

Introdução

A mobilidade é um aspecto crucial e intrínseco da civilização humana, de tal forma que a preocupação com a manutenção de uma infraestrutura adequada seja uma constante. Entretanto, o rápido incremento na população desencadeia um aumento da demanda por utilização de meios de transporte, cuja infraestrutura possui capacidade limitada. Quando essa capacidade é superada pela demanda, surgem os problemas de congestionamento.

Melhorias nas condições de tráfego podem levar a diminuições no tempo total de viagem, e consequentemente no consumo de combustível e emissões de poluentes atmosféricos, além de um aumento na segurança dos que utilizam o sistema de transporte.

Devido ao impacto ambiental e às limitações dos recursos físicos e econômicos, a expansão contínua da infraestrutura de transportes não se apresenta como a melhor alternativa de adaptação para a crescente necessidade de mobilidade e transporte, tornando necessário o desenvolvimento de estratégias de melhoria no fluxo da malha disponível.

Dentro essas estratégias, encontra-se o controle de tráfego pela utilização de semáforos, cuja primeira utilização data de 1868 (Pietrantonio et al., 2007), e que, com o aprimoramento do crescente avanço da tecnologia computacional, tende a agregar cada vez maior eficiência.

Objetivo

O objetivo do presente projeto é o estudo dos modelos atuais de configuração semafórica atuados pelo tráfego nos seus aspectos de modelagem computacional e matemática e dos elementos e mecanismos de regulação de vias metabólicas, buscando responder à seguinte pergunta: como o conhecimento dos mecanismos de regulação do fluxo metabólico em células poderia auxiliar na elaboração de sistemas computacionais de regulação do fluxo de veículos na rede viária?

Sistemas de Controle Semafórico

Os sistemas de controle semafórico podem ser divididos em duas categorias (Papageorgiou et al., 2003), relacionadas à estratégia que utilizam para responder à demanda de fluxo: de tempo-fixe e atuados pelo tráfego. A diferença entre eles está na informação utilizada para configurar o semáforo: os sistemas de tempo-fixe utilizam um plano de configuração semafórico que foi estabelecido com base na observação histórica do fluxo naquela via, e os sistemas atuados pelo tráfego obtêm informações sobre o fluxo atual das vias e elabora um plano de configuração que melhor se adequa ao momento presente.

Como a informação utilizada na estratégia de tempo-fixe pode não refletir necessariamente as demandas de fluxo, devido ao elevado dinamismo com que se modificam, os sistemas atuados pelo tráfego podem apresentar resultados mais adequados às condições de tráfego.

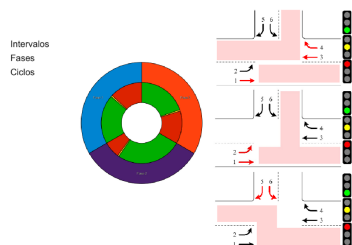


Figura 1: Exemplo de configuração semafórica tríplice para uma interseção em "T".

Sistemas de Controle Metabólico

Aspectos Teóricos

Procedeu-se ao estudo das vias metabólicas, que associam uma cadeia de enzimas e substratos/produtos em um contexto biológico, fornecendo a informação dos possíveis destinos para o substrato em cada estágio do ciclo, ou seja, fornecem um mapeamento do fluxo de substratos/produtos.

A velocidade desse fluxo depende dos fatores que regulam as atividades enzimáticas, analogamente ao que ocorre no tráfego de veículos, onde a velocidade do fluxo é determinada pelos elementos controladores de tráfego.

Dessa forma, assim como a configuração semafórica atua diretamente sobre a velocidade do fluxo dos veículos ali presentes, as condições dos elementos da via metabólica, como pH e temperatura, para as enzimas, ou ainda a presença/ausência de um dos elementos determina a velocidade com que ocorrem as transformações químicas dos substratos ali presentes, ou seja, determina a velocidade da própria via.

Procurando-se analisar os aspectos de processamento de informação nesses sistemas, foi realizado um estudo acerca das interações entre seus elementos, como a regulação da velocidade de catalise enzimática pela concentração de um determinado substrato, pelo pH ou temperatura (Lehninger et al., 1997). Essa tarefa foi realizada com o auxílio dos mapas de vias metabólicas disponibilizados pela ferramenta KEGG (Kanehisa et al., 2010).

