

## CAMPOS POTENCIAIS APLICADOS AO PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DE ROBÔS

Alberto Angonese<sup>1</sup>  
Ricardo Rodrigues Gomes<sup>2</sup>  
Leandro de Lima da Silva<sup>3</sup>

A robótica autônoma móvel é o ramo da robótica que se dedica ao desenvolvimento e aplicação de robôs capazes de se deslocar pelo ambiente. Esses robôs podem ser programados para realizar uma variedade de tarefas, como explorar áreas perigosas ou inacessíveis para humanos, auxiliar em tarefas de manufatura ou limpeza, ou mesmo atuar como veículos de transporte autônomos.

A robótica móvel é uma área em constante evolução, com novas tecnologias e aplicações sendo desenvolvidas a todo o momento. É um campo de pesquisa ativo em várias áreas, incluindo a ciência da computação, a engenharia elétrica e mecânica, e a ciência da informação. Com o avanço da tecnologia, os robôs móveis estão se tornando cada vez mais avançados e capazes de realizar uma variedade cada vez maior de tarefas.

Entretanto, antes de ser capaz de realizar tarefas complexas, o robô deve realizar uma série de tarefas que podem ser consideradas simples, como ser capaz de "andar" de forma autônoma de um ponto inicial até um ponto final desviando-se de um obstáculo, como representado na Figura 1. Este problema é conhecido como planejamento de trajetória, sendo considerado um dos problemas mais primordiais que todo robô móvel deve ser capaz de resolver.

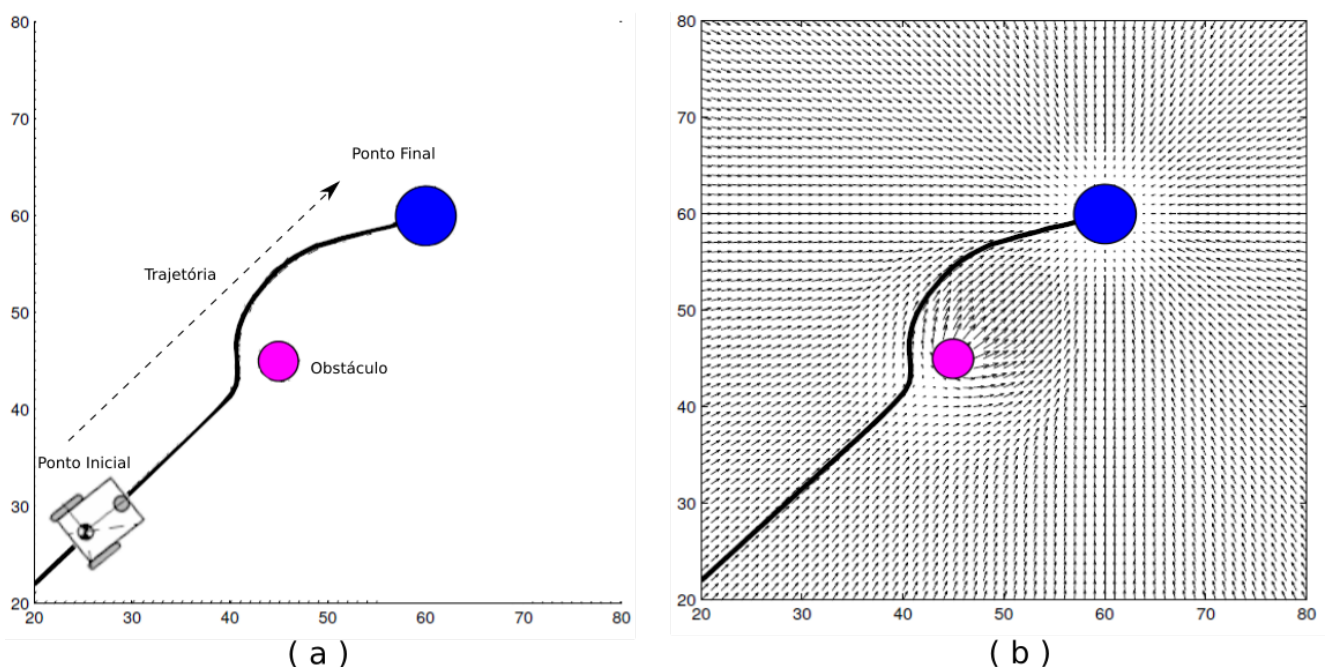


Figura 1: Campos Potenciais Atrativo e Repusivo aplicados no planejamento de trajetória de um robô móvel (Fonte: Adaptado de [3])

Existem diversas técnicas computacionais que podem ser empregadas no planejamento de trajetórias de robôs móveis. Algumas se baseiam em algoritmos de visão computacional [2], outras utilizam algoritmos genéticos [1], entretanto em diversos cenários o problema pode ser tratado com a aplicação de princípios básicos de geometria. Uma das técnicas de planejamento de trajetórias mais tradicionais, que utiliza tais princípios, é conhecida como campos potenciais. Neste artigo será apresentada a implementação da técnica de Campo Potencial proposta por [3].

