

MANNABBR: PATH PLANNING E NAVEGAÇÃO DE UM ROBÔ EQUILIBRISTA

Leandro Eiki Iriguchi (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Linnyer Beatrys Ruiz Aylon
(Orientador). E-mail: ra120120@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Informática, Maringá, PR.

Área e sub-área do conhecimento: Ciência da Computação / Sistemas de Computação

Palavras-chave: Robótica; Dinâmica e controle; Sistemas subatuados

RESUMO

A Robótica e, mais especificamente, a mobilidade de robôs, é um tema de pesquisa desenvolvida no contexto do @manna_team (uma teia de pesquisa, desenvolvimento, inovação e difusão científica). Essa pesquisa lida com os desafios de navegação e plano de rotas do Ball Balancing Robot (BBR), que é um robô vertical e esguio que se equilibra no topo de uma esfera. Esse sistema é subatuado, com restrições dinâmicas não holonômicas, o que significa que ele não pode ser controlado diretamente em todas as direções possíveis, mas possui uma movimentação omnidirecional, conferindo-lhe um grande potencial de mobilidade em ambientes desordenados e estreitos. Devido a essas características, o BBR é especialmente interessante para navegação em espaços confinados e complexos. Além das necessidades de hardware, como sensores e mecanismos de controle, o desenvolvimento de um BBR requer uma análise matemática robusta, incluindo equações de movimento, controle de balanço e planejamento de trajetórias (Path Planning). Este trabalho se concentrou na concepção de um protótipo, começando pela modelagem da estrutura robótica. A configuração triangular das rodas omnidirecionais foi projetada em 3D utilizando um software de CAD, e as peças foram fabricadas por meio de usinagem e impressão 3D.

INTRODUÇÃO

Na busca por novas formas de locomoção aplicáveis ao campo da robótica, abordagens que utilizam esferas como base ou mecanismo para sistemas de locomoção começaram a ser exploradas, com problemas de balanço sendo amplamente investigados na Teoria de Controle. Pesquisas sobre novas abordagens tecnológicas para o transporte, particularmente relacionadas à mobilidade de rodas, partem do princípio de que veículos e estruturas robóticas são comumente equipados com rodas não holonômicas, que restringem o eixo de movimento. Dessa

forma, a capacidade de se mover em qualquer direção é desejável, eliminando a restrição direcional. Lauwers, Kantor e Hollis (2005) desenvolveram pela primeira vez um protótipo bem-sucedido e cunharam o termo *ballbot*.

O objetivo desse trabalho é o estudo e a concepção de um protótipo de um robô BBR que possa ser utilizado em feiras e exposições de popularização da ciência.

MATERIAIS E MÉTODOS

Path Planning

O *Path Planning* para robôs dinâmicos geralmente requer um planejamento em um espaço dimensional mais alto e uma análise diferenciada em comparação aos robôs cinemáticos, uma vez que a dinâmica do robô deve ser respeitada no planejamento da trajetória. Nessa etapa, foram analisados matematicamente os requisitos relacionados ao *Path Planning* para a dinâmica subatuada do *ballbot*. Por exemplo, foi considerado como o *ballbot* inicialmente precisa se mover para trás para alterar sua inclinação e, assim, acelerar para frente. Além disso, foram analisadas as parametrizações utilizando splines e baseadas na distância euclidiana.

Controle e Algoritmos de Balanço

Nessa etapa, além dos requisitos de hardware, como o IMU (Unidade de Medição Inercial), foi analisada e desenvolvida uma estratégia para o controle do Sistema de Balanço do robô. O sistema utiliza um controle PID para manter o equilíbrio. No entanto, devido às simplificações e à existência de elementos difíceis de serem modelados, que influenciam o funcionamento do *ballbot*, considerou-se a possibilidade de utilizar *Reinforcement Learning* (RL).

