



ROBÓTICA COLABORATIVA: IMPORTÂNCIA E DESAFIOS

Adriel Luiz Marques^{1*}, Renato Santos Carrijo¹, Aniel Silva de Moraes¹

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo – A utilização de robôs trouxe diversos benefícios para a manufatura. Contudo, determinados setores industriais apresentam características que dificultam a automação. Desse modo, essas atividades continuaram sendo executadas por operadores humanos. Todavia, tendo em vista a ergonomia dos funcionários e a eficiência da produção, foi desenvolvida a robótica colaborativa. Esse modelo visa permitir que funcionários humanos trabalhem ao lado de robôs, somando-se as vantagens apresentadas por cada um.

Portanto, este trabalho visa apresentar qual a importância da robótica colaborativa para a indústria atual e quais os desafios que esse modelo precisa superar.

Palavras-Chave – Robótica Colaborativa, Local de Trabalho Compartilhado, Cooperação Homem-Máquina.

COLLABORATIVE ROBOTIC: IMPORTANCE AND CHALLENGES

Abstract - The use of robots has brought several benefits to manufacturing. However, certain industrial sectors have characteristics that make automation difficult. Thus, these activities continued to be performed by human operators. However, in view of employee ergonomics and production efficiency, collaborative robotics was developed. This model aims to allow human employees to work alongside robots, adding the advantages presented by each one.

Therefore, this work aims to present the importance of collaborative robotic for the current industry and the challenges that this model needs to overcome.

Keywords - Collaborative Robotic, Shared Workspace, Human-Robot Collaboration.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de ferramentas mecânicas, como garras, tem causado o fascínio humano desde os tempos pré-históricos. Sacerdotes egípcios foram os primeiros a desenvolver braços mecânicos, tendo como o maior objetivo impressionar a população. Séculos depois, os gregos desenvolveram estátuas operadas hidraulicamente, as quais não possuíam finalidades práticas além do entretenimento e do exercício didático [1].

Em 1769, a máquina a vapor de James Watt trouxe um grande impacto na aplicação do conhecimento científico aplicado ao desenvolvimento industrial, revelando a importância da automação dos processos produtivos. Todavia, nas últimas décadas o modelo rígido de automação elaborado por Watt, no qual as máquinas são elaboradas para a fabricação em massa de um único produto, tem dado espaço a modelos programáveis e flexíveis, onde há uma maior variabilidade de produção [2].

Nesse contexto, a utilização de robôs tem ganhado destaque, pois são máquinas capazes de realizar movimentos diversos, os quais podem ser reprogramados e adaptados às tarefas necessárias no momento, trazendo flexibilidade à produção [2].

Um robô é definido como “máquina automática programável”. É uma máquina pois tem a função de converter energia em trabalho útil. O conceito de “máquina automática” refere-se ao fato de sua energia de trabalho não ser originada do operador. Por fim, “máquina automática programável” adiciona o conceito de que a sua operação depende de um conjunto de instruções previamente elaboradas, conhecido genericamente como programa [1].

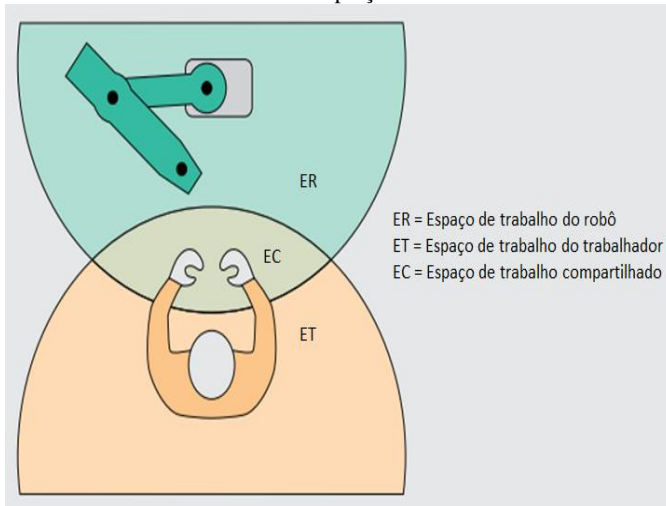
A utilização de robôs na indústria trouxe diversos avanços produtivos, permitindo a manufatura de produtos mais variados e complexos [1]. Apesar disso, em certos setores industriais, a implementação de robôs para a execução das tarefas é complexa e necessita de altos investimentos [3]. Especialmente na manufatura automobilística, aspectos variados do processo de montagem, como a integração de portas, assentos e painéis de instrumentos nas carrocerias, não foram automatizados devido aos requisitos apresentados, os quais são difíceis de automatizar, mas são cumpridos por trabalhadores humanos. Entretanto, tais atividades aumentam o risco de problemas ergonômicos nos trabalhadores. Dessa forma, a colaboração entre robôs e humanos apresenta-se como uma importante ferramenta para a execução de tarefas semelhantes [4].

