APRIMORAMENTO DO CONTROLE MULTIRROBÔS COM RECONHECIMENTO GESTUAL

Acelino Margoti, Douglas Favaretto, Dieisson Martinelli, Vivian Cremer Kalempa

INTRODUÇÃO

No cenário de simulação robótica virtual, pesquisas abordam temas como a *mixed reality* (MR) como recurso que visa melhorar a imersão (Penco, 2024), sendo um meio de teleoperação robótica mais vantajoso do que meios tradicionais de teleoperação (Walker, 2024). Além disso, a utilização de MR aprimora a gama de implementação e mobilidade por parte do operador além de poder ser utilizada em aplicações como na área da saúde (Ai, 2024). No que diz respeito ao controle multirrobô, pesquisas como a de Kennel-Maushart (2023) testam essa abordagem e concluem a possibilidade de manipulação de múltiplos robôs usando tecnologias como MR citada anteriormente. Além disso, a utilização de multirrobôs aumenta a produtividade, por exemplo, em aplicações de manufatura (Li, 2025) além de tradicionalmente serem utilizados em busca e resgate e exploração (Adekoya, 2026). Por fim, sobre reconhecimento gestual, semelhante a aplicações para a área da saúde como a de Ai (2024), há também pesquisas como a de Fang (2025) que trabalha o uso de gestos somados a MR para teleoperação em procedimentos como broncoscopia. Ainda sobre reconhecimento gestual, o seu uso torna mais intuitiva a interação humana robô (HRI) (Xie, 2025) enquanto também aumenta sua eficiência (Pons; Soler-Dominguez; Navas-Medrano, 2026).

Com base nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de teleoperação multirrobô baseado em reconhecimento gestual e MR, aplicado ao controle de braços robóticos. Este trabalho difere de trabalhos em *virtual reality* que limitam os robôs ao escopo de simulados, além de também utilizar braços robóticos de 6 graus de liberdade (6DoF), aumentando a complexidade do controle, mas também ampliando o escopo de aplicações. Optou-se por usar MR devido à sua maior proximidade com o ambiente real, permitindo ainda incluir objetos virtuais.

DESENVOLVIMENTO

O fluxo de dados desse sistema passa por 3 módulos diferentes, mas conectados. O primeiro consiste em um ambiente de MR sobreposto na realidade, onde informações visuais são adicionadas a visão da realidade do operador ao mesmo tempo que essa interface MR permite capturar informações de sua mão. O segundo é o ambiente do *Robot Operation System* (ROS2), responsável pela leitura e tradução dos dados de posição das mãos vindos do ambiente MR em dados lidos pelos braços robóticos. Por fim, o terceiro módulo do sistema consiste no ambiente real e seus robôs, sujeitos a desafios reais de física. A visão geral desse fluxo por parte do usuário pode ser melhor compreendida através da Figura 1.

Para a implementação do projeto foram necessários recursos que integram *hardware* e *software.* No quesito *hardware*, foram usados um óculos de realidade virtual, modelo Meta Quest 3, usando um cabo USB de cinco metros de comprimento e 5Gbps de velocidade de transferência de dados, dois braços robóticos modelo xArm 6 da fabricante UFACTORY, um computador pessoal (PC), um *switch* de internet gerenciável da fabricante D-Link. Se tratando de *software* foi utilizado principalmente o ambiente de desenvolvimento 3D Unity para desenvolvimento da aplicação MR e o ROS2 para interpretação das mensagens vindas da Unity de forma que o robô consiga ler e executar movimentos. O fluxo de uso do sistema por parte do usuário funciona da seguinte forma, ao entrar na aplicação do sistema, usando o óculos MR, é possível usar a interface para calibrar uma área de trabalho sobre o ambiente real, onde, dentro dela qualquer movimento será replicado pelo braço. Isso permite trazer mais segurança para o operador ao ter mais controle sobre a área que o robô escuta os

