



Análise e projeto de um sistema multirrobo Analysis and design of a multi-robot system

Marco Antonio Silva Conceição¹, Cristiano Marcos Agulhari²

RESUMO

A crescente evolução na robótica e automação tem gerado sistemas mais sofisticados e versáteis, com aplicações em diversos setores, incluindo a indústria, medicina, agricultura e tarefas cotidianas. O objetivo principal deste estudo é desenvolver veículos autônomos de baixo custo, baseados na categoria VSS Soccer, por meio de técnicas de manufatura aditiva. Tais veículos autônomos não possuirão câmeras, o que apresenta um desafio na determinação das coordenadas globais. Com intuito de suprir essa limitação, o artigo propõe o uso de um giroscópio para adquirir a aceleração a partir do movimento dos robôs e, por meio da técnica de dupla integração, calcular suas coordenadas em metros. Ademais, é destacado o conceito de robótica de enxame, no qual vários robôs trabalham cooperativamente para realizar tarefas desafiadoras e possuem potenciais aplicações, desde movimentação inteligente de cargas em armazéns até a busca coordenada em áreas de desastres naturais. Este estudo contribui significativamente para a engenharia e a robótica, oferecendo uma abordagem acessível para o desenvolvimento de um sistema multirrobo e ampliando as possibilidades de implementação de sistemas robóticos cooperativos inteligentes.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão 3D; Multirrobo; Robótica de Enxame.

ABSTRACT

The growing evolution in robotics and automation has led to more sophisticated and versatile systems with applications in various sectors, including industry, medicine, agriculture, and everyday tasks. The main objective of this study is to develop low-cost autonomous vehicles based on the VSS Soccer category, using additive manufacturing techniques. These autonomous vehicles will not have cameras, which poses a challenge in determining global coordinates. To address this limitation, the article proposes the use of a gyroscope to acquire acceleration from the robots' motion and, through the technique of double integration, calculate their coordinates in meters. Furthermore, the concept of swarm robotics is highlighted, in which multiple robots work cooperatively to perform challenging tasks and have potential applications, from intelligent cargo movement in warehouses to coordinated search in natural disaster areas. This study makes a significant contribution to engineering and robotics by providing an accessible approach to the development of a multi-robot system and expanding the possibilities for the implementation of intelligent cooperative robotic systems.

KEYWORDS: 3D Printing; Swarm Robotics; Multi-robots.

INTRODUÇÃO

Os sistemas robóticos vêm se consolidando em nossa sociedade, de modo que grande parte da atual indústria mundial é dependente de sua implementação. Tal constatação é confirmada pelo fato de que a indústria moderna conta com cerca de 3 milhões de unidades de robôs industriais espalhadas pelo mundo inteiro, o que representa um aumento de 10% na implementação dos robôs em fábricas, se comparado com os últimos anos (ROBOTICS, 2021).

¹ Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: marco.2019@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2579415374562471.

² Docente do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (Orientador). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: agulhari@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4935395556663775.



Dentre as diversas áreas de pesquisa da robótica, o controle de multirrobo tem atraído grande interesse, devido ao seu potencial em revolucionar diferentes setores da sociedade, como a indústria (MORAIS, 2022), medicina (STRIMBU, 2020), agricultura (TABILE, 2012) e até mesmo as atividades do dia a dia.

O presente estudo se propõe elaborar um sistema multirrobo de baixo custo, baseados na estrutura da categoria VSS Soccer. Nesta categoria os robôs são identificados por etiquetas coloridas e monitorados por câmeras, tal configuração utiliza um computador com objetivo de processar as informações e realizar todos os cálculos de posicionamento, garantindo o controle de acordo com o andamento da partida (MARTINS et al., 2019).

A fabricação desses veículos autônomos se dá por meio de técnicas de manufatura aditiva, para isso, utilizou-se uma impressora Ender 3 Pro da marca Creality, que possibilita a criação de robôs customizados de acordo com as necessidades específicas.

