

Aplicação de inspeção em ambiente industrial com *robots* colaborativos

Resumo: Neste estudo, analisamos o potencial da robótica colaborativa em inspeções de qualidade automáticas na indústria. O desenvolvimento de uma solução integrando um sistema de visão industrial permitiu avaliar o desempenho dos *robots* colaborativos num caso real. A utilização destas ferramentas permitem reduzir defeitos de qualidade bem como os custos no processo de fabricação. Neste sistema, os métodos de processamento de imagem usam recursos baseados em profundidade e nas medidas das superfícies com elevada precisão. O sistema processa totalmente um painel, observa o estado da superfície de forma a detectar qualquer defeito potencial nos painéis produzidos com intuito de aumentar a qualidade da produção.

Palavras-chave: Inspeção, Controlo de Qualidade Industrial, Sistemas de Visão, Robótica Colaborativa.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de inspeção pode evitar produtos com defeito e permite garantir a qualidade em todo o processo de fabricação. Em linhas de montagem manuais, as inspeções são efetuadas pelos operadores, este processo é demorado e bastante dispendioso. No entanto, este tipo de inspeções não são confiáveis, por exemplo, devido à falta de treino, à fadiga ou especificações pouco claras [1]. Portanto, métodos de inspeção de sistemas de visão são usados na indústria e em vários domínios, como a indústria de alimentar e aplicações de segurança [2].

Para inspeções críticas, os sistemas de visão é recomendado se o sistema de aquisição de imagem correto poder ser implementado [3]. Um problema atual da maioria dos sistemas de visão que limitam a sua utilização nas linhas de montagem manual é a utilização de câmeras fixas, tornando o sistema inflexível e na sua forma de trabalhar. Um sistema de câmeras fixas têm problemas para alcançar áreas inacessíveis do produto, como por exemplo a parte de baixo, por dentro e ao redor do produto a ser inspecionado. No processo da inspeção manual as câmeras montadas também pode atrapalhar o operador.

A possibilidade da utilização de *robots* colaborativos introduz flexibilidade no processo produtivo, as inspeções de qualidade automáticas via visão, com a integração do sistema de controlo de qualidade ao sistema de controlo do *robot* permite melhorar significativamente o desempenho deste tipo de sistemas. Os *robots* colaborativos estão se tornando cada vez mais populares em diversos processos de fabrico, em especial nos processos de montagens quer pela sua flexibilidade quer pela sua eficiência [5]. O objetivo de um *robot* colaborativo é combinar o desempenho repetitivo e a força com as habilidades de um ser humano. Existem várias tarefas que podem

ser realizadas por *robots* colaborativos, utilização destes nas linhas de montagem, entregas de peças a serem montadas, levantamento de objetos pesados entre muitas outras tarefas. Ao montar uma câmara de inspeção no *robot* colaborativo e integrar o *software* de controlo de qualidade com o *software* de controlo do *robot* permite que inflexibilidade do sistema de visão possa ser reduzido. Além disso, a revolução da IA contínua e de rápido avanço introduziu vários algoritmos para processamento de imagens que são inquestionavelmente muito promissores para o controlo de qualidade industrial. Portanto, o objetivo é integrar a última geração de *robots* colaborativos para obter uma solução flexível e de alto desempenho para o controlo automático de qualidade.

A colaboração Homem-Robot é uma nova tendência na robótica industrial, e também na robótica dos serviços, como parte da estratégia da Indústria 4.0. Os *robots* e a estratégia são conhecidos pela sigla HRC (*Human-Robot Collaboration*). O principal objetivo desta estratégia inovadora é construir um ambiente para colaboração segura entre humanos e *robots*. Existe uma área entre a produção manual e a produção totalmente automatizada, onde um trabalhador humano entra em contacto com uma máquina. Esta área tem muitas limitações devido a restrições de segurança. A máquina pode estar em modo de trabalho automático apenas se o pessoal operacional estiver fora de sua área de trabalho. A robótica colaborativa permite estabelecer novas oportunidades na cooperação entre humanos e máquinas. As pessoas podem compartilhar o espaço de trabalho com o *robot*, para que o *robot* possa ajudar em operações não ergonômicas, repetitivas, desconfortáveis ou mesmo perigosas.