Tendo em vista essa questão, a comunidade de robótica reconhece a necessidade de cooperação entre trabalhadores humanos e robôs em determinados locais de trabalho [4]. Em adição, o conceito de *human-robot-collaboration* (HRC, colaboração entre humano e robô, em português) foi desenvolvido para indicar qualquer situação onde robôs trabalham ao lado de humanos sem a presença de barreiras de segurança no processo de manufatura [5]. Portanto, os benefícios obtidos com a utilização de robôs podem ser

*adrielluizmarques@hotmail.com

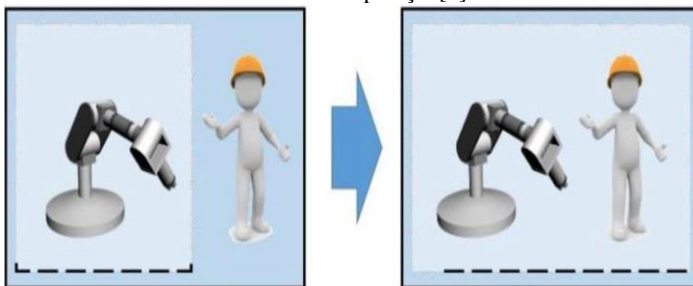
combinados com as vantagens obtidas com o emprego de trabalhadores humanos, de forma a minimizar as desvantagens de ambos [6]. A Figura 1 apresenta os espaços de trabalho em um ambiente onde um robô trabalha de forma colaborativa com um humano:

Figura 1: Espaços de trabalho em ambiente colaborativo [5], com adaptações.



A ideia de local de trabalho compartilhado implica em uma alteração do ambiente de trabalho de uma indústria que contém robôs tradicionais. A barreira de separação entre o robô e o trabalhador é retirada para que ambos trabalhem em conjunto. A Figura 2 apresenta essa transição:

Figura 2: A transição de um local de trabalho dividido para um local com cooperação[6].



Em vista disso, um aspecto importante para a aplicação de atividades colaborativas é a organização do trabalho. No ano de 2016, 10% das pesquisas sobre HRC foram sobre o planejamento de tarefas. Um correto planejamento influencia diretamente a segurança e a eficiência do processo [7].

De acordo com [7], o mercado mundial de robôs industriais está em crescimento contínuo. Entre os anos de 1983 e 1990, o número de vendas anuais de robôs no mundo cresceu quase nove vezes, passando de 66 mil unidades vendidas no início desse período para 454 mil unidades no último ano, quando os robôs começaram a ser empregados mais efetivamente nas linhas de produção industriais. Todavia, a partir da década de 2010 um novo fator tem impulsionado a utilização de robôs, a robótica colaborativa. No ano de 2017, a venda de robôs colaborativos representou 2,7% do número total de robôs vendidos [8]. Já em 2019,

essa categoria de robôs representa 4,8% do total de robôs vendidos [8].

Portanto, é possível concluir que a robótica cooperativa é um campo importante da indústria, por conta dos seus benefícios na eficiência dos processos industriais e na ergonomia dos trabalhadores. Entretanto, há desafios nesse campo que merecem atenção, especialmente a organização do trabalho e a segurança. Portanto, este artigo visa analisar as vantagens e desvantagens da HRC e apresentar as áreas desse campo que requerem mais estudos para possibilitar a sua implementação.

Para isso, este trabalho está dividido da seguinte forma: No capítulo I é realizada uma breve introdução sobre o assunto. No capítulo II são detalhados conceitos e paradigmas importantes. O capítulo III apresenta exemplos de aplicações da robótica colaborativa. No capítulo IV é desenvolvida a análise sobre as vantagens, desvantagens e desafios da cooperação homem-máquina e, por fim, no capítulo V são realizadas as conclusões com a indicação de trabalhos futuros.

