



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia

Relatório Projeto Final

Interface Humano-Robô para Logística Interna

Engenharia e Gestão Industrial

Matheus Fernandes Gonçalves, nº: 20190196

Aluno Finalista da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores

Professor Doutor Paulo J. S. Gonçalves

Relatório de Projeto de conclusão de curso apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Paulo Jorge Sequeira Gonçalves, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Outubro de 2023

Composição do júri

Presidente do júri

Professor Doutor, Paulo Jorge Sequeira Gonçalves
Professor Coordenador, EST-IPCB

Arguentes

Engenheiro, Luís Leão (APTIV – Castelo Branco)
Professor, Nuno Octávio Garcia Fernandes (EST-CB)

Elemento Suplente

Rodrigo Farinha Bernardo Mestre, em Automação Industrial

Agradecimentos

Dedico este projeto a minha querida família, o alicerce inestimável em minha jornada acadêmica e pessoal. Expresso minha profunda gratidão aos meus pais Katia Gonçalves e Alexandre Gonçalves, a minha irmã Maria Eduarda Fernandes e a minha amada avó Aliette Fernandes. Seu apoio inabalável não apenas me permitiu perseguir meus sonhos estudando fora do país, mas também esteve presente em cada momento desta licenciatura. Este projeto é um pequeno tributo à importância que todos vocês têm em minha vida. Cada conquista alcançada é também a de vocês.

À minha incrível namorada, Yasmin Medeiros, que me apoiou de maneira inabalável ao longo de toda a minha jornada acadêmica e me motivou constantemente.

Agradeço ao meu respeitado professor e orientador, Doutor Paulo Gonçalves, pela sua disponibilidade, apoio e pela valiosa oportunidade de realizar este projeto sob sua orientação. Agradeço também à APTIV por proporcionar-me a oportunidade única de trabalhar neste projeto e ao engenheiro Luís Leão, que demonstrou constante disponibilidade para auxiliar em todos os momentos, bem como a todos os colaboradores que generosamente contribuíram com os dados que foram essenciais para este trabalho.

Por fim, dedico este projeto a todos os meus colegas e amigos que compartilharam essa jornada durante a licenciatura. Obrigado por me aguentarem e por tornarem esta jornada acadêmica tão enriquecedora.

Resumo

O projeto de final de curso em Engenharia e Gestão Industrial teve como objetivo principal a pesquisa e implementação de conceitos da Indústria 5.0 em um ambiente industrial real, com foco na otimização de processos de produção por meio da integração de sistemas ciber-físicos e da colaboração entre humanos e robôs. O projeto pode ser dividido em três etapas fundamentais:

Pesquisa sobre a Indústria 5.0:

Durante a pesquisa inicial, exploramos os princípios e conceitos da Indústria 5.0, que enfatiza a colaboração e integração entre sistemas ciber-físicos e humanos. Isso incluiu o estudo de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), sistemas autônomos e inteligência artificial.

Desenvolvimento de Interface Humano-Robô:

Uma parte crucial do projeto envolveu o desenvolvimento de uma interface humano-robô que permitisse a geração automática de rotas para robôs móveis. Isso exigiu a programação e integração deste projeto com o ambiente de produção industrial.

Implementação da Interface em Ambiente Industrial:

A implementação da interface ocorreu em um ambiente industrial relevante, seguindo os princípios da Indústria 5.0. Foram realizados testes escalonados, em laboratório com dados reais da fábrica. Isso incluiu a integração do sistema de visão computacional para identificação precisa das ordens de produção, e o sistema de rotas, essencial para a eficiência do processo.

O projeto demonstrou a convergência bem-sucedida entre tecnologia e colaboração humana, um dos pilares da Indústria 5.0. Ele não apenas melhorou a eficiência e reduziu erros no processo de produção, mas também exemplificou como a Indústria 5.0 está transformando a maneira como humanos e máquinas trabalham juntos. Esse projeto representa um futuro de produção mais ágil, eficiente e colaborativo, alinhado com as demandas da indústria moderna.

