



**João Luís Fernandes
Clemente**

**Uso de um braço robótico para auxiliar cenários
de Colaboração Remota apoiada por Realidade
Mista**

**Using a Robotic Arm to Assist during Scenarios
of Remote Collaboration supported by Mixed
Reality**



**João Luís Fernandes
Clemente**

**Uso de um braço robótico para auxiliar cenários
de Colaboração Remota apoiada por Realidade
Mista**

**Using a Robotic Arm to Assist during Scenarios
of Remote Collaboration supported by Mixed
Reality**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Robótica e Sistemas Inteligentes, realizada sob a orientação científica do Doutor Bernardo Marques, Professor auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Doutor Eurico Pedrosa, Professor auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri / the jury

presidente / president

Prof. Doutor João Antunes da Silva
professor associado da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Prof. Doutor João Antunes da Silva
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva
professor associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos / acknowledgements

Esta dissertação consiste no culminar de um percurso académico que se estendeu ao longo de 17 anos. Deste modo, gostaria de começar por agradecer à minha família, especialmente à minha mãe e ao meu pai, por me terem proporcionado esta aventura, bem como por terem celebrado todas as minhas conquistas.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Bernardo Marques e Professor Doutor Eurico Pedrosa, pelo apoio e orientação na conceção deste trabalho, bem como pelas diversas horas nas quais se dispuseram a ajudar-me, de modo a poder levar este projeto a bom porto. Gostaria também de agradecer ao Doutor João Alves, por me ter transmitido o seu conhecimento e experiência, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço também a todos os amigos que fiz ao longo deste percurso, tendo um especial carinho pela “família” que criei em Aveiro, por terem partilhado comigo belos momentos e pela constante presença e apoio nos últimos cinco anos. Especialmente aos “lutadores” que me acompanharam dentro e fora da biblioteca nas últimas semanas: a Matilde, o Ornelas, o Zé, o Mateus, o Canha, o Chico, o Manu, a Catarina, o André, o Silva, o Marcos, o Zé, a Inês, a Carolina, o Pedro, a Casais, a Sara e o Jacinto.

A todos aqueles que se cruzaram comigo e, de algum modo, contribuíram para o meu crescimento pessoal e académico, o meu muito obrigado.

palavras-chave

Indústria 5.0, Colaboração Homem-Robô, Realidade Mista, Gêmeo Digital, Colaboração Remota

resumo

A transição para a Indústria 5.0 representa uma mudança significativa direcionada para uma manufatura onde o ser humano é o elemento central, enfatizando a colaboração perfeita entre operadores humanos e máquinas inteligentes. Um dos problemas da Colaboração Humano-Robô (CHR) consiste em proporcionar uma interação remota eficaz, onde humanos e robôs conseguem cooperar à distância. A Realidade Mista (RM) surge como uma tecnologia alternativa capaz de colmatar esta lacuna, através de ambientes imersivos onde elementos físicos e virtuais coexistem e interagem em tempo real.

Esta dissertação aborda a necessidade de melhorar a colaboração remota através do desenvolvimento de uma nova estrutura que integra RM com um braço robótico, de modo a possibilitar uma cooperação dinâmica e imersiva entre operadores humanos no local e remotos.

O sistema desenvolvido permite que utilizadores no local manipulem o robô através de uma interface intuitiva enriquecida com sinais visuais e auditivos, aumentando a consciência e a segurança do utilizador. Zonas de segurança virtuais são implementadas para assegurar uma interação segura, parando automaticamente o robô se forem violadas. Utilizadores remotos podem visualizar o cenário colaborativo em tempo real e controlar o robô através da aplicação de RM partilhada, suportada por uma transmissão de vídeo em direto da perspectiva do robô, proporcionando uma consciência situacional abrangente.

Em suma, é apresentada uma estrutura abrangente que permite a integração de novos softwares e tecnologias, lançando as bases para futuros aprimoramentos alinhados com o crescimento social e os cenários industriais em evolução. Esta dissertação visa contribuir para o avanço dos ambientes de manufatura moderna, ao abraçar os valores centrados no ser humano da Indústria 5.0, promovendo práticas industriais mais eficientes, seguras e colaborativas.

keywords

Industry 5.0, Human Robot Collaboration, Mixed Reality, Digital Twin, Remote Collaboration

abstract

The transition to Industry 5.0 marks a significant shift toward human-centric manufacturing, emphasizing seamless collaboration between human operators and intelligent machines. A critical challenge in Human-Robot Collaboration (HRC) is facilitating effective remote interaction, enabling humans and robots to cooperate across distance. Mixed-Reality (MR) emerges as a transformative technology capable of bridging this gap, by providing immersive environments where physical and virtual elements coexist and interact in real time.

This dissertation addresses the need for enhanced remote collaboration by developing a novel framework that integrates MR with a robotic arm to enable dynamic and immersive cooperation between on-site and remote human operators.

The developed system allows on-site users to manipulate the robot through an intuitive interface enriched with visual and auditory cues, enhancing user awareness and safety. Virtual safety zones are implemented to ensure secure interaction, automatically halting the robot if breached. Remote users can visualize the collaborative scenario in real time and control the robot via the shared MR application, supported by a live camera feed from the robot's perspective, providing comprehensive situational awareness.

All in all, a comprehensive framework that enables the integration of novel software and technologies is presented, laying the groundwork for future enhancements aligned with societal growth and evolving industrial scenarios. This dissertation aims to contribute to the advancement of modern manufacturing environments by embracing the human-centric values of Industry 5.0, fostering more efficient, safe, and collaborative industrial practices.

**reconhecimento do uso de
ferramentas de AI**

Reconhecimento do uso de tecnologias e ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa, softwares e outras ferramentas de apoio.

Reconheço a utilização do ChatGPT (Open AI, <https://chat.openai.com/>) e do GitHub Copilot (<https://github.com/features/copilot>) para melhorar a escrita acadêmica, fornecer sugestões de código e assistência no desenvolvimento do software.

I acknowledge the use of ChatGPT (<https://chat.openai.com/>) and GitHub Copilot (<https://github.com/features/copilot>) for refining academic language and offering code suggestions, aiding in the development of the software.