

PROCEDIMENTO PARA O PROJETO DE UM CONTROLADOR SEMAFÓRICO FUZZY COM O USO DE ALGORITMO GENÉTICO

Paulo Sérgio França de Sousa Júnior
Maria Alice Prudêncio Jacques

Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO

O controlador semafórico *fuzzy* visa otimizar o uso das interseções, buscando garantir fluidez e segurança ao tráfego controlado. Ele é atuado pelo tráfego e sua programação interna é baseada na lógica *fuzzy*, fazendo uso do princípio da extensão adaptado. O projeto desse controlador, entretanto, oferece grande variedade de opções na escolha de seus elementos integrantes, com impactos significativos no desempenho do tráfego controlado. No intuito de reduzir a subjetividade desse processo de escolha, o presente estudo tem por objetivo definir um procedimento que use algoritmo genético para definir os elementos do controlador e que assegure uma superfície de controle contínua, suave e coerente.

1. INTRODUÇÃO

A disputa de fluxos conflitantes de veículos pelo espaço físico é característica marcante da operação de tráfego em interseções. Não bastasse o fato de ser ponto de conflito de fluxos veiculares, soma-se a isto a necessidade de assegurar no mesmo local a travessia segura de pedestres e ciclistas. O uso de dispositivos de controle de tráfego, como é o caso da sinalização semafórica, visa contribuir para a solução de tal problema. O controlador semafórico *fuzzy* é um dos diferentes tipos de controladores semafóricos que podem ser empregados para o controle do tráfego em interseções. Ao se projetar este tipo de controlador, é necessário que sejam definidos seus elementos integrantes. A escolha destes, contudo, permite ao projetista um grande número de opções. Estudos de Jacques *et al* (2002a,b), Santos (2003) e Vaz (2006) comprovam que o desempenho do controlador é fortemente influenciado por essas diferentes possibilidades.

Não há uma regra geral definida para a realização dessas escolhas e as mesmas são tomadas, na maioria das vezes, com base no conhecimento e experiência de especialistas. Tal fato confere grande dose de subjetividade ao processo. Assim, sabendo-se que a seleção dos elementos do controlador semafórico *fuzzy* é de grande importância para a fluidez e segurança do tráfego na interseção controlada, conclui-se que é de grande valia o empreendimento de esforços para encontrar métodos que auxiliem o projetista nestas definições. O espaço de busca para essas soluções, no entanto, é muito grande, impossibilitando uma análise manual e expondo o processo ao risco de ser finalizado em pontos ótimos locais, falseando o resultado. A literatura indica os Algoritmos Genéticos como ferramenta eficaz de busca em espaços de busca muito grandes. Ademais, cabe aqui citar que o desempenho de um controlador não se limita à definição de seus componentes, mas também está associado às características do tráfego local. Portanto, seus resultados devem ser corretamente interpretados pelos técnicos (com o auxílio de uma superfície de controle) e facilmente assimilados pelos motoristas.

O presente estudo tem como objetivo elaborar um procedimento, baseado na utilização de algoritmo genético, para definir os elementos a serem utilizados nos componentes de um

controlador semafórico *fuzzy* – tipo de função de pertinência, operadores, método de defuzificação e partição dos conjuntos *fuzzy* – que (i) atendam da melhor forma possível, em termos de variável de desempenho de tráfego, o controle deste em uma determinada interseção, levando em conta suas características físicas e de volume de tráfego; e (ii) assegurem uma superfície de controle contínua, suave e coerente, que possa ser corretamente interpretada pelo técnico e facilmente assimilada pelo motorista.

2. CONTROLE SEMAFÓRICO

O uso de semáforos em interseções busca assegurar, basicamente, dois atributos operacionais: fluidez e segurança. Ao alternar o direito de uso da área da interseção, o semáforo pode contribuir para a redução do tempo perdido nela, e do número de determinados tipos de acidentes. Os tipos de controle mais usuais são: por tempo fixo e por demanda de tráfego (atuado). O primeiro faz uso de planos previamente calculados, determinados por meio de dados históricos do tráfego, para diferentes períodos do dia. Já o segundo, ajusta-se às variações da demanda de tráfego, alterando a duração do tempo de verde para cada corrente de tráfego, conforme a necessidade. Estas variações de demanda são obtidas com o auxílio de detectores de veículos, instalados no pavimento da via, e de botoeiras a serem acionadas por pedestres.