II. CONCEITOS E PARADIGMAS

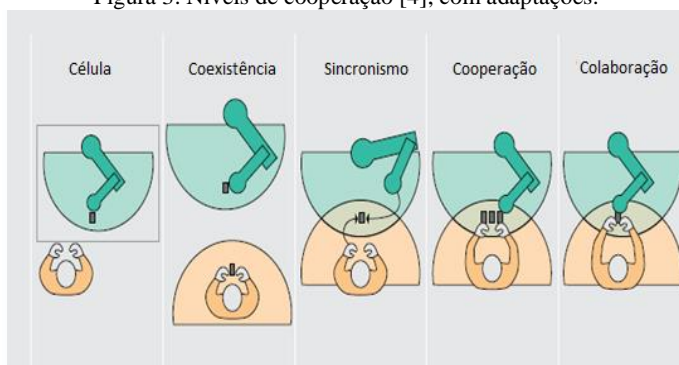
Tendo em vista a análise da importância e dos desafios da robótica colaborativa, é importante ter como base certos conceitos. Portanto, essa seção visa apresentá-los de forma rápida para possibilitar discussões futuras.

Um aspecto fundamental para a implementação de atividades colaborativas é garantia da segurança. Além da possibilidade de existir padrões técnicos de acordo com cada fabricante [9], a segurança da robótica colaborativa é definida por padrões internacionais. A DIN EN ISO 10218 especifica os requisitos para a operação de robôs colaborativos, como a necessidade de uma indicação visual enquanto o robô está em operação colaborativa [3].

Tendo em vista a atualização do estado da arte, a norma técnica ISO/TS 15066 foi desenvolvida. Essa especificação tem o objetivo de tornar a avaliação de risco apresentada na norma 10218 mais razoável por meio da indicação de limites para a força e velocidade dos robôs. A ISO/TS 15066 é formada pelas seguintes seções: identificação geral de perigos e avaliação de risco, requisitos para a aplicação de sistemas de robôs colaborativos e a distinção entre diferentes modos de operação [6].

A interação entre robôs e trabalhadores humanos pode ser classificada de acordo com cinco categorias, conforme o nível de interação: i) Célula: o robô é operado em uma cela tradicional de proteção; ii) Coexistência: o robô é livre da cela, mas não compartilha o local de trabalho com um humano; iii) Sincronizado: o robô e o trabalhador humano compartilham o local de trabalho mas somente um está presente no local de trabalho em cada momento; iv) Cooperação: o robô e o trabalhador humano compartilham o local de trabalho no mesmo momento, mas não trabalham no mesmo produto simultaneamente; v) Colaboração: o robô e o trabalhador humano trabalham simultaneamente no mesmo local de trabalho e no mesmo produto [5]. A Figura 3 representa essa classificação:

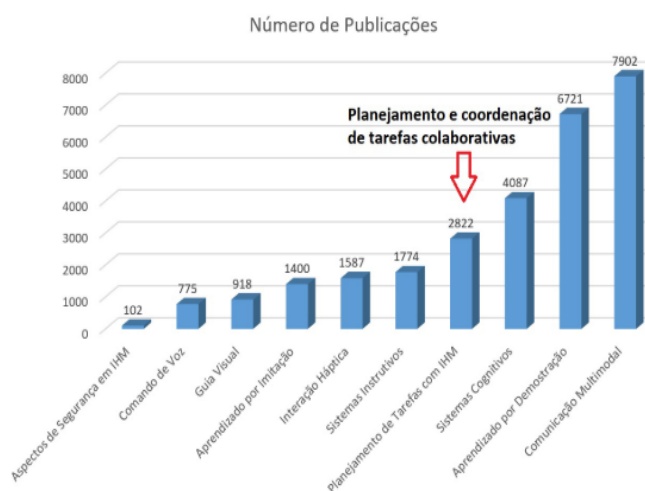
Figura 3: Níveis de cooperação [4], com adaptações.