A aplicação desse sistema está intrinsecamente relacionada ao termo robótica de enxame, onde a realização de tarefas desafiadoras ou impossíveis para um único robô se tornam possíveis, com a existência de um trabalho cooperativo, onde as tarefas são divididas (TAN; ZHENG, 2013), sabendo que o trabalho conjunto aumenta a eficiência, segurança e a escalabilidade das operações. Portanto, este estudo se apresenta como uma contribuição significativa, fornecendo uma abordagem acessível para o controle de multirrobo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, são apresentados os alicerces teóricos que constituem a base essencial para a realização deste projeto. As temáticas abordadas englobam conceitos de aceleração e robótica móvel.

ROBÓTICA MÓVEL

A robótica móvel tem como foco o desenvolvimento e estudo de sistemas robóticos capazes de efetuar uma locomoção autônoma. O grande desafio na implementação do sistema autônomo em questão encontra-se no fato de que, diferentemente dos robôs da categoria VSS Soccer, estes não irão possuir câmeras encarregadas de informar dados como posição e deslocamento das unidades. Tal questão se enquadra em um dos grandes problemas da robótica móvel, que consiste em determinar as coordenadas globais do robô perante o ambiente onde este se encontra inserido (PIRES, 2015). Para obtenção da posição dos robôs, utilizou-se um giroscópio, que tem por função obter a aceleração, gerada a partir de uma movimentação, junto de uma técnica de dupla integração.

CONCEITOS DE ACELERAÇÃO

A aceleração desempenha um papel fundamental na descrição do movimento dos objetos e é uma das três principais grandezas do movimento, juntamente com a posição e a velocidade. Isso a torna um conceito crucial para a compreensão e modelagem de fenômenos naturais e sistemas



físicos complexos.

A técnica de dupla integração da aceleração, empregada no presente estudo é representada e pela seguinte equação:

$$S(t) = \int \int a(t) \quad (1)$$

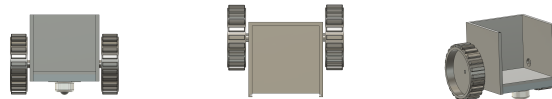
Se comparada a formas paralelas para se obter o deslocamento, como o uso de sensores de posição ou câmeras, a técnica de dupla integração tem como vantagens a conservação da dinâmica original do sistema e a redução de custos (GILBERT; CELIK; O'MALLEY, 2010). Contudo o uso desta técnica sofre de problemas como a presença de altos ruídos e grandes incertezas, sendo assim, muitas vezes incapaz de fornecer informações precisas sobre o posicionamento durante a operação contínua.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do projeto é fundamentado na construção de um sistema que seja capaz de realizar atividades como comunicação, deslocamento e organização. Para a construção final dos protótipos, foram realizadas algumas tarefas, como a modelagem da estrutura dos robôs, estudo dos circuitos eletrônicos e programação dos periféricos.

De início foi desenvolvida a estrutura baseada nos robôs da categoria VSS Soccer, toda a modelagem do projeto, foi efetuada no software Autodesk Fusion 360 e encontra-se representada na Fig. 1.

Figura 1 – Modelagem da estrutura desenvolvida



Fonte: Autoria Própria, (2023).

O presente modelo foi desenvolvido levando em conta todo o espaçamento para a inserção dos componentes eletrônicos. Em seguida, iniciou-se um estudo perante a eletrônica empregada no projeto, esta desempenha um papel crítico na comunicação entre os robôs, sensores e o sistema de controle central. A seguir, serão listados os principais componentes eletrônicos utilizados, junto de suas características.

O módulo *MPU-6050* é um sensor que combina um giroscópio e um acelerômetro de 3 eixos com um processador de movimento digital (DMP), e é capaz de obter informações como a rotação em torno de seus eixos e as acelerações estática e dinâmica. A faixa de leitura dos componentes integrados pode ser configurada de acordo com as escalas apresentadas no datasheet, o giroscópio possui uma escala de ± 250 , ± 500 , ± 1000 e ± 2.000 graus por segundo, enquanto o acelerômetro pode ser configurado com escalas de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ e $\pm 16g$ metros por segundo ao quadrado. Como o presente trabalho carece de medidas extremamente coesas com a realidade optou-se pela escala de $\pm 2g$.

