

# Fuzzy model applied to the recognition of traffic lights signals

Thiago Almeida  
PROCC, Universidade Federal  
de Sergipe  
Aracaju, Brasil  
thiago7a@gmail.com

Nathanael Vasconcelos  
PROCC, Universidade Federal  
de Sergipe  
Aracaju, Brasil  
nathan-  
vasconcelos@hotmail.com

Alcides Benicasa  
DSI, Universidade Federal de  
Sergipe  
Aracaju, Brasil  
alcides@ufs.br

Hendrik Macedo  
DCOMP, Universidade Federal  
de Sergipe  
Aracaju, Brasil  
hendrik@dcomp.ufs.br

## ABSTRACT

This article aims to propose a recognition model of traffic lights which is based on biological concepts of artificial intelligence, specifically visual attention, image processing, and *fuzzy*. The proposed model uses information from the color histogram of the detected area as input to the *fuzzy* machine to classify a scene as having a red or green light. Experimental results obtained in the daytime and nighttime periods reveal the efficiency of the proposed model.

## Keywords

traffic lights recognition; intelligent transportation systems; visual attention; fuzzy; image processing

## 1. INTRODUÇÃO

A quantidade de informação visual e sonora disponível para ser processada pelos seres vivos é quase sempre muito grande. A capacidade de selecionar consciente ou inconscientemente determinados estímulos, sejam visuais, sonoros ou outros, dentre uma grande variedade de estímulos é essencial e intrínseca à maioria dos seres vivos. Essa capacidade biológica de atenção visual, ou sonora, nos faz capazes de reagir rapidamente a alterações no ambiente.

Uma atividade que necessita muito da atenção visual é a direção automobilística. É notável a quantidade de atenção que um motorista precisa dispor para dirigir bem, especialmente em grandes cidades, nas quais o trânsito se torna cada vez mais caótico e, um dos artifícios utilizado mundialmente para ajudar a controlar e organizar o trânsito nas cidades é o semáforo.

No entanto, o semáforo não é o único componente no trâ-

sito que requer a atenção visual do condutor do veículo. A quantidade de itens que exigem a atenção do motorista no trânsito é imensa, por exemplo, outro veículo o ultrapassando, placas, endereço a ser procurado, pedestres atravessando a rua, algumas vezes animais na pista, motoristas imprudentes, o que pode fazer com que o semáforo passe despercebido. Apesar de algo relativamente simples, desobedecer ao sinal fechado do semáforo pode levar a consequências desastrosas. Neste cenário, um reconhecedor automático de semáforos poderia alertar o motorista sobre o estado do semáforo, diminuindo assim a chance de esquecimento, que poderia vir a causar um acidente grave.

Ainda outro cenário de aplicação de reconhecedor automático de semáforos é o de uso de veículos autoguiados. Há um grande número de pesquisas nessa área, e embora diversos pesquisadores destaquem o uso de sensores entre os carros autoguiados que dispensem o uso dos semáforos, algo mais realista, de acordo com [1], seria um cenário híbrido, com veículos autoguiados e outros não, necessitando ainda de semáforos. Os veículos autoguiados necessitariam então de um bom detector e reconhecedor de semáforos para não vir a causar acidentes.

Este trabalho é uma continuação de [2] que propõe um modelo de detecção e reconhecimento de semáforos baseado em atenção visual. Em [2], o reconhecimento do semáforo é feito com base em um somatório ponderado do histograma da imagem em que se encontrava o semáforo, após a detecção utilizando atenção visual. O objetivo do trabalho atual é, então, propor um mecanismo de reconhecimento de semáforos baseado em técnicas *fuzzy* utilizando como entrada informações obtidas do algoritmo de atenção visual aplicado à cena, de forma que funcione bem em diferentes cenários, inicialmente diurno e noturno.

## 2. BACKGROUND E TRABALHOS RELACIONADOS

Proposta inicialmente por [3], a lógica *fuzzy* pode ser considerada como uma extensão da lógica tradicional, baseada na hipótese de que uma proposição lógica não é necessariamente verdadeira ou falsa, mas possui graus de verdade. Na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

de um elemento a um conjunto é bem definido. Sendo assim, para um conjunto contido em um universo, os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não àquele conjunto. A teoria dos conjuntos *fuzzy* vem sendo utilizada para tratar problemas que envolvam informações imprecisas, ajudando no desenvolvimento de soluções, de forma a aproximar o comportamento humano, comparado às soluções encontradas utilizando a teoria clássica de conjuntos. Um modelo fuzzy será aplicado neste trabalho com o objetivo de classificar uma área saliente na imagem como sendo um semáforo ou não, além de classificar o seu tipo, se vermelho ou verde.

