

Simulação baseada em agentes para o estudo de políticas de diminuição de congestionamentos

Jandir Luiz Habitzreuter, Marcelo de Souza

Universidade do Estado de Santa Catarina – Campus Ibirama
Rua Dr. Getúlio Vargas, 2822, Bela Vista – Ibirama – SC – Brasil

dyjandir@hotmail.com, marcelo.desouza@udesc.br

Resumo. *O congestionamento é um crescente problema do cotidiano das pessoas. Diversas políticas têm sido propostas para sua minimização, desde mudanças na infra-estrutura, até medidas para controlar o número de veículos nas ruas. O estudo dessas políticas torna-se complexo a medida que seu custo e impacto aumentam. Simulações baseadas em agentes constituem uma importante ferramenta, pois permitem estudar diferentes estratégias de melhoria no trânsito com baixo custo e tempo. Este trabalho propõe um ambiente simulação baseada em agentes, com o objetivo de estudar políticas de minimização de congestionamentos, como o posicionamento de postos de pedágio e a implantação de pistas exclusivas para veículos de alta ocupação.*

1. Introdução

A expansão da sociedade e o conseqüente crescimento do número de veículos nas ruas têm gerado problemas de congestionamento, os quais já não são exclusividade de grandes centros. Grande parte deste problema está relacionado à infraestrutura das vias, onde o excesso de veículos ultrapassa a capacidade das pistas, formando filas e ocasionando atrasos no deslocamento, improdutividade e até acidentes. Além disso, o congestionamento afeta diretamente a qualidade de vida e a saúde da comunidade, uma vez que a poluição sonora e a emissão de gases poluentes são maiores nestes ambientes.

Muitas pesquisas se concentram no estudo de estratégias para a diminuição do congestionamento. Como o custo da experimentação dessas estratégias no ambiente real pode ser alto, muitos trabalhos recorrem à simulação como ferramenta de verificação e análise de soluções. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma simulação de tráfego baseada em agentes para analisar mecanismos de diminuição de congestionamentos. Especificamente, deseja-se estudar formas de incentivo para o desvio de rotas, como posicionamento de postos de pedágio, e para a diminuição do número de veículos, como pistas exclusivas para veículos de alta ocupação. Com a simulação proposta, será possível verificar qual estratégia possui um maior impacto na diminuição do congestionamento, bem como o retorno esperado da adoção dessas políticas.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento da ferramenta proposta, detalhando os métodos necessários para modelar os agentes e definir o seu comportamento de movimentação na rede. A Seção 2 aborda os conceitos de simulação baseada em agentes, discutindo as definições de simulação microscópica e macroscópica e apresentando o simulador NetLogo, utilizado neste trabalho. A Seção 3 detalha a proposta deste trabalho e discute os métodos necessários ao desenvolvimento da simulação: algoritmo de caminhos mínimos, métodos de alocação de tráfego e modelos de car-following. A Seção 5 apresenta as considerações finais do trabalho.

2. Simulação baseada em agentes

Uma simulação pode ser considerada uma forma de representar algum fenômeno ou evento, geralmente através de um modelo matemático ou computacional. Com isso, é possível estudar e validar cenários reais sem a necessidade de construí-los, o que diminui o custo e o tempo. [Champion et al. 1999] definem simulação como uma eficiente ferramenta para analisar problemas complexos. Com o avanço da tecnologia e o aumento do poder de processamento dos computadores, pesquisas em torno de simulações têm se intensificado.

Comumente são utilizados agentes inteligentes para compor simulações de sistemas complexos. [Wooldridge 2002] define um agente como uma entidade computacional situada em um ambiente e com autonomia sobre suas ações, afim de cumprir seu objetivo. Um agente é capaz de perceber o estado do seu ambiente e atuar sobre ele, alterando o seu estado. Uma simulação baseada em agentes é composta por um conjunto de agentes que interagem entre si em busca do cumprimento do seu objetivo, ou do objetivo do grupo.

Uma aplicação frequente de simulações baseadas em agentes é a simulação de tráfego. Ela é um recurso utilizado em processos de planejamento e gestão de sistemas de transportes, onde uma das principais características é reproduzir o padrão de deslocamento de veículos em uma rede. Estes modelos permitem ao engenheiro de transporte estudar situações complexas que não podem ser estudadas de outra maneira, como avaliar o controle de tráfego, testar alternativas para várias situações de forma rápida, evitando riscos e despesas em experimentações reais [Clark and Daigle 1997].

