

REVISÃO SOBRE ROBÔS QUADRÚPEDES: NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA E CONTROLE

Vagner dos Santos da Silva¹; Rebeca Tourinho Lima²

¹ Graduando em Engenharia Mecânica; Iniciação Tecnológica - SENAI CIMATEC; vagner.silva@fbter.org.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; rebeca.lima@fieb.org.br

RESUMO

Robôs quadrúpedes, têm uma estrutura baseada em quatro pernas e seus movimentos são projetados para melhor estabilidade e manobrabilidade. Os avanços na aprendizagem de máquinas, visão computacional e algoritmos de controle tornaram possível que os robôs quadrúpedes executem tarefas complexas com maior precisão e eficiência. Estes robôs são capazes de realizar várias tarefas, tais como auxiliar em ambientes perigosos, carregar cargas pesadas ou realizar missões de busca e resgate. O objetivo deste trabalho é apresentar alguns dos últimos resultados de pesquisa no campo dos robôs quadrúpedes com base na análise de alguns dos artigos mais relevantes nesta área, destacando seus sistemas de controle, equilíbrio, navegação autônoma, integração com manipuladores e capacidade de lidar com cargas pesadas.

PALAVRAS-CHAVE: Quadrúpedes; Manipulador; Carga; Equilíbrio.

1. INTRODUÇÃO

Os veículos terrestres não tripulados (*unmanned ground vehicles*, UGVs) são amplamente utilizados em várias aplicações industriais. Entretanto, sua capacidade de superar obstáculos é limitada devido a suas rodas ou esteiras, o que contrasta com sua vantagem de transportar cargas variadas - uma característica que falta aos veículos aéreos não tripulados (*unmanned aerial vehicles*, UAVs). Em contraste, os sistemas com pernas têm uma vantagem significativa de mobilidade sobre os sistemas com rodas e esteiras quando se trata de terrenos não regulares devido à sua capacidade de realizar contatos discretos com o solo.¹

Robôs quadrúpedes, inspirados em mamíferos, têm se tornado uma alternativa cada vez mais popular no mercado em relação aos métodos tradicionais de locomoção, oferecendo tanto capacidade de deslocamento em terrenos difíceis quanto flexibilidade na carga. O projeto de robôs biônicos se beneficia muito com a introdução de movimentos robustos e de economia de energia baseados no movimento dos animais, o que lhe confere um enorme potencial para aplicações em ambientes artificiais e naturais desafiadores.² Extensas pesquisas foram feitas para projetar e controlar tais máquinas, resultando em várias plataformas quadrúpedes demonstrando superior adaptabilidade à topografia.³

Apesar de suas vantagens, os robôs quadrúpedes ainda enfrentam vários desafios. Uma questão é o planejamento de estratégias de locomoção em terrenos acidentados e elevações. Outra preocupação são as mudanças no centro da massa causadas pela adição de novos sensores ou manipuladores robóticos. A aplicação de forças externas a robôs com pernas equipados com manipuladores pode fazer com que eles escorreguem ou não consigam rastrear seu caminho pretendido.⁴ Robôs híbridos que combinam projetos existentes de dois robôs diferentes (ou seja, um manipulador e uma plataforma móvel) podem ser uma solução conveniente em aplicações modernas, reduzindo a complexidade do projeto e da implementação, mas representam novos desafios no controle e integração de alto nível.⁵ Portanto, é necessário testar e validar os limites operacionais de robôs quadrúpedes com extensões de pescoço ou cauda adicionadas.

Dada a relevância e aplicabilidade dos robôs quadrúpedes, é crucial pesquisar e estudar maneiras de melhorar seu desempenho. Assim, esta revisão da literatura foi realizada para reunir informações e conhecimentos sobre as últimas tecnologias implementadas e utilizadas com os robôs quadrúpedes. Além disso, ela apresenta alguns dos resultados obtidos a partir de pesquisas realizadas no estudo do estado da arte sobre robôs quadrúpedes, com base em vários artigos encontrados sobre o tema.