Dentre os fatores analisados, destacam-se:

- tomada de decisão autônoma e local por parte da proteína sobre a possibilidade de catalise enzimática sobre o substrato, dada pela especificidade enzima/substrato, codificada na estrutura da proteína, e modulada por fatores do ambiente. Como a decisão é independente, o sistema composto pelas diversas proteínas contextualizadas por uma via metabólica pode adquirir uma maior velocidade de resposta global;
- a regulação da via é feita de forma global, onde elementos da própria via comunicam-se através de mecanismos de interação. Essa característica, por distribuir a responsabilidade do processamento via informação de modulação, pode conferir um robustez ao sistema como um todo, onde partes do mesmo, mesmo não otimamente funcionais, podem ter sua tarefa realizada por outras partes em funcionamento satisfatório.

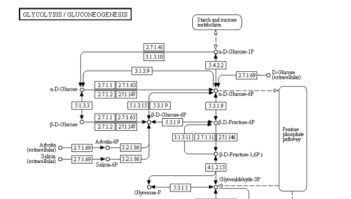


Figura 1: Trecho de uma mapa disponibilizado pela ferramenta KEGG, caracterizando uma parcela das enzimas presentes e as respectivas interações.

Aspectos Computacionais

Dicionário

Para um estudo comparativo entre os fluxos viário e metabólico, procedeu-se à elaboração de um método de tratamento dos elementos de um fluxo para o outro. Para que isso fosse possível, utilizou-se uma terceira linguagem, a dos grafos, comum aos dois fluxos, utilizada como descrito acima, onde temos as informações de ocupação/capacidade e de conexão entre as vias de fluxo, como pode ser visto na figura 2.

De forma a caracterizar o fluxo em uma via metabólica, a abstração realizada sobre seus elementos resultou nas seguintes associações: a capacidade é dada pela velocidade de catalise enzimática e a ocupação pela concentração dos substratos que sofrem a ação catalítica da enzima em questão. Desse modo, é possível a interconversão entre os fluxos viário e metabólico.

Proposta do Projeto

Será estudada a otimização do escoamento da rede viária a ser realizada através da priorização do fluxo que gere a maior fluidez, de forma a maximizar a utilização da capacidade de tráfego da malha viária. Dessa forma, torna-se importante o conhecimento acerca das condições de ocupação das vias controladas pelo sistema.

Modelagem

Para que o problema de otimização de configuração semafórica pudesse ser analisado de uma forma quantitativa, procedeu-se à modelagem dos elementos de tráfego pertinentes.

Prestando-se uma abordagem simultaneamente simples e flexível, de forma a permitir tanto uma diminuição do custo computacional associado ao processamento da informação quanto a possibilidade de incremento futuro de complexidade, foi feita uma abstração de forma a obter uma caracterização numérica com o mínimo de elementos possíveis, mas que ainda refletisse de forma satisfatoriamente fiel a situação real de tráfego.

A cada via foi associada uma capacidade, dada pelo seu comprimento e quantidade de faixas, onde o comprimento da via é multiplicado pela quantidade de faixas em cada sentido e o resultado é dividido pelo comprimento médio de um veículo. O resultado é a quantidade média de veículos que a via suporta no total.

Além dessa informação, associa-se à via a quantidade de veículos ali presentes. Dessa forma, é possível analisar a situação de ocupação da via, que informa também quantos veículos a via em questão ainda suportaria. Além disso, para uma caracterização mais geral, pode-se obter a saturação da via, que informa o percentual de ocupação da mesma, bastando para isso dividir a ocupação pela capacidade.

Esses dois dados poderão ser então utilizados na análise global e local do tráfego, através da saturação, e auxiliarão na determinação das estratégias de controle, na medida em que pode-se priorizar o fluxo para as vias as que ainda suportam uma ocupação maior de veículos. Além disso, a análise de evolução desses quadros pode auxiliar na detecção de padrões de tráfego, que podem ser utilizados para a implementação de estratégias que se mostraram eficientes para essas condições, diminuindo o custo computacional.

Realizou-se a tradução dos elementos para grafos, onde cada interseção corresponde a um vértice e cada via a uma aresta, com duas grandezas associadas, ocupação e capacidade. Alçando a esses dados estatísticas de conversões baseadas em histórico de utilização das vias, pode-se obter a alternativa de configuração semafórica que priorize o fluxo para as vias atualmente menos ocupadas.