2.1. Simulação microscópica × simulação macroscópica

As simulações de tráfego geralmente são classificadas pelo nível de detalhes aplicado ao modelo. Segundo [Barceló 2010], simulações microscópicas de tráfego concentram-se em descrever individualmente cada veículo pertencente ao fluxo de tráfego, modelando aspectos como aceleração, desaceleração e mudança de faixa. Isso faz com que estes modelos gerem estimativas mais detalhadas. Contudo, o processamento torna-se mais lento e a calibração mais complexa, influenciando diretamente nos resultados. Para [Burghout et al. 2006], modelos microscópicos são mais apropriados para avaliação de Sistemas Inteligentes de Transporte, onde a modelagem dos sistemas de controle depende de um processo mais preciso, como a modelagem da resposta dos condutores aos incidentes. Por isso, a simulação microscópica destaca-se como uma ferramenta importante neste contexto, reproduzindo tais situações de forma confiável.

Por outro lado, simulações macroscópicas usam equações matemáticas para representar o fluxo de todos os veículos, descrevendo a evolução do tempo-espaço como volume, densidade e velocidade [Barceló 2010]. Estes modelos consomem uma menor quantidade de dados e menos processamento computacional, sendo frequentemente utilizados para o planejamento de aplicações e controle de operações, com base em grandes redes e longos períodos de tempo [Burghout et al. 2006].

Uma terceira classificação, chamada simulação mesoscópica, é utilizada por muitos profissionais e pesquisadores e propõe um nível de detalhes intermediário. Na abordagem mesoscópica, a premissa básica é capturar o essencial da dinâmica, exigindo menos dados, o que permite simular aspectos individuais dos veículos e também aspectos relativos à sua dinâmica. Por ser considerado menos exigentes de dados, são mais eficientes

que os modelos microscópicos em relação ao processamento computacional, ao mesmo tempo que são mais flexíveis que os modelos macroscópicos, podendo representar aspectos importantes do fluxo tráfego [Barceló 2010, Burghout et al. 2006].

2.2. Simulador NetLogo

O NetLogo¹ é uma ferramenta de modelagem baseada em agentes projetada para simular fenômenos naturais e sociais, como simulações de situações de desastre [Erick et al. 2012] ou de propagação de doenças [Sutiono et al. 2007]. Apesar do seu poder de representação, ele possui uma linguagem simples e de fácil implementação. Isso permite seu uso por pessoas sem conhecimentos avançados de programação.

O simulador é composto por dois tipos de agentes básicos, os *patches* e os *turtles*. Os patches são agentes que possuem localização fixa, geralmente usados para representar territórios. No caso de simulação de tráfego, eles são usados para representar as vias por onde os veículos trafegam. Os turtles são agentes que possuem mobilidade no ambiente e representam qualquer entidade, desde veículos, animais, pessoas ou micro-organismos. Eles podem ser agrupados em raças, onde cada uma possui seu próprio conjunto de variáveis. Com isso, uma raça pode possuir sua estrutura diferente de outra e agentes da mesma raça podem possuir diferentes estados, dados pelos valores de suas variáveis.

3. Abordagem proposta

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um ambiente de simulação mesoscópica de tráfego para o estudo de estratégias para diminuição de congestionamentos. Para isso, foi adotado o simulador NetLogo, onde cada agente representa um veículo que parte da sua origem com um determinado destino. Com isso, pretende-se estudar formas de incentivar motoristas a desviarem suas rotas, de modo a diminuir o congestionamento em pontos específicos da rede. Isso pode ser feito posicionando estações de pedágio ou oferecendo facilidades, como vagas de estacionamento. Além disso, é possível estudar benefícios a veículos de alta ocupação, como pistas exclusivas, fazendo com que os motoristas com rotas similares sejam incentivados a utilizar um único veículo.

No ambiente proposto, a oferta é composta pela rede, representada por um grafo $G = (V, A)$, no qual V é o conjunto de vértices (intersecções) e A é o conjunto de arcos (vias). A demanda é composta por um conjunto de pares origem-destino, chamado pares OD. Cada par possui a quantidade de viagens que parte de um vértice de origem para um vértice de destino. O primeiro passo da simulação é definir qual a rota que o veículo utilizará para completar sua viagem, isto é, a sequência de arcos utilizada para atingir o destino. Posteriormente, cada veículo segue sua viagem até o destino. Uma vez completada a simulação, é possível verificar o tempo médio de viagem, menor e maior tempo de viagem, tempo médio de espera, velocidade média, entre outros. Esta seção apresenta os métodos necessários à simulação proposta.