Como microcontrolador o projeto conta com um *ESP12E Devkit V2*, que é amplamente utilizado em aplicações de sistemas IoT por conta de sua conectividade Wi-Fi integrada, que torna possível

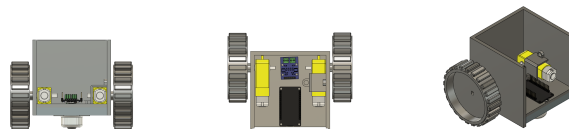


tarefas como a comunicação sem fio e a transferência de dados. Sua composição conta com o chip ESP8266, que opera a 80 MHz, oferecendo alta capacidade de processamento para aplicações em tempo real, e seu tamanho compacto aliado de um baixo consumo de energia o tornam adequado para projetos com restrições de espaço e alimentação por bateria. Outro componente integrante deste projeto é a *ponte H L9110*, utilizada para controlar motores DC bidirecionais, que permite a inversão do sentido de rotação do motor. Sendo capaz de suportar correntes de até 800 mA por canal e tensões de até 12 V.

O projeto também conta com um *módulo LM2596* que tem por objetivo fornecer uma saída de tensão regulada a partir de uma fonte de entrada não regulada, sendo capaz de converter uma ampla faixa de tensões de entrada, geralmente de 4,5 V a 40 V, em uma tensão de saída estável. Como ultimo componente, têm-se os *motores Dc com caixa de redução* que possuem uma faixa de tensão de entrada de 3 V a 6 V, o que o torna versátil e fácil de integrar em diferentes sistemas eletrônicos. Além disso, a caixa de redução acoplada ao motor, permite que ele converta sua alta velocidade de rotação em um torque significativamente maior, o que é crucial para mover cargas mais pesadas ou realizar tarefas que exigem força.

Agora, com maior conhecimento perante a eletrônica utilizada, foi efetuada a integração desta junto da estrutura, segue uma prévia da com o ESP12E Devkit V2, motores Dc e ponte H LM2596 representada na Fig. 2.

Figura 2 – Modelagem com eletrônica



Fonte: Autoria Própria, (2023).

Com a estrutura e eletrônica elaboradas, iniciou-se o a programação dos periféricos, esta foi realizada por meio da Arduíno IDE, versão 2.1.1, e tem como objetivo efetuar a comunicação entre o microcontrolador ESP12E Devkit V2 e os demais sensores. No geral o código desenvolvido tem por objetivo garantir que o sistema seja capaz de efetuar tarefas como a comunicação entre a ponte H e os motores, aquisição em tempo real do valor de aceleração lido pelo MPU-6050 e a conversão da aceleração obtida em coordenadas cartesianas. Visando esclarecer possíveis questionamentos, os códigos utilizados serão disponibilizados em um repositório online.

RESULTADOS

Ao combinar a estrutura desenvolvida, junto da eletrônica e programação, obteve-se um protótipo funcional. Contudo o processo de obtenção de coordenadas cartesianas por meio do método de dupla integração, apresentou-se um grande desafio. A princípio foi necessário adquirir a aceleração estática oriunda da gravidade, fixando o eixo X do MPU 6050. Os dados de aceleração coletados foram coerentes, sendo bem próximos de 9.8, vide Fig. 3. Para garantir maior confiabilidade à leitura obtida, foi elaborado um código em Python com objetivo de capturar diversas amostras e armazená-las em uma planilha. Ao construir um banco de dados com as leituras analógicas obtidas



pelo sensor efetuou-se o cálculo da média sobre as leituras, obtendo como resultado uma média de 9.964.

Figura 3 – Aquisição aceleração fixando eixo X



Fonte: Autoria Própria, (2023).

Tal normalização é necessária para desenvolver o algoritmo de conversão, onde o valor das leituras de aceleração deve passar por uma correção. Ao enfrentar dificuldades no processo de conversão, projeto em questão se limitou ao estudo de apenas uma unidade robótica.