Um dos princípios que podem ser empregados no controle atuado pelo tráfego é o princípio da extensão, que visa, dentre outros aspectos, evitar esperas desnecessárias do tráfego pelo direito de uso do cruzamento. Inicialmente, um tempo mínimo de verde é fornecido para uma aproximação e, caso ocorra uma detecção, este tempo é estendido. Para evitar espera excessiva dos veículos da outra aproximação, que recebe vermelho, é fixado um tempo de verde máximo. Além disso, se durante um intervalo veicular concedido nenhum veículo for detectado, o verde da aproximação é encerrado ao final desse intervalo.

3. LÓGICA FUZZY

Diferentemente da precisão matemática, que muitas vezes se pauta unicamente no sim ou no não, a mente humana, diante de situações diárias, se rende ao uso do talvez. Assim, lógica *fuzzy* busca fazer com que as decisões computacionais sejam mais humanizadas, refletindo escolhas que as pessoas fariam. O desafio, então, é obter dados computacionalmente manipuláveis a partir de variáveis linguísticas não muito precisas, isto é, transformar a linguagem natural em números.

3.1. Conjuntos Fuzzy

Os conjuntos *fuzzy* representam valores que podem ser assumidos pelas variáveis linguísticas. Caso a fila seja a variável a ser analisada, por exemplo, pode-se definir os seguintes conjuntos *fuzzy* para sua classificação: pequena, média e grande. Na teoria clássica dos conjuntos, um elemento pertence integralmente a um conjunto ou não. Ele pode até pertencer a mais de um conjunto, desde que pertença por inteiro a cada um deles. Na lógica *fuzzy*, introduz-se a possibilidade de ele pertencer *parcialmente* a um conjunto. Nela, um elemento também pode pertencer a mais de um conjunto. No entanto, caso isso ocorra, não pertencerá integralmente a cada um deles, mas sim de maneira complementar.

Cada variável linguística é associada a um universo de discurso numérico, sendo que a partição deste universo é feita de acordo com os valores que a variável pode assumir. Estes valores correspondem aos conjuntos *fuzzy* (Vaz, 2006). A função de pertinência associa a cada elemento do conjunto um grau de pertinência ao mesmo, isto é, indica o quanto um elemento pertence a ele. Ela delinea os limites dos conjuntos *fuzzy*, podendo assumir várias formas gráficas. O contexto de aplicação é que determina se uma forma gráfica é adequada ou não àquela situação.

3.2. Sistemas de Controle *Fuzzy* (Controladores *Fuzzy*)

Segundo Ross (2008), sistemas que podem ser controlados possuem três itens essenciais: entradas, saídas e parâmetros de controle (ou ações de controle) que são utilizados para alterar (perturbar) o sistema para um estado desejado. O sistema é monitorado e quando ele estiver em um estado não desejado são realizadas ações de controle sobre o mesmo. O controle *fuzzy* difere do controle comum principalmente em três aspectos: (i) uso de conceitos descritos linguisticamente, em vez de fórmulas; (ii) uso de conhecimento de senso comum, em vez de conhecimento matemático; e (iii) uso de métodos de lógica *fuzzy* (Kasabov, 1998).

As respostas de um controlador *fuzzy* podem ser analisadas por meio de uma superfície de controle. Esta descreve a dinâmica de funcionamento do controlador, expressando graficamente os valores de entrada associados aos seus respectivos valores de saída. São características desejáveis de uma superfície de controle: continuidade, suavidade e coerência. Devido a incoerências que podem aparecer na superfície de qualquer controlador, Ross (2008) sugere que o projeto do controlador contemple técnicas que realizem ajustes e alterações na forma da superfície de controle quando necessário.

4. CONTROLADORES SEMAFÓRICOS *FUZZY*

O controlador semafórico *fuzzy* é um controlador *fuzzy* que realiza o controle semafórico do tipo atuado pelo tráfego. Sua programação interna, baseada na lógica *fuzzy*, faz uso do princípio da extensão adaptado. No princípio clássico da extensão, a decisão do controlador de conceder ou não a extensão é baseada somente na observação da corrente de tráfego que está recebendo a indicação verde. Além disso, a *priori*, as extensões têm duração constante. Já no adaptado, a definição de extensões para a aproximação que está recebendo o verde considera, além do tráfego nessa aproximação, as condições da fila que está aguardando na aproximação que recebe indicação vermelha.