Implementar um detector e reconhecedor de semáforos não é uma tarefa trivial, uma vez que há diversos problemas a serem vencidos para se detectar e reconhecer o estado de um semáforo de forma confiável. Entre os desafios estão a condição do tempo que altera a iluminação do ambiente e dificulta a identificação de qual sinal está ativo no semáforo, semáforos de tipos diferentes (horizontal ou vertical, suspenso ou em poste), além de outros componentes que se confundem com o semáforo por terem características comuns como a cor.

Diversos tipos de reconhecedores de semáforos têm sido sugeridos na literatura. Alguns dos trabalhos mais relevantes serão resumidos a seguir.

Em [4], foi proposto um método de detecção e reconhecimento utilizando informação de cor do semáforo, seu trabalho é um dos mais citados entre os trabalhos mais recentes. No método proposto pelo autor uma vez que a performance de sistemas de visão computacional é muito afetada em ambiente aberto por conta da variação de iluminação, inicialmente uma série de imagens do ambiente são utilizadas pelo sistema para estimar parâmetros de iluminação. Após uma filtragem por cor, um método *fuzzy* é aplicado à imagem filtrada, juntamente com parâmetros de iluminação gerados no início do processo. Ainda outro método *fuzzy* é aplicado após isso para eliminar ruídos e destacar áreas que podem ser semáforos. Para eliminar áreas que foram destacadas na fase anterior, mas que são falsos positivos, [4] utilizam informação relativa temporal e espacial, pois, de acordo com os autores, os sinais verde, amarelo e vermelho possuem relação de espaço bem definidas entre si, bem como de sequência de mudança de sinal (verde, após o verde sempre o amarelo, após o amarelo sempre o vermelho, e após o vermelho sempre o verde).

Um método de detecção sem uso de informação de cor foi proposto por [5]. Em vez de usar a cor para isso, os autores detectam a luz do semáforo utilizando o algoritmo *Top-Hat*, e filtram o resultado da aplicação do algoritmo usando as propriedades conhecidas das luzes dos semáforos, tais como: raio e a luz do semáforo. Em um processo seguinte de eliminação de falsos positivos, para cada luz detectada é encontrada sua posição na imagem original, e daí aplica-se um algoritmo de crescimento na região. Se a área identificada for similar a área destacada pelo *Top-Hat*, a luz detectada provavelmente é real. Para reconhecimento final do semáforo, templates geométricos adaptativos são aplicados nas luzes candidatas remanescentes. Interessante notar que os templates foram projetados de forma a se implementar facilmente diversos formatos de semáforo com pouca mudança no código. Os autores disponibilizam também um benchmark de imagens que outros pesquisadores podem usar para testar em suas pesquisas, e se desejarem, comparar os resultados.

Apesar de em número consideravelmente menor, já se encontra na literatura métodos capazes de identificar semáforos à noite. Um desses métodos foi proposto por [6], utilizando informação de cor para selecionar regiões candidatas a semáforo, por meio do isolamento de áreas verdes e vermelhas, utilizando uma transformada de cor, após, falsos candidatos são eliminados com base nas características conhecidas de uma luz de semáforo (raio, por exemplo). Um classificador SVM (*Support Vector Machine*) é utilizado em conjunto com três outros algoritmos com o objetivo de identificar o significado do semáforo. Este classificador é específico para o horário noturno e só funciona com semáforos horizontais.

Na Tabela 1, a seguir, observa-se os principais trabalhos relacionados citados anteriormente, com algumas das suas características em destaque. Na última linha da tabela, encontra-se o que se pretende alcançar com relação a estas características no trabalho proposto.

**Table 1: Comparação de algumas características importantes dos trabalhos relacionados com o trabalho proposto**

| Autor           | Usa Cor | Horário     | Tipo de Semáforo |
|-----------------|---------|-------------|------------------|
| CHUNG et al.    | SIM     | Dia e noite | Horiz.           |
| CHARETTE et al. | NÃO     | Dia         | Horiz. e Vert.   |
| KIM et al.      | SIM     | Noite       | Horiz.           |
| ALMEIDA et al.  | SIM     | Dia e noite | Horiz. e Vert.   |

### 3. MÉTODO

Esta seção apresentará detalhadamente o modelo desenvolvido. Inicialmente para detectar os pontos mais salientes da imagem de entrada, que são os pontos vermelhos ou verdes da luz do semáforo, foi utilizado o algoritmo de mapa de saliência proposto por [7]. Algumas adaptações foram feitas no algoritmo de atenção visual implementado, para que este se encaixasse melhor às necessidades da pesquisa corrente, em [2] o algoritmo é apresentado de forma detalhada discutindo tais adaptações. Em seguida, serão apresentados os passos referentes à classificação fuzzy com base em histogramas.

