

Sistemas de Controle Fuzzy Adaptativos

Sistemas fuzzy surgiram a partir da necessidade de lidar com informação incerta, vaga ou imprecisa. O objetivo é tratar matematicamente e computacionalmente situações típicas do mundo real. Estes sistemas admitem dados, parâmetros, variáveis (objetos em geral) com limites não muito bem definidos. Objetos similares possuem um grau de pertinência similar em certos conjuntos. Conjuntos são rotulados por valores linguísticos. Este fato facilita a construção de modelos e controles baseados na experiência humana sobre certo domínio. Não obstante, modelos fuzzy baseados em regras podem ser construídos a partir de dados e de algoritmos de aprendizagem de máquina.

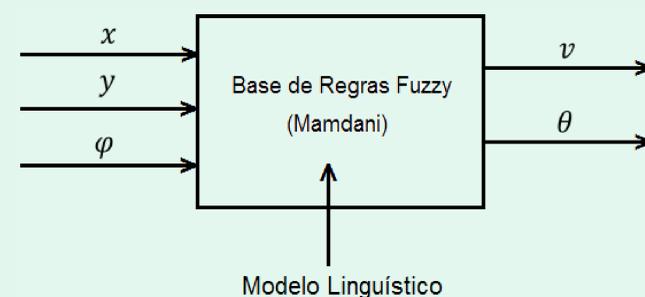
Uma frente de pesquisa em controle fuzzy diz respeito à implementação de algoritmos incrementais de aprendizagem, i.e. algoritmos capazes de adaptar os parâmetros de controladores fuzzy a partir de fluxos de dados de sensores. Essa abordagem é interessante já que situações não previstas *a priori* podem ser incorporadas ao conhecimento atual sobre o sistema físico – conhecimento este inerente à base de regras. Além disso, o aspecto fuzzy da abordagem pode lidar com incertezas e situações conflitantes; isto não é comum em sistemas de controle convencionais, nem em sistemas de controle inteligentes não-fuzzy.

Navegação Autônoma

Uma importante área de aplicação de sistemas fuzzy é denominada 'controle de veículos autônomos'. Robôs móveis terrestres (UGVs) equipados com controladores fuzzy podem tomar decisões em tempo real diante de situações que surgem ao longo de um trajeto até que se alcance um objetivo. Em particular, neste trabalho, gerou-se modelo fuzzy para pilotagem de um veículo a partir das equações cinemáticas de movimento de uma partícula no plano. Três são as variáveis de entrada do controlador, viz. ângulo do veículo com relação ao eixo vertical, φ , e coordenadas do veículo em uma arena, x e y . São duas as variáveis de saída do controlador, i.e. velocidade do veículo, v , e ângulo do volante, θ . A simulação do ambiente de navegação contou com uma interface gráfica e as seguintes equações de atualização:

$$x(k+1) = x(k) + v(k) \sin \varphi(k) \quad y(k+1) = y(k) + v(k) \cos \varphi(k) \quad \varphi(k+1) = \varphi(k) + \theta(k)$$

onde v e θ são fornecidos pelo controlador fuzzy a cada iteração k .



Proposta

Método Fuzzy de Mamdani

O método de inferência de Mamdani (máximo dos mínimos) associa conjuntos fuzzy antecedentes de regras com conjuntos fuzzy consequentes. Em particular, o método é de fácil implementação já que intuitivamente conhecemos o domínio de condução de veículos e podemos expressar tal conhecimento a partir da linguagem.

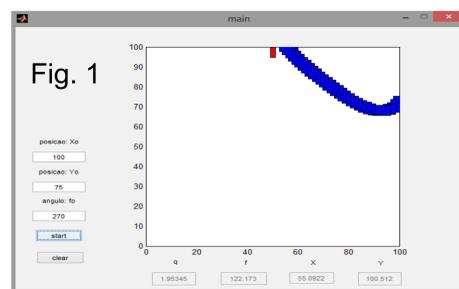
As regras implementadas no controlador fuzzy em questão são do tipo:

$$R^i: SE (x \text{ é } A_i) E (y \text{ é } B_i) E (\varphi \text{ é } C_i) \\ \text{ENTÃO } (v \text{ é } D_i) E (\theta \text{ é } E_i)$$