movimentos e a área segura. Após a etapa de calibração, o operador estará livre para usar a área determinada a fim de espelhar seus movimentos em uma escala 1:2 a qualquer distância do robô e de qualquer objeto perigoso que ele possa estar manipulando. O fluxo de dados do sistema começa pela aplicação MR no óculos, que captura a posição e rotação do pulso do usuário, envia essa informação, até então do tipo *quaternion* que é uma estrutura de dados utilizada pelo Unity para representar e armazenar rotações no espaço 3D de forma interna, para um node ROS2 do tipo *listener* que realiza a tradução matemática para ângulos de Euler, que são entendidos pelo robô, e por fim, envia esses valores aos braços que por sua vez executam o movimento. A fim de aprimorar a velocidade de resposta do sistema foram utilizados 3 elementos de aprimoramento. Primeiramente foi usado leituras do tipo *LateUpdate* na Unity. O segundo elemento foi usar o perfil de entrega de mensagens chamado *Best-effort*, tradicionalmente utilizado por sensores robóticos como lidares e câmeras para obter dados em uma alta frequência. Para isso, foi utilizado o perfil de qualidade de serviço do ROS2 (QoS) chamada *SensorData* que combina essa entrega *best-effort* com a política de histórico de mensagens *Keep Last* que permite escolher apenas as mensagens mais recentes enviadas. Por fim, o terceiro elemento está majoritariamente relacionado ao *hardware* dos braços robóticos onde optou-se por integrar o SDK nativo do fabricante (XArmAPI) diretamente no nó *listener*, ativando o modo servo cartesiano (Modo 1) do robô. Isso desliga o planejador de trajetória interno da máquina. O nó ROS2 assume a responsabilidade de processar a cinemática, traduzindo os dados *quaternion* para ângulos de Euler e aplicando os limites de segurança de velocidade enquanto injeta essas coordenadas processadas de forma contínua e direta nos motores. Como o robô apenas executa os passos já processados pelo *script*, sem tentar recalcular rotas, reduzindo o gargalo de comunicação e permitindo o espelhamento dos movimentos. Um diagrama de raia do fluxo de inicialização e uso do sistema é apresentado na Figura 2.

RESULTADOS

A integração da interface de MR proporcionou um controle bimanual fluido e intuitivo como pode ser visto em: https://youtu.be/Hba6UtdFsng. A mudança arquitetural para o Modo Servo Cartesiano, com injeção direta via SDK, diminui o gargalo de latência do *framework* ROS2, viabilizando o espelhamento em tempo de execução de 100 Hz. Além disso, a implementação de âncoras relativas, cálculo em *quaternion* e filtros de segurança de velocidade garantiu precisão em 6DoF, protegendo os redutores dos braços robóticos contra picos de torque e singularidades. Embora testes formais ainda sejam necessários para validar estatisticamente o ganho em segurança da área de trabalho virtual implementada, os resultados práticos evidenciam que este controle cinemático otimizado reduz consideravelmente as incertezas e os riscos de colisão durante a operação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o desenvolvimento de um sistema de teleoperação bimanual em MR é tecnicamente viável e responsivo. A reestruturação da arquitetura de controle priorizando envios de movimentos relativos e o acesso direto ao hardware solucionou os desafios clássicos de latência e singularidade mecânica. O projeto entrega uma interação humano-robô, estabelecendo uma base tecnológica para aplicações remotas de alta complexidade em ambientes compartilhados.

Palavras-chave:
multirrobô; realidade mista; reconhecimento gestual; teleoperação; 6DoF.