Ao final do estudo, foi possível construir um modelo físico e funcional de um dos robôs, representado na Fig. 4. Ademais, foi possível verificar que a obtenção de coordenadas cartesianas pelo método de dupla integração da aceleração se mostrou consideravelmente ruidoso, sendo um grande obstáculo na implementação de seu controle.

Figura 4 – Versão Final sem o LM2596



Fonte: Autoria Própria, (2023).

CONCLUSÃO

O objetivo primordial do presente estudo foi criar uma plataforma acessível e flexível para a implementação de sistemas robóticos cooperativos, que possa comunicar e coordenar suas ações de forma inteligente. Durante a implementação, surgiram desafios significativos relacionados a conversão das leituras do MPU-6050 em coordenadas cartesianas. O que acabou limitando tal pesquisa ao planejamento e implementação de apenas uma unidade robótica.

É fundamental destacar que este estudo não representa o fim da jornada, mas sim o início de um caminho promissor. Existem oportunidades para melhorias contínuas, como a melhoria de algoritmos mais avançados de controle e progressão, a integração de sensores adicionais para percepção ambiental e a expansão das capacidades de comunicação entre os veículos independentes.

Por fim, esta pesquisa representa um passo importante na direção de sistemas robóticos mais acessíveis, versáteis e criativos. Com este estudo, espera-se inspirar novas pesquisas e aplicações que impulsionem ainda mais o campo da engenharia robótica e contribuam para um futuro mais eficiente e sustentável em diversas áreas da sociedade.



Agradecimentos

À UTFPR, ao orientador pelo suporte e atenção durante o desenvolvimento do estudo, aos projetos de extensão Inception 3D e Overlaod.cp pela capacitação acerca do uso da impressora 3D, técnicas modelagem e robótica, a família e principalmente a Fundação Araucária (FA) por ser um forte encorajador do desenvolvimento científico e tecnológico no Paraná.

Disponibilidade de Código

Os códigos utilizados na implementação do projeto, junto dos arquivos desenvolvidos na modelagem estão disponibilizados no seguinte [Github](#).

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- GILBERT, Hunter B.; CELIK, Ozkan; O'MALLEY, Marcia K. Long-term double integration of acceleration for position sensing and frequency domain system identification. In: 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. [S.l.: s.n.], 2010. P. 453–458. DOI: [10.1109/AIM.2010.5695927](https://doi.org/10.1109/AIM.2010.5695927).
- MARTINS, Bruno B S et al. Pequi Mecânico - IEEE VSS Soccer Team/CBR 2019, 2019.
- MORAIS, Héber Renato Fadel de. **Ambiente ciber-físico para a execução de tarefas cooperativas em um sistema multirrobô**. Dez. 2022. Diss. (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Acesso em: 16 mai. 2023.
- PIRES, Anderson Grandi. Localização cooperativa e descentralizada em enxames robóticos. Universidade Federal de Minas Gerais, dez. 2015. DOI: [1843/ESBF-AAVQNM](https://doi.org/10.1843/ESBF-AAVQNM). Acesso em: 7 jun. 2023.
- ROBOTICS, IFR International Federation of. **IFR Presents World Robotics 2021 Reports**. [S.l.: s.n.], 2021. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>. Acesso em: 24 jan. 2023.
- STRIMBU, Ion. **Robótica em medicina dentária**. Dez. 2020. Diss. (Mestrado). DOI: [10400.26/35383](https://doi.org/10.4000.26/35383). Acesso em: 12 mai. 2023.
- TABILE, Rubens André. **Desenvolvimento de um plataforma robótica modular e multifuncional para aquisição de dados em agricultura de precisão**. Mar. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. DOI: [10.11606/T.18.2012.tde-05072013-101540](https://doi.org/10.11606/T.18.2012.tde-05072013-101540). Acesso em: 22 mai. 2023.
- TAN, Ying; ZHENG, Zhong-yang. Research Advance in Swarm Robotics. **Defence Technology**, v. 9, n. 1, p. 18–39, mar. 2013. ISSN 22149147. DOI: [10.1016/j.dt.2013.03.001](https://doi.org/10.1016/j.dt.2013.03.001). Acesso em: 17 mar. 2023.