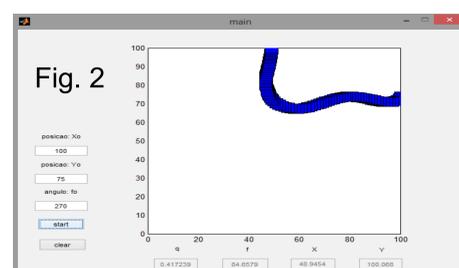
As saídas de regras do tipo Mamdani resultam da agregação T-conorma (max) das saídas parciais de cada regra i . Para obter cada saída parcial calcula-se a pertinência de amostras de entrada em cada um dos conjuntos fuzzy antecedentes, A_i , B_i e C_i , das regras fuzzy. Em seguida, implementa-se agregação T-norma (min), para obter o grau de ativação de cada uma das regras i de uma base de regras. A projeção dos níveis de ativação das regras nos conjuntos fuzzy, definidos no espaço de saída, D_i e E_i , determina a saída parcial dada por uma regra i .

Simulações em MatLab

Simulações foram realizadas com auxílio dos *toolboxes fuzzy* e *guide* do software MatLab. As Figs. 1 e 2 mostram exemplos de trajetórias percorridas pelo veículo desde um ponto inicial qualquer até o objetivo. A Fig. 1 mostra resultado obtido a partir do controle de ângulo apenas. Note que o objetivo (detalhe em vermelho) não é alcançado com precisão.

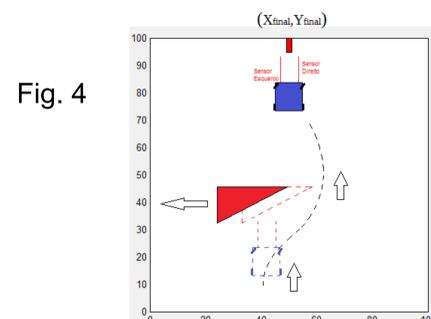
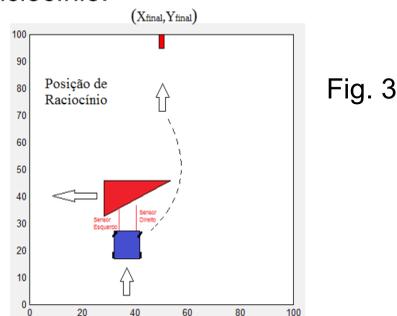


A partir do mesmo ponto inicial, a Fig. 2 mostra a trajetória quando implementados os controles de ângulo e velocidade. Note: (i) a trajetória foi corrigida; (ii) o veículo estacionou no ponto objetivo; (iii) a trajetória é suave e contínua, i.e. respeita limites físicos e mecânicos.



Desvio de Obstáculos Móveis

A pesquisa em andamento considera duas novas entradas no sistema de controle fuzzy, i.e. sensores dianteiros de presença. A ideia é incluir obstáculos móveis na arena 2D e fazer com que o veículo os perceba, e seja capaz de encontrar soluções de contorno mantendo seu objetivo primário. Seu objetivo primário, naturalmente, é atingir o ponto alvo. As Figs. 3 e 4 ilustram um exemplo de processo de detecção de obstáculo e raciocínio.



Conclusão e Próximos Passos

O problema de robótica móvel denominado *go-to-goal* tem sido 'bem solucionado' a partir da abordagem de inteligência computacional fuzzy desenvolvida no presente trabalho. Particularmente, foi possível, partindo-se de pontos iniciais aleatórios, atingir o objetivo sem erro estacionário, i.e. o veículo reduz a velocidade e estaciona no ponto alvo. Além disso, a trajetória não oscila significativamente, e é contínua durante todo o deslocamento do veículo. Navegação autônoma em ambiente desconhecido, ainda que plano, é um problema difícil. Nesse sentido, este trabalho tem obtido êxito.

No futuro serão considerados terrenos irregulares e novos ambientes sujeitos a obstáculos móveis. Os trabalhos futuros tomarão por base a interface gráfica (simulador) e o controlador construídos neste trabalho. O veículo autônomo deverá usar mecanismos de raciocínio fuzzy, sensores adicionais e câmera para que as irregularidades do terreno sejam detectadas e os novos obstáculos sejam superados.

Referência Bibliográfica

Kong, S.; Kosko, B. "Adaptive Fuzzy Systems for Backing up a Truck-and-Trailer." IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 3, no 2, pp. 211-223, 1992.