ANEXOS

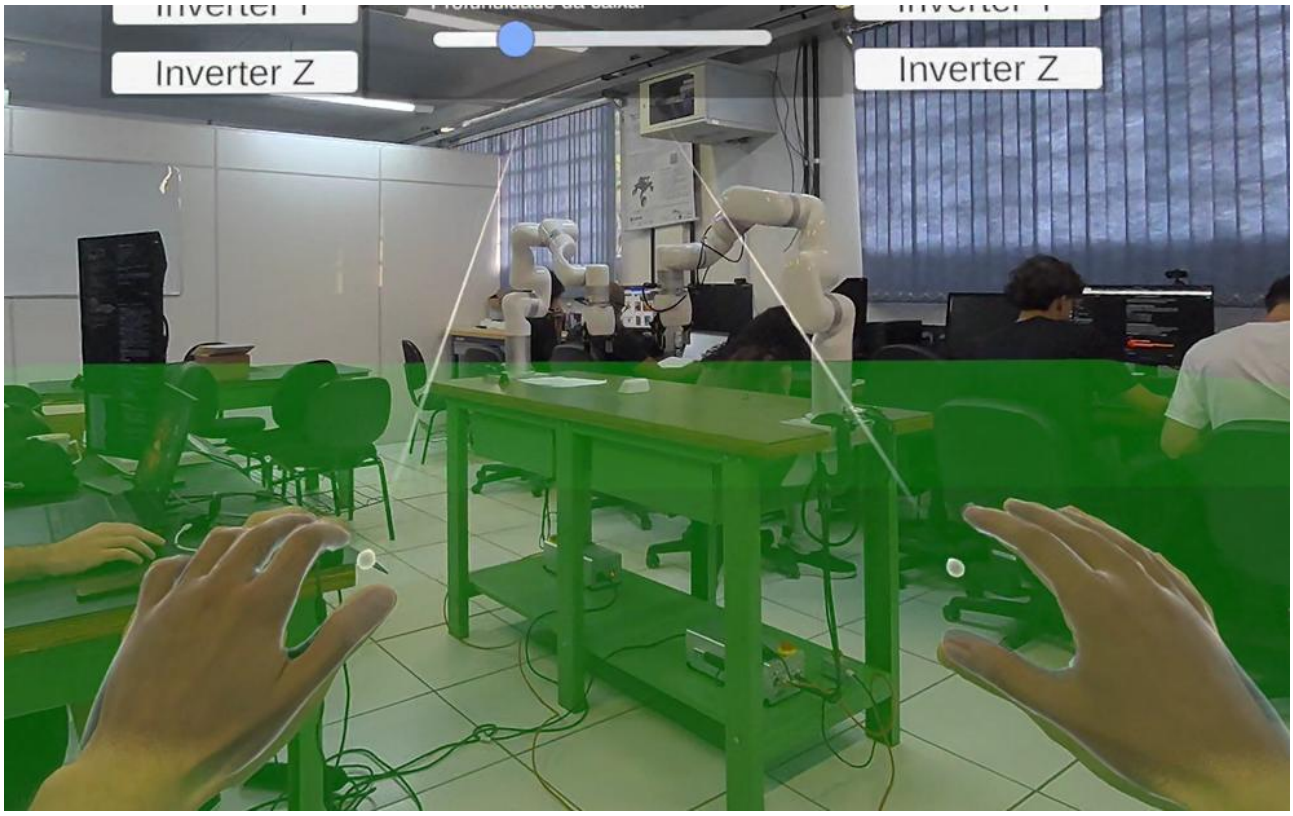


Figura 1. *Visão geral do fluxo de controle por parte do usuário.*

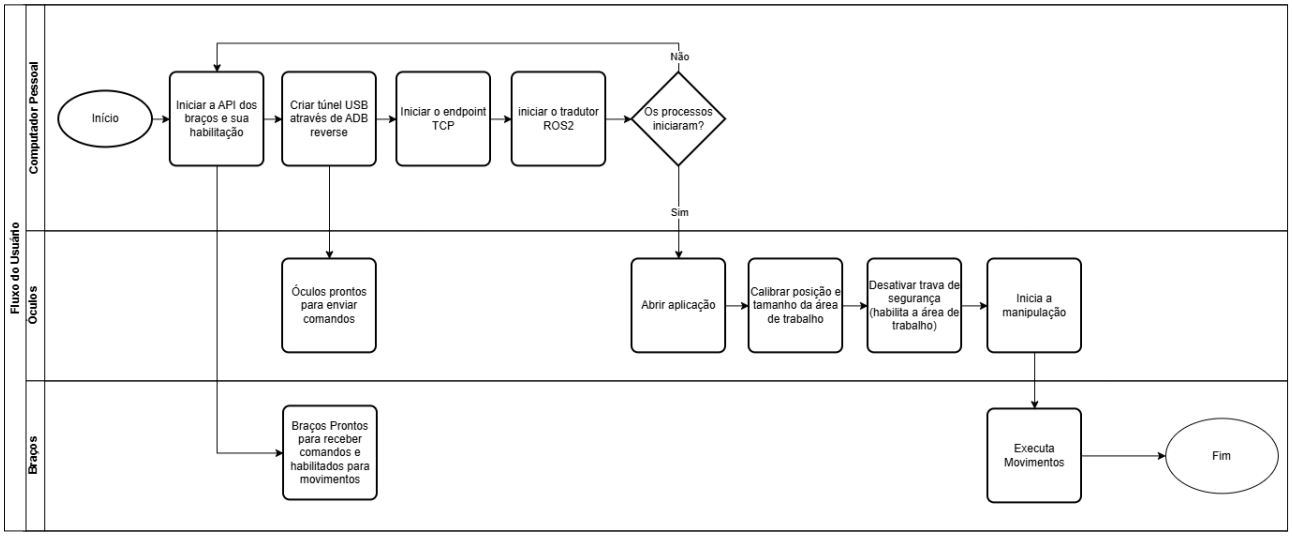


Figura 2. *Diagrama de raia do fluxo de inicialização e uso do sistema.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKOYA, Omotoye Shamsudeen; SGORBISSA, Antonio; RECCHIUTO, Carmine Tommaso. A Multi-Operator Mixed-Reality Interface for Multi-Robot Control and Coordination: Co-Located and Private Workspace Collaboration. **arXiv preprint arXiv:2606.07013**, 2026.

AI, Letian; KAZANZIDES, Peter; AZIMI, Ehsan. Mixed reality based teleoperation and visualization of surgical robotics. **Healthcare technology letters**, v. 11, n. 2-3, p. 179-188, 2024.

FANG, Fengxinyun et al. Gesture-to-Robot Mapping in a Mixed Reality System for Safe Bronchoscopic Teleoperation. **Procedia Computer Science**, v. 271, p. 183-189, 2025.

KENNEL-MAUSHART, Florian; PORANNE, Roi; COROS, Stelian. Interacting with multi-robot systems via mixed reality. In: **2023 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)**. IEEE, 2023. p. 11633-11639.

LI, Chengxi et al. A Mixed-Reality-Augmented Deep Reinforcement Learning Approach for Multi-Robot Safe Motion Generation in Human-Robot Collaborative Manufacturing Cells. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, 2025.

PENCO, Luigi et al. Mixed reality teleoperation assistance for direct control of humanoids. **IEEE Robotics and Automation Letters**, v. 9, n. 2, p. 1937-1944, 2024.

PONS, Patricia; SOLER-DOMINGUEZ, Jose Luis; NAVAS-MEDRANO, Samuel. Designing Gesture-Based Interfaces for Cobots: Insights from a Mixed Reality Elicitation Study. **ACM Transactions on Human-Robot Interaction**, v. 15, n. 3, p. 1-31, 2026.

WALKER, Michael E. et al. The cyber-physical control room: A mixed reality interface for mobile robot teleoperation and human-robot teaming. In: **Proceedings of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction**. 2024. p. 762-771.

XIE, Jianan et al. Human–robot interaction using dynamic hand gesture for teleoperation of quadruped robots with a robotic arm. **Electronics**, v. 14, n. 5, p. 860, 2025.