* obteve a média de quase 1 minuto de espera por veículo para realizar a travessia. Com 50 agentes, foram 2.3 minutos, com 90 agentes foram aproximadamente 3 minutos, respectivamente. Os algoritmos de escalonamento de processos FIFO e SJF conseguiram desempenho equivalente, diferindo pouco nos resultados quando comparados entre si, conforme pode ser observado graficamente. Contudo, de forma geral ambos algoritmos foram mais eficientes que a *janela de tempo*.

O gráfico apresentado na Figura 4 representa situações de tráfego mais intenso. Com até 300 agentes simulados, a política tradicional por *janela de tempo* foi a mais ineficiente quanto ao tempo de espera médio para realizar a travessia. Para 300 até 600 agentes, ocorreu pouca variação no desempenho dos três algoritmos quanto ao tempo de espera, de acordo com o experimento. Para grande quantidade de veículos, SJF obteve os melhores resultados.

De forma geral, os experimentos mostraram que os algoritmos de escalonamento de processos centrados em veículos (SJF e FIFO), quando aplicados para controle de interseções, podem oferecer resultados interessantes,

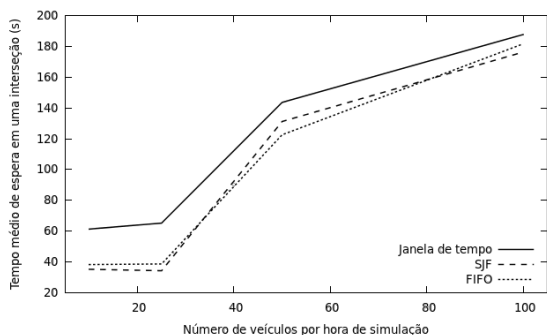


Figura 3. Gráfico indicando tempo médio de espera por interseção na simulação com até 100 carros para um conjunto de vias da cidade de Santa Maria (RS) com um dispositivo de controle

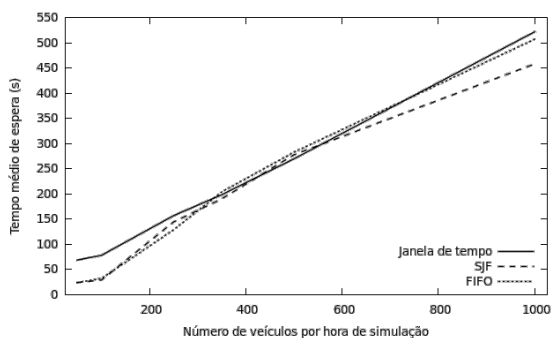


Figura 4. Gráfico indicando tempo médio de espera por interseção na simulação com trânsito intenso para um conjunto de vias da cidade de Santa Maria (RS) com 10 dispositivos de controle

melhorando o fluxo do trânsito, e comprovando nossas hipóteses de trabalho (políticas baseadas em fluxo são mais interessantes do que políticas baseadas em janelas de tempo estáticas). Esta melhoria ocorre porque, diferentemente do controle semafórico aplicado em sistemas reais, as técnicas de escalonamento de processos usadas nesta implementação são associadas ao fluxo de veículos, e podem ser adaptadas de acordo com a demanda.

## VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho demonstrou que o controle de passagem em interseções, tipicamente implementado nas vias brasileiras por sinaleiras, pode ter uma melhoria significativa com a aplicação de algoritmos com o suporte de VANETs. A proposição de mecanismos, de forma geral, mais adequados para controlar redes de transporte é necessária, dado que a dificuldade de gerenciamento do trânsito é um problema presente e constante no nosso cotidiano. Conforme argumentado anteriormente, soluções existentes são preferencialmente baseadas em janelas de tempo não adaptativas. Porém, percebe-se que diferentes políticas podem ser implementadas, gerando oportunidades para o estudo de soluções com diferentes graus de dificuldade e para o provimento de serviço mais eficiente.

A aplicação-alvo deste artigo envolve redes de transporte e mobilidade urbana, assuntos que têm despertado

muito interesse em toda a sociedade. E, de fato, soluções para melhoria da mobilidade urbana e de processos de transporte tem sido implementadas e estão mais acessíveis, como semáforos adaptativos recentemente instalados Porto Alegre (RS) e sistemas de informação sobre condições de tráfego (*Google Transit*, *Waze*, por exemplo).

Este trabalho representa mais um passo na investigação de políticas para controle semafórico mais eficiente. Trabalhos futuros incluem a implementação de políticas mais sofisticadas, por exemplo, aquelas que penalizam chaveamento entre filas de veículos (quando uma fila pára a passagem de veículos e outra fila começa a passagem de veículos, uma penalidade deve ser adicionada). Políticas descentralizadas (sem dispositivo de controle) também precisam ser avaliadas, antes de serem efetivamente colocadas em prática. Neste caso, a comunicação inter-veicular deve ser considerada, bem como o uso simuladores mais específicos para redes de transporte [2].

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi conduzido no escopo dos projetos CTIC/RNP SIMTUR e CNPq/FAPERGS RS-SOC PRO-NEX número 10/0049-7.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. L. C. Bazzan. "Opportunities for multiagent systems and multiagent reinforcement learning in traffic control". In *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 18(3):342-375, June 2009.
- [2] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, D. Krajzewicz. "SUMO - Simulation of Urban MObility: an overview", In *Proc. 3rd International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*. ThinkMind, Oct. 2011, pp. 63-68.
- [3] K. Dresner, P. Stone. "Multiagent traffic management: a reservation-based intersection control mechanism", *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2004. AAMAS 2004. In *Proc. 3rd International Joint Conference on*, vol., no., July 2004, pp. 530-537.
- [4] M. Ferreira, R. Fernandes, H. Conceição, W. Viriyasitavat, O. K. Tonguz. "Self-organized traffic control", In *Proc. 7th ACM International Workshop on Vehicular InterNetworking (VANET '10)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 85-90, 2010.
- [5] D. Krajzewicz, E. Brockfeld, J. Mikat, J. Ringel, C. Rossel, W. Tuchscheerer, P. Wagner, R. Wosler. "Simulation of modern traffic lights control systems using the open source traffic simulation SUMO", In *Proc. 3rd Industrial Simulation Conference 2005, EUROSIS-ETI*, 2005, pp. 299-302.
- [6] M. Martin, P. Nurmi. "A generic large-scale simulator for ubiquitous computing". In *Mobile and Ubiquitous Systems, Annual Int. Conference on*, 0:1-3, 2006.
- [7] B. Mugnela, M. Netto. GenPolis - Prototipagem e aplicação de uma ferramenta especializada para otimização via algoritmos genéticos de planos fixos de sinalização semafórica em sub-redes urbanas. In *VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação - Trilhas Técnicas*, 2011, pp. 198-209.
- [8] M. Vasirani, S. Ossowski. "A market-inspired approach to reservation-based urban road traffic management", *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2009. AAMAS 2009. In *Proc. 8th International Conference on*, vol. 1, no., July 2009, pp. 617-624.