O *robot* através dos seus sensores avançados pode monitorizar os seus movimentos e limitar a qualquer instante a velocidade ou até parar de executar uma determinada tarefa, mas principalmente não colocar em perigo seu colega humano. A possibilidade de utilizar o espaço de trabalho do sistema robótico sem cercas de segurança pode potenciar a produção totalmente automatizadas otimizando o espaço das instalações bem como os custos das barreiras de segurança. A partir do princípio básico dos *cobots*, é possível aumentar a sua carga útil, não aos níveis de carga dos *robots* industriais. A ideia desta estratégia é estender as diferentes aplicações robóticas, em especial as que ainda não foram automatizadas. Este tipo de sistemas robóticos são usados no sentido de assistentes robóticos para melhorar a qualidade do trabalho dos trabalhadores humanos. Em vários campos de produção, pode ser um desafio encontrar uma aplicação adequada para *robots* colaborativos, mas demonstrando que existem muitas vantagens, é necessário tirar proveito da flexibilidade dos *cobots*.

No início deste artigo foi feita uma introdução às aplicações de inspeção com *robots* colaborativos. Na seção dois mostra-se o estado da arte dos *robots* colaborativos na indústria. Em seguida, na seção três, apresentamos as diferentes tecnologias para sistemas de visão computacional na indústria, e na seção quatro, é apresentado o protótipo industrial desenvolvido para inspeção de qualidade e, para finalizar, apresentamos as nossas conclusões.

2. ROBOTS COLABORATIVOS

Os *robots* colaborativos podem, na maioria dos casos, funcionar sem a necessidade de proteção periférica, características que tradicionalmente contribuem para reduzir a flexibilidade. Além disso, os *robots* colaborativos podem ser facilmente reprogramáveis, mesmo por trabalhadores sem um conhecimento profundo das linguagens de programação para a robótica [10]. Por essas razões, e considerando a crescente procura por produtos customizados com prazos de entrega mais curtos, a robótica colaborativa está a viver um grande crescimento. Assim, espera-se que haja uma expansão em curto prazo da utilização da robótica colaborativa voltada para novas aplicações.

Em 2008, a empresa Universal Robotics desenvolveu o primeiro *robot* colaborativo, denominado UR5, tendo alavancado o interesse industrial em aplicar *cobots* no chão de fábrica de diversas indústrias [11, 12] e feito empresas como, por exemplo a KUKA ou a ABB apostarem no desenvolvimento de *cobots*. De facto, e uma vez que a robótica colaborativa permite a operação conjunta entre humanos e *robots* para a realização de tarefas em ambiente cooperativo, implicando proximidade entre humanos e máquinas, existe um conjunto de medidas de segurança exigentes que os *cobots* têm de cumprir para obter as normas internacionais ISO 10218 1, 10218 2, com destaque para as seguintes [10, 12].

O operador e o *cobot* não trabalham se a distância for menor que a distância de segurança do operador, o equipamento reduz a velocidade até parar (se o espaçamento for menor que a distância de segurança e o sistema processa de forma contínua e verifica em todo o momento esta condição). A norma ISO/TS 15066:2016 define um conjunto de boas práticas na implementação de *cobots* em ambientes colaborativos, sem que seja estritamente necessário parar ou desligar o equipamento, sempre que o sistema possa ter interferência com seres humanos. De acordo com Muller et al. [13], os *cobots* e os operadores podem operar numa perspectiva de coexistência, isto é quando o operador e o *cobot* trabalham no mesmo ambiente, mas tendem a não interagir, em situações onde o operador e o *cobot* trabalham no mesmo espaço e no mesmo produto, a sincronização entre *cobots* e os operadores, mas em momentos diferentes, a cooperação entre *cobots* e os operadores, quando o operador e o *cobot* realizam tarefas simultaneamente no mesmo espaço de trabalho, apesar de realizarem tarefas diferentes e de colaboração e quando o operador e o *cobot* realizam uma tarefa em conjunto.