3.1. Caminhos mínimos

Algoritmos de caminhos mínimos determinam o caminho de menor custo entre um par de vértices de um grafo. O custo de um caminho é dado pela soma dos custos dos seus arcos. Em redes viárias, este custo pode ser a distância do arco, seu tempo de viagem,

¹O NetLogo pode ser obtido em <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.

custo monetário, entre outros. Além disso, o custo pode ser determinado em função do fluxo de veículos do arco, ou seja, considerando o congestionamento causado por um fluxo elevado de veículos. Uma função conhecida é a Bureau of Public Roads (BPR), que determina o tempo de viagem em um arco em função da sua capacidade nominal e do fluxo de veículos.

O algoritmo de Dijkstra é amplamente utilizado na determinação de caminhos mínimos com pesos maiores ou iguais a zero. Com base em um vértice de origem, o algoritmo determina a árvore de caminhos mínimos, ou seja, os caminhos com menor custo desde a origem até cada vértice do arco. Cada vértice v armazena um custo $c(v)$, que consiste no custo em atingir o vértice v a partir da origem, bem como um predecessor $p(v)$, que consiste no vértice anterior no caminho da origem até si. No início da busca, todos os vértices recebem custo infinito e predecessor indefinido. O vértice de origem recebe custo zero, uma vez que o caminho parte de si e é adicionado à lista de vértices a serem explorados. Iterativamente o vértice com menor custo é selecionado e os custos aos vértices adjacentes são propagados. Caso o custo propagado seja menor que o custo armazenado no vértice, um caminho menor foi encontrado. Neste caso, o custo e o predecessor do vértice adjacente são atualizados e ele é adicionado à lista de vértices a serem explorados. Ao final, cada vértice possui um custo e um predecessor associados. Ao rastrear os predecessores é possível montar o caminho mínimo da origem até o vértice em questão. Para casos onde existem poucos destinos para uma determinada origem, a busca pode ser interrompida assim que o vértice de destino buscado for atingido, poupando processamento.

3.2. Alocação de tráfego

Ao considerar apenas os caminhos mínimos como mecanismo de escolha de rotas, todos os veículos de um mesmo par OD escolherão a mesma rota, causando congestionamento e tornando o modelo menos realista. A alocação de tráfego é um problema de otimização combinatória que, com base em uma rede e uma demanda, determina como o fluxo de veículos se distribui para realizar suas viagens considerando os efeitos do congestionamento [Patriksson 2015].

Para isso, os métodos de alocação de tráfego atribuem um fluxo inicial com base nos caminhos mínimos e, iterativamente, permitem que uma parcela dele desvie para os novos caminhos mínimos. O Algoritmo 1 apresenta o Método de Successive Averages (MSA) [Smock 1962]. A cada iteração, os novos caminhos mínimos são calculados com base no fluxo atual dos arcos. Parte do fluxo já alocado é desviado para os novos caminhos até a convergência.

A convergência consiste em uma alocação que satisfaça o conceito de equilíbrio do usuário (*user equilibrium*, também chamado de *equilíbrio de Nash*), onde todo o agente alocado não possui o incentivo de troca de rotas, uma vez que o custo não diminui em nenhuma outra rota. Neste trabalho, a alocação de tráfego é aplicada para definir a rota de cada agente antes de iniciar a simulação.

3.3. Car-following

Uma vez determinadas as rotas dos agentes, eles passam a movimentar-se na rede a fim de seguir o caminho até seu destino. Os modelos de car-following definem o comportamento de movimentação dos veículos, o qual se dá em função do veículo à frente.

Algoritmo 1: Método de Successive Averages (MSA)

Entrada: Rede $G = (V, A)$ e demanda.

Passo 1: Inicializa todos os arcos com fluxo zero, obtendo o vetor de fluxos dos arcos f^0 . Determina $n = 1$.

Passo 2: Calcula o caminho mínimo para todo par OD, baseado no vetor de fluxos f^{n-1} .

Passo 3: Para cada par OD, atribui todo o fluxo para o caminho mínimo, obtendo o vetor auxiliar de fluxos y^n .

Passo 4: Determina o novo fluxo $f^n = (1/n)f^{n-1} + (1 - (1/n))y^n$, para todo par OD.

Passo 5: Se o critério de convergência for satisfeito, termina. Caso contrário, vai para o passo 2 e determina $n = n + 1$.

Isto é, eles descrevem o comportamento de aceleração e desaceleração, respeitando o limite de velocidade da via e mantendo uma distância de segurança ao veículo da frente [Kesting and Treiber 2008].