De acordo com [9], a maior parte das aplicações de HRC estão organizadas para atuarem no nível da coexistência e do sincronismo, devido ao compromisso entre a eficiência obtida e o aumento da complexidade da tarefa. Conforme [3], a colaboração possibilita a redução do tempo de produção de um processo, aumentando a sua eficiência energética. Contudo, a sua implementação acarreta em um aumento da complexidade da tarefa, o que representa um fator limitante para a sua execução em níveis mais elevados.

A principal motivação para a robótica colaborativa é a união entre as características de um trabalhador humano, como a capacidade cognitiva e a tomada de decisões, com atributos dos robôs, como a repetitividade e a eficiência [6], [7]. Dessa relação obtém-se melhorias importantes no processo, como o aumento da ergonomia e redução dos custos da produção. Contudo, tais resultados dependem diretamente da adequada divisão das tarefas. A Figura 4 apresenta a quantidade de estudos sobre esse aspecto, em âmbito mundial, no contexto da interação homem-máquina:

Figura 4: Quantidade de publicações por tópico [7].



III. APLICAÇÕES COLABORATIVAS

Nesta seção são apresentados os exemplos de aplicações da robótica colaborativa, analisando as suas motivações e resultados.

A. Ferramentas aeronáuticas

Em [10], uma empresa do ramo de reparos para a indústria de aviação implementou um determinado robô colaborativo em sua linha de produção. A escolha foi determinada por três principais fatores: custo, espaço requisitado e segurança. Dentre todos os fatores analisados o robô colaborativo apresentou melhores resultados, uma vez que o seu custo é em torno de 50% menor que o tradicional, ocupa um espaço menor, uma vez que não necessita de isolamento, e cumpre rigorosos requisitos de segurança. A Figura 5 apresenta essa aplicação:

Figura 5: Robô colaborativo aplicado na indústria aeronáutica [10], com adaptações.

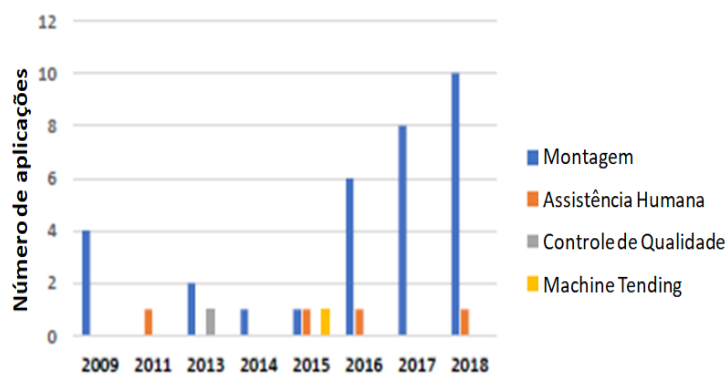


Conforme [10], o resultado dessa aplicação foi positivo. O sistema exerce a sua função proposta por mais de três anos continuamente sem a necessidade de manutenções preventivas. Mesmo com recuos da pistola de pulverização (por conta da alta pressão), o robô mantém-se estável.

B. Montagens

De acordo com a Figura 6, observa-se que a principal tarefa pesquisada para aplicações da robótica colaborativa é relacionada à montagem de peças. A principal motivação para pesquisas sobre essa tarefa é a flexibilidade exigida em sua execução, que torna o uso de robôs tradicionais muito caro ou complexo [11].

Figura 6: Tarefa atribuída ao robô em pesquisas de HRC [12], com adaptações



Em [7] há a execução de três experimentos colaborativos relacionados a montagem de peças. O primeiro desafio é relacionado à fixação de um parafuso em uma peça de madeira com a utilização de uma porca, o segundo propõe à fixação de um prego em uma peça de madeira e o terceiro visa fechar uma caixa de papelão. As tarefas foram realizadas como o robô apresentado na Figura 7 acompanhado de um humano e, posteriormente, apenas com o operador humano, com o objetivo de comparar os resultados.

Figura 7: Modelo do robô utilizado nos experimentos [7].



O resultado final variou dependendo do experimento. Na primeira e na terceira aplicação o tempo foi menor quando o operador realizava a tarefa sozinho. Já no segundo experimento, o tempo foi menor quando houve a interação homem-máquina [7]. Apesar do estudo ter como critério de avaliação o tempo da tarefa, o que não é o único requisito para tarefas na indústria, é possível avaliar que a escolha da tarefa adequada e a sua organização influencia diretamente o resultado de uma aplicação cooperativa.