O diagrama da Figura 1 apresenta o fluxo do mecanismo proposto, que pode ser descrito brevemente como: o processo se inicia com a obtenção da imagem de entrada, provinda de uma câmera posicionada dentro de um veículo e direcionada para a parte dianteira do veículo; após isso a imagem obtida é tratada e, em seguida, processada com o algoritmo de atenção visual com fim de obter o mapa de saliência; no passo seguinte o mapa de saliência é limiarizado; esse mapa limiarizado é utilizado para destacar a saliência para classificação; e por fim, a classificação fuzzy é realizada com base nestes histogramas.

Para ter o conhecimento especialista, ou seja, de quando determinada área da imagem é um semáforo, regiões de semáforos de algumas imagens foram extraídas, em seguida foi feito o cálculo da média e desvio padrão dos histogramas do conjunto de imagens. Com esses valores foi possível gerar o modelo *fuzzy*, para isso, foi utilizado a biblioteca *jfuzzylite*. *Fuzzylite* é uma biblioteca de controle lógica fuzzy livre e de código aberto programado em C++ e Java para várias pla-

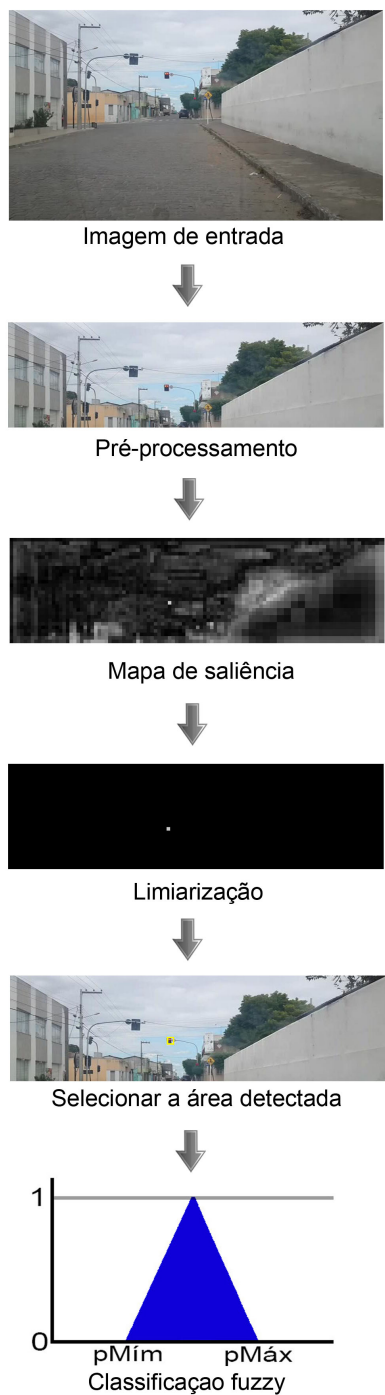


Figure 1: Diagrama que representa o fluxo do mecanismo proposto

taformas (Windows, Linux, Mac, iOS, Android). Seu objetivo é permitir que o usuário crie facilmente os controladores de lógica difusa em algumas etapas que utilizam programação orientada a objetos, sem necessidade de bibliotecas de terceiros [8]. Após esse processo, as regiões salientes (identificadas na fase anterior), são submetidas à classificação.

#### 4. EXPERIMENTOS

Uma aplicação foi desenvolvida em [2] com o fim de testar o modelo. Esta aplicação possui como entrada um conjunto de imagens que são processadas e classificadas, exibindo como resultado se na cena possui um semáforo verde ou vermelho. Neste trabalho houve o incremento do módulo de reconhecimento baseado em fuzzy na aplicação e foram realizados os mesmos experimentos descritos em [2]. A base de dados é a mesma utilizada no trabalho pesquisa anterior [2], em que as imagens de entrada foram obtidas de vídeos gravados durante o dia e durante a noite, da câmera traseira de um celular posicionado dentro de um carro. A câmera utilizada possui resolução de 8 megapixels, e os vídeos foram gravados na seguinte dimensão: 1920 pixels de largura por 1080 pixels de altura. Os vídeos foram redimensionados para 640 pixels de largura por 480 pixels de altura e foram extraídos quadros dos vídeos em intervalos de 1 segundo. Os experimentos serão detalhados a seguir.