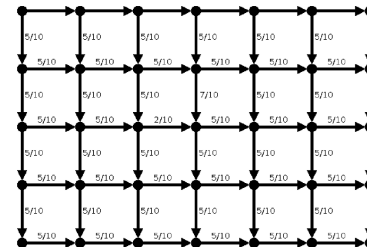


Figura 2: Gráfico direção representando uma malha viária regular simplificada, onde são exibidos os dados de ocupação/iniciabilidade para um sentido de cada via.

Dessa forma, pode-se caracterizar a ocupação da malha viária em um dado momento, bastando para isso analisar os valores das arestas. Além disso, pode-se saber a cada instante quanto veículos cada via ainda suporta receber, auxiliando na determinação da estratégia de controle semafórico, podendo, por exemplo, determinar aquela que minimize a saturação das vias em questão.

Preende-se uma visão geral do estado de forma que seja possível a tomada de decisão o menos centralizada possível, levando em conta não apenas a informação local, mas de uma parcela da malha viária de tamanho arbitrário. Para atingir esse objetivo, cada nó da malha obtém a informação de ocupação dos links adjacentes, que, relacionada à capacidade, é enviada para os nós vizinhos. Dessa forma, obtém-se uma visão geral das condições de tráfego, que pode ser utilizada no processo de otimização da configuração semafórica.

Simulação

Para que estratégias de controle semafórico possam ser analisadas e testadas quanto à sua eficiência, procedeu-se à implementação da plataforma de simulação de código aberto MITSIMLab (Yang, 1996). O software em questão permite a reprodução de cenários reais de tráfego com fidelidade reconhecida por operação em campo (Ben-Akiva, 2002).

MITSIMLab é uma plataforma computacional baseada em simulação que foi desenvolvida para avaliar o impacto de sistemas alternativos de gerenciamento de tráfego no nível operacional, podendo auxiliar em um posterior refinamento. O sistema permite o acompanhamento individual dos veículos, além de fornecer estatística global do tráfego, fornecendo estatísticas relacionadas à implementação das diversas estratégias.

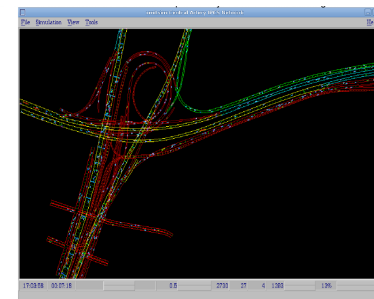


Figura 3: Sistema MITSIMLab em funcionamento.

Perspectivas Futuras

As próximas atividades consistirão em um refinamento do modelo, a ser realizado através da implementação inicial de um piloto, seguida de análise qualitativa e quantitativa e posterior modificação, com o auxílio de ferramentas matemática e computacional.

O simulador será utilizado para a implementação das estratégias de controle semafórico mais utilizadas atualmente, permitindo uma comparação de eficiência entre elas e eventuais estratégias que venham a ser desenvolvidas durante o projeto. Para isso, pretende-se a elaboração de malhas viárias de complexidade crescente e a implementação de planos semafóricos nessas malhas.

Referências

- Ben-Akiva, M. E., & Debo, J. (2002). Calibration and Evaluation of MITSIMLab in Stockholm.
- Davis, A. (2001). Modeling of Traffic Signal Control and Transit Signal Priority Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory. Master of Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Hossein, N. B., & P. Srinivas et al. (2006). "Review of urban traffic management and the impacts of new vehicle technologies". *International Transport Systems* 3(4): 419-428.
- Kanehisa, M., & Goto, T. (2010). *KEGG for representation and analysis of molecular networks involving diseases and drugs*. *Nucleic Acids Research* 38: D265-D269.
- Lehninger, A. L., & Nelson, D. L. (1997). *Principles of Biochemistry*. Worth Publishers.
- Ming, S. H. (1997). CET - Nova Técnica SP (2007). NT 2010/07.
- Michon, P., and L. Huan (2005). "A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis". *Transportation Research Part C- Emerging Technologies* 9(5): 415-432.
- Shapiro, J., and W. Borris, A. (2003). *Semáforos: estudos pelo tráfego - Utilização, Parametrização, Monitorização e Análise de Desempenho*.
- Shaw, L. (2003). "Mathematical modeling of traffic flows". *Automation and Remote Control* 64(11): 1651-1659.
- Yang, D., and H. Koussoupou (1996). A microscopic simulator for evaluations of dynamic traffic management systems. *Transp. Res. C* 4(3), 183-200.
- Yoon, J., B. Noh, et al. (2007). Surface Street Traffic Estimation. *Mobility* 07.