IV. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE

Para avaliar a importância da robótica colaborativa e os seus desafios, são analisados os aspectos relacionados às vantagens e desvantagens resultantes da sua aplicação e, por fim, são apresentados os principais desafios desse campo. A Tabela 1 sintetiza os tópicos que são analisados.

Tabela 1: Aspectos analisados para a implementação de atividades cooperativas

Vantagens	Viabilidade econômica
	Facilidade de programação
	Aumento da ergonomia
Desvantagens	Incertezas em relação a segurança
	Incertezas sobre a eficácia operacional
Desafios	Divisão de tarefas
	Adaptabilidade

A. Vantagens

No ambiente industrial, um fator importante para a viabilidade de uma aplicação é a viabilidade econômica. Nesse sentido, a robótica colaborativa se destaca, uma vez que, além do custo reduzido do robô em relação aos modelos tradicionais, são necessárias menores alterações do ambiente produtivo, o que diminui os gastos com a instalação[9]. Estima-se que a recuperação do capital investido em robôs colaborativos (*payback*) está entre seis meses e um ano [10].

A programação de robôs tradicionais, geralmente, exige um alto grau de conhecimento por parte dos programadores, exigindo a contratação de especialistas. Nesse sentido, os robôs colaborativos simplificam essa questão, visto que possuem uma programação intuitiva, como a guiagem de mão[7], o que reduz a necessidade de treinamento por parte do programador. Essa característica é particularmente importante para aplicações que necessitam de alta variabilidade de produção e baixo tempo de readequação[9].

Outro fator determinante para a implementação de atividades colaborativas é a ergonomia. Em atividades exercidas por trabalhadores humanos na indústria sem o auxílio de máquinas é comum tanto o desgaste físico (situações onde o trabalhador precisa manter uma mesma postura durante um longo período) como mental (monotonia provocada por atividades repetitivas) do funcionário. Portanto, a assistência de um robô nessas atividades tem o potencial de colaborar diretamente com bem-estar do funcionário, por meio do auxílio em determinadas atividades e a simplificação das tarefas por parte do funcionário [3],[5].

B. Desvantagens

Todavia, apesar das vantagens citadas, o modelo colaborativo apresenta certas desvantagens em relação ao modelo tradicional. Primeiramente, de acordo com [5], os padrões de segurança apresentam incertezas para a implementação. Os padrões não definem claramente os locais e as formas de se mensurar as conformidades com os limites biomecânicos. Além disso, não há especificações claras que determinam as mudanças que o operador pode realizar no ambiente sem alterar a segurança da operação.

Ademais, há incertezas em relação às garantias da eficácia operacional. Os padrões para avaliar a eficácia do sistema colaborativo se baseiam em cenários onde o plano de operação é seguido perfeitamente. Contudo, variáveis como colisões ou aproximações inesperadas com o robô podem alterar parâmetros importantes do procedimento, o que pode afetar negativamente a eficiência do processo.

C. Desafios

O mercado da robótica colaborativa está em fase de estabelecimento, logo, alguns desafios ainda precisam ser superados para permitir a sua popularização [9]. Em [7] é apresentado que um fator que influencia o trabalho efetivo de pessoas ao lado de robôs é a divisão das tarefas. Idealmente, a organização do trabalho deve ser elaborada de tal forma que a situação de trabalho dos funcionários humanos seja

melhorada, sem ser deteriorada em nenhum sentido [5]. Todavia, não há nenhuma ferramenta existente que atue eficientemente no desenvolvimento dessa organização [5]. Desse modo, essa é uma área que necessita ser desenvolvida.

Conforme apresentado em [7], a variação da atividade a ser exercida pelo robô altera significativamente a eficiência da operação. De acordo com a atividade, a cooperação implica ganhos significativos na redução do tempo de operação, porém, caso seja aplicada em uma atividade mal planejada, a redução da eficiência pode chegar a 70% em relação a atividade exercida somente com o trabalhador humano. Portanto, torna-se necessária a realização de estudos para o desenvolvimento de robôs com maior adaptabilidade para a realização das tarefas.