Podemos demonstrar a aplicação da técnica de Campos Potenciais pelo cenário simplificado, ilustrado na Figura 1. Na Figura 1(a), um robô deve realizar uma navegação do ponto inicial até

o ponto final representado pelo círculo azul, desviando-se do obstáculo representado pelo círculo magenta. Na Figura 1(b) é ilustrado o campo potencial em funcionamento, o que fará com que o robô seja atraído para o círculo azul (ponto final) enquanto simultaneamente seja repelido pelo campo repulsivo do obstáculo.

Genericamente a implementação de um **Campo Potencial** se dá pela união do **campo atrativo** com o **campo repulsivo** resultando no **campo potencial total**.

Ainda considerando o cenário representado pela Figura 1 para o **campo potencial atrativo**, considera-se  $(X_r, Y_r)$  como as coordenadas do robô,  $(X_p, Y_p)$  como coordenadas do ponto final. Tomados esses pontos, pode-se calcular a distância entre o robô e o ponto final

$$d_{rb} = \sqrt{(X_p - X_r)^2 + (Y_p - Y_r)^2}$$

A direção entre o robô e o ponto final é dada por

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y_p - Y_r}{X_p - X_r} \right)$$

Após isso são calculados os gradientes de atração  $\nabla X_r$  e  $\nabla Y_r$  pelas seguinte regras:

1. Se  $d < R$  então  $\nabla X_r = \nabla Y_r = 0$
2. Se  $d > R + s$  então  $\nabla X_r = \alpha s \cos(\theta)$  e  $\nabla Y_r = \alpha s \sin(\theta)$
3. Se  $R \leq d \leq R + s$  então  $\nabla X_r = \beta R \cos(\theta)$  e  $\nabla Y_r = \beta R \sin(\theta)$

onde.  $R$  e  $s$  são, respectivamente, o raio do ponto de atração e a área de influência em torno do ponto final (ponto de atração).

Essas regras definem o comportamento de movimentação do robô em relação ao objetivo e cuja aplicação resulta em um campo vetorial semelhante ao da Figura 1(b)

Na primeira regra o robô chegou no objetivo (ponto final), isso significa que as forças devem estar nulas  $\nabla X_r = \nabla Y_r = 0$ . Na segunda regra o robô está na área de influência  $s$ , o que significa que está próximo ao objetivo e deve desacelerar. Na última regra o robô está fora da área de influência, então são aplicados valores mais altos ao vetor de força no sentido de aproximá-lo do objetivo (ponto final).

Já para o **campo potencial repulsivo**, considera-se  $(X_r, Y_r)$  as coordenadas do robô,  $(X_o, Y_o)$  como coordenadas do obstáculo. Tomados esses pontos, calcula-se a distância entre o robô e o obstáculo.

$$d_{rb} = \sqrt{(X_o - X_r)^2 + (Y_o - Y_r)^2}$$

A direção entre o robô e o obstáculo é dada por

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y_o - Y_r}{X_o - X_r} \right)$$

Após isso são calculados os gradientes de repulsão  $\nabla X_o$  e  $\nabla Y_o$  pelas seguinte regras:

1. Se  $d < R$  então  $\nabla X_o = -\beta s \cos(\theta)$  e  $\nabla Y_o = -\beta s \sin(\theta)$
2. Se  $R \leq d \leq R + s$  então  $\nabla X_o = -\beta(R + s - d) \cos(\theta)$  e  $\nabla Y_o = -\beta(R + s - d) \sin(\theta)$
3. Se  $d > R + s$  então  $\nabla X_o = \nabla Y_o = 0$

onde.  $R$  e  $s$  são, respectivamente, o raio do obstáculo (ponto de repulsão) e a área de influência em torno do obstáculo (ponto de repulsão).

Da mesma forma que no campo atrativo, as regras para o **campo repulsivo** estabelecem os comportamentos do robô de acordo com sua posição em relação ao obstáculo e que resulta em um campo vetorial semelhante ao da Figura 1(b). Entretanto, neste procedimento, os vetores assumem uma direção que os afasta do ponto central (obstáculo) com uma intensidade que diminui a medida que se afasta deste ponto, diferentemente do campo atrativo que assume um comportamento contrário a este, ou seja em direção ao ponto final (objetivo).