Para este trabalho a base de dados foi dividida em duas, cerca de um terço foi utilizado na fase de treinamento do modelo *fuzzy*, o restante foi utilizado para os testes.

O primeiro experimento, constitui-se de um conjunto de 28 quadros, dos quais 18 possuem o semáforo vermelho, e 10 possuem o semáforo verde. Foi realizado em ambiente arborizado, que pode confundir o modelo a depender dos parâmetros utilizados.

O segundo experimento, constitui-se de um conjunto de 51 quadros, dos quais 37 possuem o semáforo vermelho, e 14 possuem o semáforo verde. O experimento foi realizado em ambiente arborizado, sem luz forte, com semáforos grandes e visivelmente destacados.

O terceiro experimento, constitui-se de um conjunto de 35 quadros, dos quais 25 possuem o semáforo vermelho, e 10 possuem o semáforo verde. A maior parte das cenas possui dois semáforos, um superior e um lateral, sendo que o superior apresenta duas luzes vermelhas.

O quarto experimento, constitui-se de um conjunto de 35 quadros, dos quais 24 possuem o semáforo vermelho, e 11 possuem o semáforo verde. Nas Figuras 2 e 3 é possível observar um trecho do experimento no período diurno e noturno, respectivamente, onde estão exibidas quatro linhas, que apresentam as imagens de entrada, os mapas de saliência, os mapas de saliência limiarizados, e por fim as classificações encontradas ao calcular os histogramas ponderados.

Este experimento apresenta incidência de luz forte na cena, o que dificulta a detecção e posterior classificação. Apesar disto, observa-se que o modelo obteve um bom comportamento.

O quinto experimento, constitui-se de um conjunto de 16 quadros, dos quais 4 possuem o semáforo vermelho, e 12 possuem o semáforo verde. O experimento apresenta grande variação de posição do semáforo entre os quadros, e apesar disto, o modelo detecta corretamente a saliência.

O sexto experimento, realizado à noite, constitui-se de um conjunto de 57 quadros, dos quais 47 possuem o semáforo vermelho, e 10 possuem o semáforo verde. À noite, o modelo comportou-se particularmente bem, uma vez que os semáforos tornam-se mais luminosos devido a ausência de luz solar. Considerou-se um ambiente livre de outras luzes vermelhas ou verdes, como letreiros por exemplo.

Os experimentos apresentados possuem um total de 194 quadros, sendo 137 obtidos pelo dia e 57 pela noite, todos realizados na cidade de Ribeirãopolis - SE. Em [2] o modelo

comportou-se bem em todos os ambientes detalhados anteriormente, sendo estes: com árvores e objetos vermelhos, como placas, presentes na cena; com incidência de luz solar forte; à noite; e com grande variação de posição entre os quadros. No entanto, uma vez que a classificação se baseava na cena inteira, muitos erros na fase de detecção geravam um resultado falso positivo, por exemplo, a área detectada era uma área verde diferente do semáforo, no entanto a cena continha um semáforo verde e portando o resultado estava correto, porém baseado em preceitos errados.

Com o uso de fuzzy para classificar as saliências detectadas pelo algoritmo de atenção visual, percebeu-se uma queda no acerto de forma geral, cerca de 80% das imagens foram classificadas corretamente, contra mais de 90% de taxa de acerto obtida em [2]. Entretanto, a classificação tornou-se mais fiel à área da saliência detectada, aumentando a confiabilidade do modelo, e apontando a necessidade de melhorias no processo de detecção, que se mostra deficiente especialmente em ambientes diurnos com presença de semáforo de cor verde.

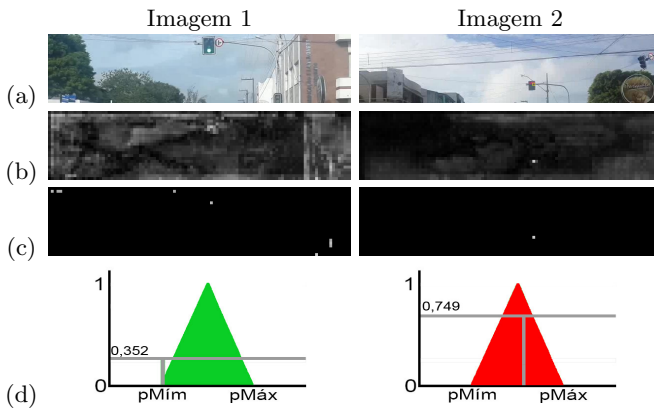


Figure 2: Exemplo de experimento no turno do dia, em Ribeirópolis - SE. a) Imagem de Entrada; b) Mapa de saliência; c) Mapas de saliência limiarizado; d) Classificação.