Palavras-chave

Software – Robô móvel– Visão computacional – Produção — Rotas

Abstract

The final project in Industrial Engineering and Management aimed primarily at researching and implementing concepts of Industry 5.0 in a real industrial environment, with a focus on optimizing production processes through the integration of cyber-physical systems and collaboration between humans and robots. The project can be divided into three fundamental stages:

Research on Industry 5.0:

During the initial research, we explored the principles and concepts of Industry 5.0, which emphasizes collaboration and integration between cyber-physical systems and humans. This included the study of emerging technologies such as the Internet of Things (IoT), autonomous systems, and artificial intelligence.

Development of Human-Robot Interface:

A crucial part of the project involved developing a human-robot interface that allowed for the automatic generation of routes for mobile robots. This required programming and integrating this project into the industrial production environment.

Implementation of the Interface in an Industrial Environment:

The implementation of the interface took place in a relevant industrial environment, following the principles of Industry 5.0. Gradual tests were conducted in the laboratory with real data in the factory. This included the integration of computer vision systems for the precise identification of production orders and the routing system, essential for process efficiency.

The project demonstrated the successful convergence of technology and human collaboration, one of the pillars of Industry 5.0. It not only improved efficiency and reduced errors in the production process but also exemplified how Industry 5.0 is transforming the way humans and machines work together. This project represents a future of more agile, efficient, and collaborative production, in line with the demands of the modern industry.

Keywords

Software – Mobile Robot - Computer Vision - Production - Routes

Índice geral

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 1.2. Apresentação da Empresa..... | 1 |
| 1.3. Objetivo do Projeto..... | 2 |
| 1.3.1. Automação Industrial | 2 |
| 1.3.2. Análise da Fábrica..... | 2 |
| 1.3.2.1. Situação 1..... | 3 |
| 1.3.2.2. Situação 2..... | 3 |
| 1.4. Objetivo e Fases do Projeto..... | 4 |
| 1.4.1 Análise e Definição de Objetivos..... | 4 |
| 1.4.2. Desenvolvimento de Sistema de Visão Computacional..... | 4 |
| 1.4.3. Estratégia de Roteamento Otimizado | 4 |
| 1.4.4. Interface Humano-Robô | 4 |
| 1.4.5. O objetivo do projeto..... | 5 |
| 1.5 Estrutura do Relatório | 5 |
| 2. Indústria 5.0 | 7 |
| 2.1. Indústria 5.0: O Futuro da Manufatura Inteligente | 7 |
| 2.2. Transformações Industriais | 7 |
| 2.3. Explorando a Sinergia entre o Projeto e Indústria 5.0 | 8 |
| 3. Hardware e software utilizados..... | 9 |
| 3.1. Raspberry Pi 4 | 9 |
| 3.2. Linguagem Utilizada: Python | 10 |
| 3.3. Visual Studio | 10 |
| 3.4. Open CV | 11 |
| 3.5. Pytesseract..... | 11 |
| 3.6. Json | 12 |
| 3.7. PyGame..... | 13 |
| 3.8. PyQt5 | 14 |
| 4. Algoritmos para Rotas..... | 15 |
| Mapas | 15 |
| A*(A-star)..... | 17 |
| Dijkstra | 20 |