V. CONCLUSÕES

Conforme o apresentado neste trabalho, a robótica colaborativa apresenta-se como um importante aspecto para a indústria moderna. O principal fator que motiva pesquisas nesse setor é a melhoria da ergonomia durante os processos industriais. Contudo, o seu emprego apresenta vantagens econômicas, visto que não necessita de grandes adequações do ambiente, e permite que funcionários com menor experiência técnica sejam capazes de programar toda a atividade.

Entretanto, em relação ao modelo tradicional, a robótica colaborativa apresenta algumas desvantagens. O seu padrão de segurança precisa ser melhor desenvolvido para garantir segurança das atividades em diferentes contextos. Além disso, outra desvantagem é a incerteza em eficácia operacional de atividades colaborativas.

Por conta da novidade desse campo de pesquisa, alguns desafios precisam ser estudados. A organização das tarefas e a adaptabilidade do robô para diferentes atividades requerem mais estudos para a evolução desse modelo.

Portanto, é possível concluir que a robótica colaborativa é um setor importante para o desenvolvimento industrial, pois permite que operadores humanos trabalhem ao lado de robôs de forma segura. Todavia, a sua implementação deve ser bem estudada, tendo em vista as suas desvantagens e os desafios remanescentes que requerem estudos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LASEC (Laboratório de Automação Sistemas Eletrônicos e Controle) da Universidade Federal de Uberlândia pelo espaço físico fornecido e pela motivação para a realização deste trabalho. Os autores também agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio demonstrado por meio do fomento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Pazos, “Automação de Sistemas & Robótica,” *1*, p. 239, 2002, [Online]. Disponível em: https://www.academia.edu/33125961/Automação_de_Sistemas_e_Robótica.
- [2] V. F. Romano, “Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos,” 1ª edição., Editora Edgard Blücher LTDA., 2002.
- [3] R. Bejarano, B. R. Ferrer, W. M. Mohammed, and J. L. Martinez Lastra, “Implementing a human-robot collaborative assembly workstation,” *IEEE Int. Conf. Ind. Informatics*, vol. 2019-July, pp. 557–564, 2019, doi: 10.1109/INDIN41052.2019.8972158.
- [4] M. A. Peshkin, J. Edward Colgate, W. Wannasuphprasit, C. A. Moore, R. Brent Gillespie, and P. Akella, “Cobot architecture,” *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 4, pp. 377–390, 2001, doi: 10.1109/70.954751.
- [5] W. Bauer, M. Bender, M. Braun, P. Rally, and O. Scholtz, “Lightweight robots in manual assembly – best to start simply!,” *Fraunhofer IAO*, pp. 1–61, 2016.
- [6] M. J. Rosenstrauch and J. Kruger, “Safe human-robot-collaboration-introduction and experiment using ISO/TS 15066,” *2017 3rd Int. Conf. Control. Autom. Robot. ICCAR 2017*, pp. 740–744, 2017, doi: 10.1109/ICCAR.2017.7942795.
- [7] V. Costa and A. Correia, “Um Estudo sobre o Impacto da Robótica Colaborativa na Produtividade em Tarefas Manuais,” 2018.
- [8] “Frankfurt, Sep 24, 2020 — The new World Robotics 2020 Industrial Robots report shows a record of 2.7 million industrial robots operating in factories around the world – an increase of 12%. Sales of new robots remain on a high level with 373,000 units ship.” <https://ifr.org/case-studies/collaborative-robots/stihl-opens-up-new-> (accessed Sep. 29, 2020).
- [9] I. F. of Robotics, “Demystifying collaborative industrial robots,” no. Dezembro, 2018, [Online]. Disponível: <https://ifr.org/case->.
- [10] L. L. Mason, “Collaborative Robotics Projects,” vol. 29, no. 1, pp. 51–62, 2014.
- [11] E. Matheson, R. Minto, E. G. G. Zampieri, M. Faccio, and G. Rosati, “Human-robot collaboration in manufacturing applications: A review,” *Robotics*, vol. 8, no. 4, pp. 1–25, 2019, doi: 10.3390/robotics8040100.
- [12] S. A. Green, X. Q. Chen, M. Billingham, and J. G. Chase, “Human robot collaboration: An augmented reality approach a literature review and analysis,” *2007 Proc. ASME Int. Des. Eng. Tech. Conf. Comput. Inf. Eng. Conf. DETC2007*, vol. 4, no. May 2014, pp. 117–126, 2008, doi: 10.1115/DETC2007-34227.