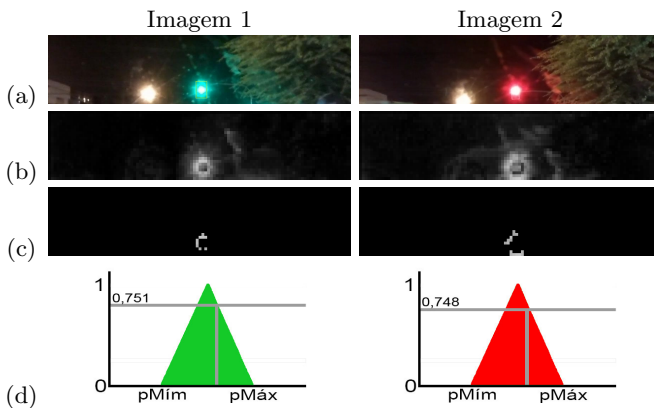


Figure 3: Exemplo de experimento no turno da noite, em Ribeirópolis - SE. a) Imagem de Entrada; b) Mapa de saliência; c) Mapas de saliência limiarizado; d) Classificação.

## 5. CONCLUSÃO

Embora o uso de *fuzzy* não tenha aumentado a taxa de acerto geral do modelo, aumentou a sua confiabilidade, eliminando falsos positivos e destacando a necessidade de melhorias na fase de detecção de semáforo, que se mostrou mais deficiente em ambientes diurnos com semáforo verde.

Com o fim de aprimorar a fase de detecção aumentando a taxa de acerto do modelo pode-se utilizar a informação de intensidade da imagem, que não está sendo utilizada hoje, aplicando pesos às informações de intensidade e cor obtidos. Este aprimoramento será realizado em um trabalho futuro.

Com o objetivo de situar melhor o trabalho na literatura e validar mais profundamente o modelo futuramente serão realizadas comparações com imagens de semáforos disponibilizadas por outras pesquisas em ITS.

Trabalhos futuros, após a melhoria no algoritmo de detecção, também realizarão experimentos com maior número de imagens, e incluindo ambientes mais complexos, com letreiros luminosos e outros focos de atenção. Está sendo avaliado também a possibilidade de criação de um projeto colaborativo, no qual outras instituições possam contribuir com imagens.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à UFS pelo suporte financeiro concedido [Edital POSGRAP/COPES/UFS No 03/2014 14/2012 (HERMES), Processo 008325/14-72] e ao CNPq pela bolsa de produtividade concedida ao pesquisador Hendrik Macedo [Modalidade/Nível: DT-II, Processo 310446/2014-7].

## 6. REFERENCES

- [1] Diaz-Cabrera, M., Cerri, P., Medina-Sanchez, J. (2012) Suspended traffic lights detection and distance estimation using color features. World Academy of Science, Engineering and Technology. Acesso em: 17 set. 2014. [Online]. Available: <http://www.ce.unipr.it/people/bertozzi/pap/cr/itsc2012.semafori.pdf>
- [2] Almeida, T.; Vasconcelos, N.; Benicasa, A., "Framework para detecção de semáforos baseado em atenção visual." *Conference on Graphics, Patterns and Images, 28. (SIBGRAPI), Salvador., 2015.*
- [3] L. A. ZADEH, "Information and control," *Fuzzy Sets.*, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- [4] W. J. C. S. Chung, Y., "A vision-based traffic light detection system at intersections," *Journal of National Taiwan Normal University: Mathematics, Science Technology*, vol. 47, pp. 67–86, 2002.
- [5] N. F. Charette, R., "Real time visual traffic lights recognition based on spot light detection and adaptive traffic lights templates," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 358–363, 2009.
- [6] S. Y. K. S. P. J. J. H. Kim, H., "Night-time traffic iht detection based on svm with geometric moment features," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 7, 2013.
- [7] K. C. N. E. Itti, L., "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 20(11)*, pp. 1254–1259, 1998.
- [8] J. Rada-Vilela, "Fuzzylite: uma biblioteca de controle lógica fuzzy. disponível em: <http://www.fuzzylite.com>," 2014.