A robótica colaborativa permite, assim, um aumento na qualidade dos produtos produzidos, na eficiência da produção e na melhoria das condições de trabalho dos operadores [14, 15]. Assim, empresas de diversos setores de atividade procuram integrar o *cobot* nas suas instalações. Neste contexto,

as PME's merecem destaque, pela dificuldade que apresentam em automatizar o seu processo produtivo utilizando *robots* industriais tradicionais, em termos de disponibilidade de espaço e investimento [16], bem como empresas em setores caracterizados pela produção em massa, como o setor automobilístico [12].

3. SISTEMAS DE VISÃO COMPUTACIONAL

Em termos de sistemas de visão computacional para reconhecimento de objetos, na indústria, nos últimos anos, tem havido uma crescente procura por sensores óticos para imagens tridimensionais (3D), o que impulsionou o desenvolvimento de novos instrumentos mais sofisticados. Sensores de imagem 3D geralmente funcionam por projeção, sua forma ativa, ou aquisição, ou em termos passivos, de energia eletromagnética para um objeto, em seguida, registando a energia transmitida ou refletida. No domínio específico da robótica, várias abordagens integram este componente com a aquisição de informação 3D, permitindo incorporar na máquina a percepção da informação tridimensional do seu espaço envolvente que lhe permite interagir com o mesmo espaço/cenário, incluindo a manipulação de objetos ou mesmo a comunicação com outras máquinas. A seguir estão algumas das tecnologias mais comumente usadas em visão computacional. Ou seja, a tecnologia de fotogrametria cobre outros desafios práticos: imprecisão, velocidade de medição, automação, integração de processos, desempenho de custo e integração sensorial. Os sistemas de fotogrametria são altamente precisos, e encontramos na indústria automotiva um conjunto específico de aplicações, como medição de deformação de carrocerias, controlo de peças, ajuste de ferramentas e plataformas, entre outras. [17]. Além disso, integrados em rede, os sistemas de fotogrametria fornecem informações em 3D que possibilitam a ligação e controlo dos processos. É importante evidenciar que os sistemas de fotogrametria podem ser acoplados nos *robots* industriais, permitindo-lhe orientar a execução de tarefas de perfuração e montagem [17, 18].

A tecnologia *Time-of-Flight* (ToF) funciona emitindo um feixe de luz para uma superfície, quantificando o tempo decorrido entre a emissão e a reflexão da luz para determinar a distância efetiva ao objeto. Os sensores ToF são muito compactos e leves, permitindo a aquisição de imagens 3D em tempo real com alta resolução, utilizados em braços móveis dos sistemas robóticos. A tecnologia de luz estruturada utiliza padrões de luz para adquirir imagens 3D de um determinado objeto ou superfície, sendo pouco afetada pela variabilidade associada à luz, o que facilita a correta detecção dos objetos. No entanto, sensores e a conceção de dimensões consideráveis tornam difícil fixar na extremidade do sistema robótico. A técnica de triangulação a laser explora a identificação de peças, podendo também ser utilizada nas diferentes etapas da soldadura. Normalmente, as câmeras 2D permitem a detecção e identificação de objetos, sendo, no entanto, sensíveis às condições de luminosidade e limpeza, ou seja, à presença de poeira no ambiente industrial [19], o que pode levar à seleção incorreta dos componentes a serem movidos ou aparafusar componentes em lugares errados. Portanto, a integração de sistemas de visão 3D em *cobots* representa uma das opções exploradas para enfrentar as limitações apresentadas atualmente pelos sistemas de visão 2D. Os sistemas de visão

desempenham um papel fundamental em muitas aplicações robóticas, tanto em operações industriais automatizadas quanto fixas ou controle de qualidade, e em tarefas mais avançadas, como seleção de objetos e operações de montagem [20].

Porém, num contexto industrial, vários outros fatores são observados, como a existência de superfícies sem textura, variações de ângulos e dimensões. Essas variações fotométricas incluem mudanças de brilho e contraste, ou deformações de perspectiva devido à mudança de posição do observador, objetos em movimento, entre muitos outros, que potencializam desafios técnicos para os quais a resolução não é trivial [17]. Além disso, os sistemas de visão 3D identificam e quantificam a distância que os operadores estão da máquina, redefinem a trajetória do *cobot* conforme ele se aproxima de obstáculos, bem como interpretam ordens de gestos humanos [21].