2. METODOLOGIA

Este artigo foi escrito para fazer uma revisão bibliográfica e um estudo do estado da arte sobre robôs quadrúpedes, o estudo contemplou aspectos relacionados a robôs quadrúpedes, com e sem manipuladores acoplados, controle adaptativo para terrenos irregulares, equilíbrio, rampas e escadas, cargas dinâmicas, e navegação autônoma.

Os artigos foram pesquisados em bases de dados científicos, tais como Google Scholar, IEEE Xplore e Scopus. As palavras-chave utilizadas foram as seguintes: *Balance, Quadruped robots, Manipulator,*

Payload, Stairs and Slopes. Foram escolhidas as publicações que abordaram o tema entre 2009 e 2022. A pesquisa dos artigos foi feita entre outubro e novembro de 2022.

Após análise dos títulos, resumos e conclusões sobre os artigos encontrados através de pesquisas nas bases de dados científicos, foram selecionados, lidos e analisados os artigos mais adequados para o tema da pesquisa. Foi escrito um resumo dos tópicos essenciais abordados em cada artigo, resultando numa seleção com temas relevantes, tais como otimização de trajetórias dinâmicas para robustez a distúrbios usando projeções politópicas e navegação autônoma robusta de um robô quadrúpede de pequena escala em ambientes do mundo real, para o desenvolvimento da revisão bibliográfica.

Assim, os principais pontos abordados neste estudo do estado da arte foram selecionados com base nas informações chave apresentada nos artigos lidos, estas informações foram importantes para uma visão geral de como está o atual desenvolvimento de robôs quadrúpedes e quais são as principais questões a serem resolvidas para a evolução e implementação de robôs quadrúpedes para a indústria e consumidores finais.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA

O artigo "*Robust autonomous navigation of a small-scale quadruped robot in real-world environments*" apresenta um estudo sobre as capacidades de navegação de um robô quadrúpede de pequena escala em cenários do mundo real. O estudo visa desenvolver um sistema de navegação robusto que possa permitir ao robô navegar de forma autônoma em ambientes dinâmicos e complexos.¹

Os pesquisadores utilizaram uma abordagem de controle baseada em modelos, combinada com uma gama de sensores, para desenvolver o sistema de navegação. O robô quadrúpede foi equipado com uma câmera, IMU, LiDAR e sensores de contato com os pés, que forneceram feedback para o sistema de controle. Os pesquisadores realizaram experimentos em diferentes ambientes, como escadas, rampas e terrenos irregulares, para avaliar o desempenho do sistema de navegação.

Os resultados do estudo demonstram que o sistema de navegação desenvolvido foi capaz de navegar com sucesso no robô em ambientes complexos. O robô quadrúpede foi capaz de manter seu equilíbrio, evitar obstáculos e adaptar-se às mudanças no ambiente, tais como inclinações e escadas. O estudo destaca o potencial do uso de robôs quadrúpedes para várias aplicações, como missões de busca e resgate ou exploração em ambientes extremos.

3.2 CARGA

Os dois artigos, "*Unknown Payload Adaptive Control for Quadruped Locomotion With Proprioceptive Linear Legs*" e "*Online payload identification for quadruped robots*", apresentam estudos sobre o controle adaptativo de robôs quadrúpedes na presença de cargas desconhecidas.^{5, 6}

O primeiro artigo propõe uma abordagem de controle adaptativo que permite ao robô quadrúpede ajustar sua marcha para manter sua estabilidade e controle, mesmo na presença de mudanças desconhecidas de carga. A abordagem proposta utiliza pernas lineares que podem se adaptar às mudanças na carga sem afetar a estabilidade do robô. O estudo avalia a eficácia da abordagem proposta através de simulações e experimentos em um robô quadrúpede com pernas lineares. Os resultados demonstram que a abordagem de controle adaptativo proposta é capaz de manter a estabilidade e o controle, mesmo na presença de mudanças desconhecidas na carga.