A primeira regra indica que o robô está muito próximo ao centro do obstáculo, então são aplicados valores máximos no sentido de expulsá-lo o mais rápido possível dessa posição. Na segunda regra, os vetores de força também agem no sentido de afastar o robô do obstáculo, porém com valores menores, o que causa um desvio mais suave. Na última regra o veículo encontra-se longe do obstáculo, resultando em vetores de força nulos.

Por fim, os campos potenciais atrativos e repulsivos, agora são combinados para a geração do **campo potencial total** que definirá um padrão de planejamento de trajetória com desvio de obstáculos como está representado na Figura 1(b). Este campo é criado pela adição dos gradientes  $\nabla X_p$  e  $\nabla Y_p$  gerados pelo campo atrativo e  $\nabla X_o$  e  $\nabla Y_o$  provenientes dos campos repulsivos dos obstáculos do ambiente de navegação:

$$\nabla X_{total} = \nabla X_o + \nabla X_p$$

$$\nabla Y_{total} = \nabla Y_o + \nabla Y_p$$

Uma vez calculados os gradientes totais,  $\nabla X_{total}$  e  $\nabla Y_{total}$ , é possível determinar a velocidade  $v$  e o ângulo  $\theta$  do vetor de força do campo potencial respectivamente por:

$$v = \sqrt{(\nabla X)^2 + (\nabla Y)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\nabla Y}{\nabla X} \right)$$

Na prática a velocidade  $v$  e o ângulo  $\theta$  serão convertidos em comandos de motor efetivando a movimentação do robô pela trajetória planejada.

O principal inconveniente da técnica de Campos Potenciais é a formação de mínimos locais, que são obstáculos cuja disposição ou forma podem resultar em um somatório de forças nula, paralisando a movimentação de um robô. Tal característica limita o seu uso em ambientes muito desestruturados, entretanto a técnica apresenta bom desempenho quando aplicada no planejamento de trajetórias e desvio de obstáculos, dada a sua simplicidade matemática e elegância.

## Referências

- [1] DE ALMEIDA, J. P. L. S., DE ARRUDA, L. V. R., AND NEVES-JR, F. Planejamento de rota por meio de algoritmo genético para um enxame de robôs.
- [2] DIRIK, M., CASTILLO, O., AND KOCAMAZ, F. *Vision-Based Mobile Robot Control and Path Planning Algorithms in Obstacle Environments Using Type-2 Fuzzy Logic*, vol. 407. Springer Nature, 2021.
- [3] GOODRICH, M. A. Potential fields tutorial. *Class Notes 157* (2002).

## Notas:

<sup>1</sup> Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Católica de Petrópolis (2001), mestrado em Sistemas e Computação (MSc), (2013) e Doutorado (DSc) em Engenharia de Defesa (2017) pelo Instituto Militar de Engenharia. Atualmente atua como coordenador do ciência da Computação do Centro Universitário Serra dos Órgãos - UNIFESO. Também ministra as disciplinas de Robótica, Teoria da Computação e Redes. Atua também como professor da Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro, campus FAETERJ - Petrópolis, onde ministra aulas de Organização de Computadores, Sistemas Operacionais e Técnicas de Comunicação de Dados. Participa também da coordenação e desenvolvimento de projetos de inteligência computacional com foco em competições robóticas.

**E-mail:** albertoangonese@unifeso.edu.br@unifeso.edu.br.

**Currículo Lattes:** www.lattes.cnpq.br/8039229243803003

<sup>2</sup> Possui Graduação em Física (2012), Mestrado em Física (2015) e Doutorado em Ciências Físicas (2020) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Foi Docente Substituto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), lotado no Instituto de Matemática e Estatística (IME). Atualmente é Professor I na Universidade Veiga de Almeida (UVA) e do Centro Universitário Serra dos Órgãos (UNIFESO). Foi Pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa Física Fundamental Teórica e Aplicada da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). E também Líder e Coordenador do Núcleo Interdisciplinar de Pesquisas das Fundamentações Filosóficas e Pedagógicas das Ciências Exatas, Humanas e Afins (NIFFIPE-UVA), tendo publicações e participações em Congressos e Seminários de cunho pedagógico e interdisciplinar.

**E-mail:** ricardogomes@unifeso.edu.br.

<sup>3</sup> Possui Mestrado em Matemática aplicada – Profmat. Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura. Colégio Pedro II Campo de São Cristóvão, Rio de Janeiro. Especialização em Docência em Matemática e Práticas Pedagógicas. Faculdade Única de Ipatinga, FUNIP e Graduação em Licenciatura em Matemática – Unifeso

**E-mail:** leandrosilva@unifeso.edu.br@unifeso.edu.br@unifeso.edu.br.

**Currículo Lattes:** www.lattes.cnpq.br/7228196998718379