A solução objetiva envolverá o desenvolvimento de um sistema de captura tridimensional ou características tridimensionais de objetos com base na exploração de técnicas de aquisição de imagens tridimensionais. Este sistema pode permitir a integração de diferentes tecnologias de forma a complementar, por um lado, o conhecimento do ambiente envolvente do sistema robótico e, por outro lado, orientar o sistema robótico nas suas tarefas/operações, nomeadamente na identificação de objetos e nas funções de aperto de componentes automotivos. Além disso, o desenvolvimento de um sistema de visão artificial rápido e eficiente capaz de controlar e garantir o rápido tempo de resposta dos *cobots* representa um grande desafio, uma vez que o setor industrial se caracteriza por um tempo de cadência reduzido de forma a maximizar sua produtividade e incorporar tais inovações ao sua linha de produção, obtém uma vantagem competitiva única sobre outros concorrentes. Por exemplo, o estudo de Li et al. [22] culminou no desenvolvimento de um *Cobot* capaz de desaparafusar parafusos e [23] desenvolveu uma solução para remover parafusos de *laptops*, usando visão artificial para localizar os parafusos.

4. IMPLEMENTAÇÃO DE PROTÓTIPO INDUSTRIAL

O protótipo desenvolvido com foco na inspeção de qualidade e com o intuito de avaliar a solução que integra sistemas de visão e *robots* colaborativos para a inspeção de qualidade industrial, optamos pelo *robot* colaborativo da Doosan M0617 considerado quer o tamanho apropriado para a tarefa de inspeção e a carga necessária para suportar o sistema de visão, o *robot* colaborativo da Doosan M0617 tem um *payload* de 6 kg e alcance de 1700 mm, conforme a Figura 1. Uma vantagem clara do *robot* colaborativo é que facilmente se monta uma camera e se faz a integração do sistema de visão e o sistema de controle do *robot* capaz de localizar objetos numa determinada área de trabalho.

Para um ser humano, geralmente é fácil identificar o objeto de interesse, mas é consideravelmente mais desafiador desenvolver um algoritmo para fazer o mesmo. Localizar um objeto envolve matemática exigente, sujeita a uma elevada complexidade, problema afetado pelas entradas de pixels. Para colocar isso em perspectiva, por exemplo uma imagem de 256 x 256 pixels, imagem de baixa qualidade, resulta em mais de 1,5 milhões de operações. Isso indica que, mesmo em imagens de baixa qualidade, a detecção de objetos se torna bastante complexa.

Existem vários métodos para lidar com este tipo de problemas ou a detecção de alguns objetos distintos na imagem. Durante este estudo em ambiente real, notamos que a localização do objeto é um problema complexo, visto que o conteúdo da imagem pode variar muito dependendo, por exemplo, da variante do produto ou do ângulo de onde a imagem é retirada.

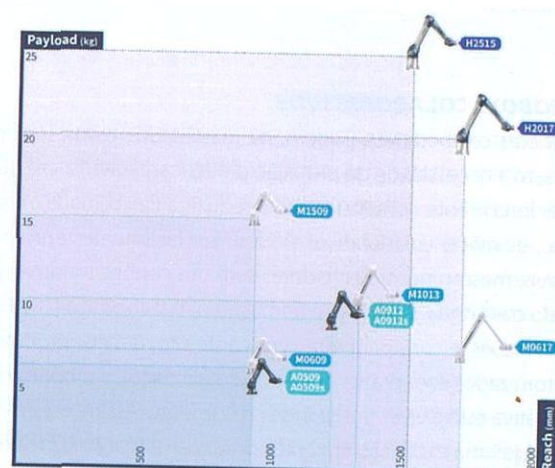


Figura 1. *Robot* colaborativo da Doosan M0617.

Durante a implementação do protótipo, Figura 2, a melhoria do reconhecimento depende da posição da imagem e, Figura 3, para isso, foram fixados para cada objeto inspecionado todos os locais onde as imagens são tiradas.



Figura 2. Protótipo industrial para inspeção de qualidade.

Existem muitas ferramentas que permitem uma fácil configuração deste tipo de aplicação, porém, se precisarmos enviar informações ao *robot* para que este possa inspecionar as peças.

Figura

Os
brea
outr
mad
temp
nosso

Figura 4.