5. ALGORITMOS GENÉTICOS (AGs)

Algoritmos genéticos são algoritmos de busca de soluções baseados nos mecanismos da seleção natural e na genética. Goldberg (1989) afirma que os algoritmos genéticos distinguem-se de outros métodos tradicionais de busca e otimização pelo fato de, dentre outros motivos, trabalharem simultaneamente com vários pontos iniciais, diminuindo o risco de se parar em pontos ótimos locais e não globais. Assim, os AGs proporcionam uma busca robusta em espaços de busca complexos.

Os elementos (indivíduos) do espaço de busca são codificados, isto é, transformados para sua forma de representação no AG. Defini-se, então, a população inicial dentro do espaço de busca. Cada cromossomo, e a população como um todo, tem seu nível de adaptação avaliado por uma

função determinada (função *fitness*). Depois, o algoritmo genético seleciona aleatoriamente os indivíduos para a reprodução. Os mais bem adaptados têm maior probabilidade de serem escolhidos. Uma vez selecionados, as operações de mutação e recombinação são aplicadas. Esse processo iterativo se repete até que se chegue ao resultado desejado, isto é, até que se alcance os níveis de adaptação desejados ou até que se chegue a um limite máximo de iterações.

6. METODOLOGIA DE PESQUISA DO PROJETO

A metodologia de pesquisa está dividida em seis etapas, quais sejam: (i) revisão bibliográfica; (ii) concepção geral do procedimento a ser empregado para definição do controlador *fuzzy* – quais componentes do controlador serão estudados, a variável de desempenho do tráfego que será referência para o AG (neste caso avaliada por meio de um simulador do tráfego), e a estrutura lógica do AG proposto; (iii) implementação computacional do AG – escolha do simulador de tráfego, definição do *software* de programação do AG e elaboração do programa; (iv) aplicação – aplicação conjunta do algoritmo genético, controlador semafórico *fuzzy* e simulador de tráfego para diferentes situações de controle; (v) análise de resultados; e (vi) conclusões e recomendações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A etapa de revisão bibliográfica já foi concluída e estão em andamento as etapas ii e iii. O trabalho está se desenvolvendo sem problemas, seguindo o cronograma inicialmente previsto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOLDBERG, D. E. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, USA.
- JACQUES, M. A. P.; PURSULA, M.; NITTYMÄKI, J.; e KOSONEN, I. (2002a) *The Impact of Different Approximate Reasoning Methods on Fuzzy Signal Controllers*. Anais do 13th Mini-Euroconference, 10 a 13 de Junho de 2002, Bari – Itália, p.184 – 192.
- JACQUES, M. A. P.; PURSULA, M.; NITTYMÄKI, J.; e KOSONEN, I. (2002b) *Analysis of Different Defuzzification Methods Applied to Fuzzy Signal Controller*. In: XII CONGRESSO PANAMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORT. Quito – Equador. Avances en Ingeniería de Tránsito e Transporte.
- KASABOV, N. K. (1998) *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*. Second printing. Massachussetts Institute of Technology, Cambridge, Massachussetts: The MIT Press, 546p.
- MITCHELL, M. (1998) *An introduction to Genetic Algorithms*. Eight printing. Massachussetts Institute of Technology, Cambridge, Massachussetts: The MIT Press, 221p.
- ROSS, T. J. (2008) *Fuzzy Logic with engineering applications*. Ed. John Wiley & Sons Ltd., 2ª ed., Inglaterra. 628p.
- SANTOS, D. B. L. M. (2003) *Procedimento para a Construção dos Conjuntos Fuzzy utilizados em Controladores Semafóricos*. Dissertação de Mestrado, Publicação TU.DM 006A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 109p.
- VAZ, A. M. (2006) *Estudos das Funções de Pertinência para Conjuntos Fuzzy Utilizados em Controladores Semafóricos Fuzzy*. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM – 005A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 158p.
- ZADEH, L. A. (1973) *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol, SMC-3, Nº 1.
-