| | |
|--|-----------|
| TPS (Problema do Caixeiro Viajante) | 21 |
| Comparação de Algoritmos de Otimização de Rotas | 24 |
| 5. Desenvolvimento do Sistema para Leitura de Cartões..... | 27 |
| 5.1. Sistema de visão computacional | 27 |
| 5.2. Montagem do sistema de visão | 28 |
| 5.3. Calibração da câmera..... | 29 |
| 5.4. Leitura dos cartões Kanban | 29 |
| 5.4. Tratamento de imagem | 31 |
| 6. Desenvolvimento da Aplicação para Cálculo de Rotas | 33 |
| Leitura e Identificação de Pontos Comuns..... | 33 |
| Determinação da Melhor Rota | 33 |
| Visualização do Caminho na Planta da Fábrica | 35 |
| 7. Apresentação e Discussão de Resultados..... | 37 |
| Dados do JSON | 39 |
| Programa confirma os dados e coordenadas..... | 40 |
| Pontos no mapa..... | 40 |
| Melhor Rota Possível | 41 |
| Comparando Resultados..... | 43 |
| 8. Conclusões e Trabalhos Futuros..... | 45 |
| 8.1. Conclusões | 45 |
| 8.2. Trabalhos Futuros..... | 45 |
| Avanços em Heurísticas e Meta-heurísticas..... | 46 |
| Utilização de RFID e Braços Robóticos em Carrinhos Automatizados:..... | 46 |
| Integração com NVIDIA Omniverse: | 46 |
| Interior Navigation:..... | 47 |
| Aplicação de Aprendizado de Máquina: | 47 |
| 9. Bibliografia..... | 48 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Objetivos do projeto..... | 1 |
| Figura 2: Modelo <i>Raspberry</i> Utilizado..... | 9 |
| Figura 3: LOGO PYTHON..... | 10 |
| Figura 4: LOGO VISUAL STUDIO..... | 11 |
| Figura 5: Logo <i>PyTesseract</i> | 12 |
| Figura 6: LOGO JSON..... | 13 |
| Figura 7: Logo <i>Pygame</i> | 13 |
| Figura 8: Mapa APTIV..... | 16 |
| Figura 9: Mapa Pontos de Interesse APTIV..... | 17 |
| Figura 10: Cálculo A^* | 19 |
| Figura 11: Exemplo <i>Dijkstra</i> | 20 |
| Figura 12: Pesos Exemplo <i>Dijkstra</i> | 20 |
| Figura 13: Pesos TPS..... | 22 |
| Figura 14: Exemplo TPS..... | 23 |
| Figura 15: Resultado TPS..... | 23 |
| Figura 16: Sistema de Visão Utilizado..... | 28 |
| Figura 17: <i>Kanban</i> APTIV..... | 30 |
| Figura 18: Imagem Confirmada..... | 31 |
| Figura 19: Crops da Imagem..... | 32 |
| Figura 20: Dados dos Crops..... | 32 |
| Figura 21: Dados lidos pelo <i>PyTesseract</i> no JSON..... | 32 |
| Figura 22: Exemplo Pontos em comum JSON..... | 34 |
| Figura 23: Visualização da Rota..... | 36 |
| Figura 24: Leitura JSON..... | 37 |
| Figura 25: Interface..... | 39 |
| Figura 26: Dados JSON Exemplo..... | 39 |
| Figura 27: Pontos encontrados e coordenadas..... | 40 |
| Figura 28: JSON dos Pontos Encontrados..... | 40 |
| Figura 29: Melhor Rota Possível..... | 41 |

| | |
|---------------------------------|----|
| Figura 30: Rota do Exemplo..... | 42 |
| Figura 31: Omniverse Logo..... | 46 |

Lista de tabelas

| | |
|---------------------------------|----|
| Tabela 1 - Dados das Rotas..... | 44 |
| Tabela 2 - Melhoria (%) | 44 |

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

Internet of Things (IoT) - Internet das Coisas

Artificial Intelligence (AI) - Inteligência Artificial

Augmented Reality (AR) - Realidade Aumentada

Visual Studio (VS) - Visual Studio

Ant Colony Optimization (ACO) - Otimização de Colônia de Formigas

LIDAR (Light Detection and Ranging) - Sensor de Detecção e Alcance a Laser

TPS (Traveling Salesman Problem) - Problema do Caixeiro Viajante

Graphical User Interfaces (GUIs) - Interfaces Gráficas de Usuário