No entanto, os métodos de RL padrão não podem ser usados exclusivamente no *ballbot*, pois exigem que o robô aprenda por meio da interação, o que pode levar à instabilidade. Por isso, foi considerada a possibilidade de usar uma abordagem combinada, integrando um controle de feedback convencional com RL, aproveitando as vantagens de ambas as abordagens, com o RL permitindo lidar com elementos não modeláveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto avançou para a construção do protótipo e o estudo teórico dos requisitos para o balanço e *Path Planning*. O protótipo MANNABBR utiliza uma configuração com três motores acoplados a rodas omnidirecionais. A configuração das rodas tem a vantagem de minimizar a quantidade de atuadores e permitir a rotação do robô em seu próprio eixo.

Durante o estudo do sistema de balanço, também foi considerado o comportamento do robô durante o deslocamento. Nesse sentido, ao se deslocar, o robô parte de um estado considerado estático (encontra-se em determinado ponto); para que o robô saia desse estado e se mova para frente, o ballbot precisa inclinar-se para frente para acelerar e inclinar-se para trás para desacelerar e retornar ao estado de repouso. Durante um intervalo de tempo Δt , o ângulo de inclinação do corpo, β , para cada tempo t , é descrito pela função 1.

$$\beta(t) = \beta_1 \operatorname{sech} \left(k \frac{2t - t_m - t_0}{t_m - t_0} \right) + \beta_2 \operatorname{sech} \left(k \frac{2t - t_f - t_m}{t_f - t_m} \right) \quad (1)$$

De modo que, $t_m = (t_f + t_0)/2$ e k são constantes e β_1 e β_2 são constantes que representam a amplitude da secante hiperbólica. Esses ângulos de inclinação, em um comando com feedback em malha aberta (open-loop), podem ser utilizados para calcular a trajetória do robô. Tal abordagem foi utilizada por Nagarajan, Kantor e Hollis (2009). O sistema mecânico consiste em um mecanismo de propulsão, chassi e uma esfera. Para os motores, conforme Kumagai e Ochiai (2008), motores de passo foram utilizados devido à precisão e ao torque que esses motores podem fornecer.

O protótipo, ilustrado na Figura 1, tinha como objetivo atuar no transporte de cargas, mostrando-se estável a distúrbios e apresentando um equilíbrio dinâmico bastante robusto. Em protótipos mais recentes, como o de Fankhauser e Gwerder (2010), o robô Rezero demonstrou alta capacidade dinâmica, movimentando-se de forma ágil.



(a) Modelo 3D do robô no
Fusion 360



(b) Driving System

Figura 1 – Protótipo do Robôs

CONCLUSÕES

A construção do protótipo MANNABBR enfrenta uma série de desafios técnicos e conceituais. A principal dificuldade reside na criação de um sistema de controle sensível e adaptável, capaz de manter o balanço.

A capacidade de deslocamento em ambientes diversos, interagindo com naturalidade, representa um potencial para transformar a experiência com a robótica móvel no cotidiano. Essa jornada destaca que a busca por soluções e abordagens não convencionais reflete a constante evolução da robótica autônoma.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao @manna_team, a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, pelo apoio.

REFERÊNCIAS

FANKHAUSER, P.; GWERDER, C. **Modeling and control of a ballbot**. Dissertação (B.S. thesis) — Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2010.

KUMAGAI, M.; OCHIAI, T. **Development of a robot balancing on a ball**. In: IEEE. 2008 International Conference on Control, Automation and Systems. Seoul, Korea(South), 2008. p. 433–438.

LAUWERS, T.; KANTOR, G. A.; HOLLIS, R. **One is enough!** In: Proc. International Symposium for Robotics Research. San Francisco, CA, United States of America: IEEE, 2005. p. 1–10.

NAGARAJAN, U.; KANTOR, G.; HOLLIS, R. L. **Trajectory planning and control of an underactuated dynamically stable single spherical wheeled mobile robot**. In: 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Kobe, Japan: IEEE, 2009. p. 3743–3748.