O segundo artigo apresenta um método de identificação de carga *on-line* para robôs quadrúpedes. O método utiliza um algoritmo de aprendizagem de máquina para estimar a massa e a posição da carga útil com base no movimento e nos dados sensoriais do robô. O estudo avalia a eficácia do método proposto através de simulações e experimentos com um robô quadrúpede. Os resultados demonstram que o método proposto é capaz de estimar com precisão a massa da carga e a posição em tempo real.

Os estudos destacam a importância da identificação de cargas e do controle adaptativo para a operação bem sucedida de robôs quadrúpedes em cenários do mundo real.

3.3 CONTROLE

Os dois artigos, "*Optimizing dynamic trajectories for robustness to disturbances using polytopic projections*" e "*Bio-Inspired Take-Off Maneuver and Control in Vertical Jumping for Quadruped Robot with Manipulator*", apresentam estudos sobre a melhoria do desempenho e controle de robôs quadrúpedes.^{4, 2}

O primeiro artigo propõe um método para otimizar as trajetórias dinâmicas de um robô quadrúpede para melhorar sua robustez a distúrbios. O método utiliza projeções politópicas para identificar as regiões do

espaço do estado onde o robô é mais vulnerável a distúrbios e otimizar as trajetórias para melhorar a estabilidade e o controle do robô. O estudo avalia a eficácia do método proposto através de simulações em um robô quadrúpede. Os resultados demonstram que as trajetórias otimizadas melhoram a estabilidade e o controle do robô na presença de distúrbios.

O segundo artigo apresenta uma manobra de decolagem de inspiração biológica e uma estratégia de controle para um robô quadrúpede com um manipulador. A manobra é inspirada no comportamento de salto de animais, como cangurus, e é projetada para melhorar o desempenho de salto do robô. O estudo avalia a eficácia da manobra proposta e da estratégia de controle através de simulações e experimentos com um robô quadrúpede com um manipulador. Os resultados demonstram que a estratégia de manobra e controle de inspiração biológica melhora o desempenho de salto do robô e sua estabilidade.

Ambos os estudos ressaltam a importância de melhorar o controle e o desempenho de robôs quadrúpedes através de abordagens inovadoras. Os métodos propostos podem melhorar a estabilidade, controle e desempenho de robôs quadrúpedes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento apresentou uma análise dos robôs quadrúpedes mostrando algumas das suas características referentes à sua navegação autônoma, equilíbrio, sistema de controle, carga dinâmica, apontando os principais tipos de sensores utilizados, e foram apresentados alguns dos métodos aplicados para o desenvolvimento do sistema de controle dos robôs quadrúpedes.

Há uma apreciação crescente da investigação e implementação de robôs quadrúpedes devido às suas numerosas aplicações, tais como grandes capacidades de adaptação a terrenos irregulares e ambientes não propícios à habitação humana. No futuro, mais informações podem ser acrescentadas à documentação para agregar e contribuir para o desenvolvimento de outros projetos. Este estudo foi importante para a análise e aprendizagem sobre robôs quadrúpedes e a informação fornecida é relevante para o desenvolvimento de novos projetos.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ DUDZIK, Thomas et al. **Robust autonomous navigation of a small-scale quadruped robot in real-world environments**. In: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2020. p. 3664-3671.
- ² KANG, Ru et al. **Bio-Inspired Take-Off Maneuver and Control in Vertical Jumping for Quadruped Robot with Manipulator**. *Micromachines*, v. 12, n. 10, p. 1189, 2021.
- ³ JIN, Bingchen et al. **An Adaptive Control Algorithm for Quadruped Locomotion with Proprioceptive Linear Legs**. arXiv preprint arXiv:2107.12482, 2021.
- ⁴ FERROLHO, Henrique et al. **Optimizing dynamic trajectories for robustness to disturbances using polytopic projections**. In: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2020. p. 7477-7484.
- ⁵ JIN, Bingchen et al. **Unknown Payload Adaptive Control for Quadruped Locomotion With Proprioceptive Linear Legs**. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2022.
- ⁶ TOURNOIS, Guido et al. **Online payload identification for quadruped robots**. In: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017. p. 4889-4896.