Neste trabalho, o ambiente é composto por patches, que definem as vias onde os veículos trafegam. Cada patch equivale a 4 metros do mundo real e, portanto, comporta até um veículo. Porém, um veículo pode estar localizado com parte em um patch e parte no patch subsequente. Logo, o modelo de car-following define a posição do veículo no passo seguinte da simulação. Cada passo equivale a 1 segundo.

Um método simples de reproduzir a movimentação de veículos se baseia em uma distância de segurança. A nova posição do veículo é definida por $p \leftarrow \min(d, p_f - s(c, v))$, onde d é a distância a ser percorrida e p_f é a posição do veículo a frente e $s(c, v)$ é a função que determina a distância de segurança em função do comprimento c e da velocidade v do veículo. A nova posição do veículo é determinada pela distância a ser percorrida no próximo passo de tempo. Caso exista um veículo à frente, a movimentação se limita à posição deste veículo menos a distância de segurança. Mais detalhes sobre modelos de car-following são encontrados em [Pipes 1966].

4. Resultados preliminares

A simulação desenvolvida usando NetLogo é dividida em duas etapas. A primeira consiste na leitura dos arquivos que descrevem a rede e a demanda, bem como a determinação das rotas. Este último utiliza o método de alocação de tráfego MSA, que por sua vez utiliza o algoritmo de caminhos mínimos de Dijkstra. Após definida a rota para cada agente, os veículos iniciam suas viagens, utilizando o modelo de car-following apresentado na Seção 3.3. A Figura 1 ilustra o processo executado pela simulação. A fase de cálculo dos resultados está em desenvolvimento.

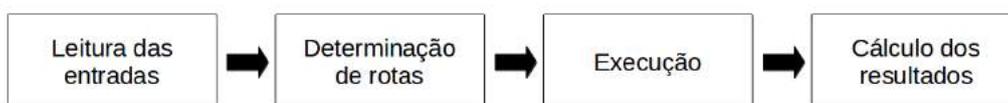


Figura 1. Etapas executadas em uma simulação completa

5. Considerações finais

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um ambiente de simulação de tráfego. São descritos os métodos utilizados na simulação, como o algoritmo de caminhos mínimos, o método de alocação de tráfego e o modelo de car-following. A abordagem baseada em agentes torna a implementação mais fácil e o modelo mais flexível, concentrando esforços na modelagem individual dos agentes.

Como trabalhos futuros, deseja-se aplicar o simulador para o estudo de medidas para a minimização de congestionamentos. A primeira delas consiste no posicionamento de pontos de pedágio, de modo que motoristas sejam incentivados a trocar de rota em busca de economia financeira. A segunda medida diz respeito à inclusão de pistas exclusivas para veículos de alta ocupação, ou seja, com três ou mais pessoas. O objetivo é estimular o compartilhamento de veículos para diminuir o tempo de viagem, uma vez que existiriam pistas exclusivas e, portanto, mais rápidas.

Referências

- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Springer-Verlag New York.
- Burghout, W., Koutsopoulos, H. N., and Andreasson, I. (2006). A discrete-event mesoscopic traffic simulation model for hybrid traffic simulation. In *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC'06. IEEE*, pages 1102–1107. IEEE.
- Champion, A., Mandiau, R., Kolski, C., Heidet, A., and Kemeny, A. (1999). Traffic generation with the scanner ii simulator: towards a multi-agent architecture. In *Driving Simulation Conference*, pages 311–324.
- Clark, J. and Daigle, G. (1997). The importance of simulation techniques in its research and analysis. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, pages 1236–1243. IEEE Computer Society.
- Erick, M., Suppasri, A., Imamura, F., and Koshimura, S. (2012). Agent-based simulation of the 2011 great east japan earthquake/tsunami evacuation: An integrated model of tsunami inundation and evacuation. *Journal of Natural Disaster Science*, 34(1):41–57.
- Kesting, A. and Treiber, M. (2008). Calibrating car-following models by using trajectory data: Methodological study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2088):148–156.
- Patriksson, M. (2015). *The traffic assignment problem: models and methods*. Courier Dover Publications.
- Pipes, L. (1966). *Car following models and the fundamental diagram of road traffic*. Transportation Research 1.
- Smock, R. (1962). An iterative assignment approach to capacity restraint on arterial networks. *Highway Research Board Bulletin*, (347).
- Sutiono, A. B., Suwa, H., and Ohta, T. (2007). Multi agent based simulation for typhoid fever with complications: An epidemic analysis. In *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the ISSS-2007, Tokyo, Japan*, volume 51.
- Wooldridge, m. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley and Sons Ltd.