O TriSpe
fis de lir
de expo
imagem
é definic
gem, on
arestas e
objetos o
A ferr
ciona as f

Nesse tipo de aplicações é necessário calibrar a câmera para que o *robot* saiba onde está o ponto de foco, é necessário calibrar o plano do objeto que pretendemos localizar. É necessário converter as posições dos objetos que foram encontrados no sistema de coordenadas da câmera para o sistema de coordenadas do *robot*.

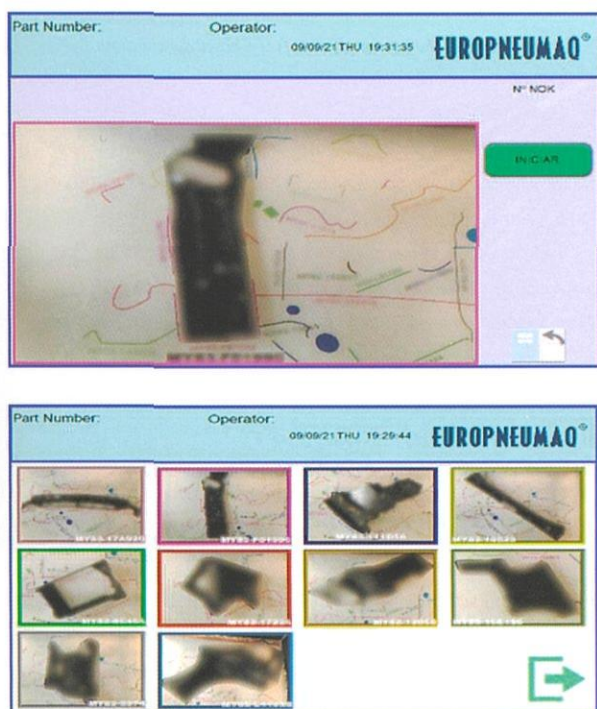


Figura 3. Posição dos objetos.

Os *scanners* 3D utilizam várias técnicas como forma de sombreamento, triangulação a laser, iluminação estruturada, entre outros. Dependendo da técnica, podemos obter dados aproximados em segundos ou dados extra precisos que levarão mais tempo para digitalizar e processar, por exemplo, na Figura 4, no nosso caso optamos por utilizar o sistema TriSpector1000.

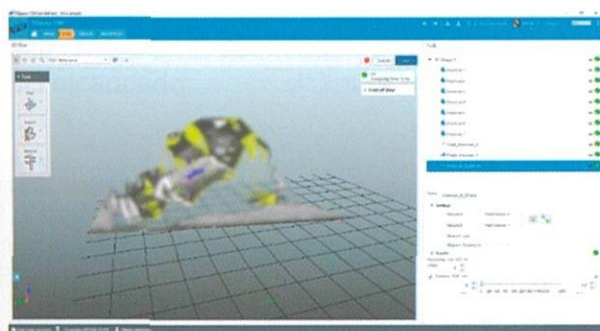


Figura 4. Aplicação SOPAS Engineering Tool para o Sistema TriSpector1000.

O TriSpector1000 constrói uma imagem adquirindo muitos perfis de linhas de laser de um objeto em movimento. O tempo de exposição ideal produz uma linha cinza na representação da imagem do sensor 2D. A região de interesse de cada ferramenta é definida e exibida como uma caixa amarela na área da imagem, onde se localizam os objetos de diferentes formas, como arestas e planos, é possível medir a distância, ou ângulos entre objetos ou recursos localizados.

A ferramenta localiza uma forma 3D na imagem e reposiciona as ferramentas de acordo com a posição ou rotação do

objeto. A ferramenta Blob localiza *clusters* de pontos dentro de um intervalo de altura e tamanho definidos, permitindo medir o volume, a área, o ângulo bem como a caixa delimitadora. A ferramenta edge procura arestas, a ferramenta plano utiliza pixels dentro de sua região de interesse para encontrar uma superfície plana. A ferramenta Fix Plane é usada para definir um plano de referência no campo de visão. O plano de referência pode ser usado como recurso para outras ferramentas. A ferramenta Peak encontra o ponto com o valor de altura mínimo ou máximo na região de interesse. A ferramenta Ponto é usada para definir um ponto de referência no campo de visão. Esta ferramenta pode ser utilizada para definir recursos de ponto com outras ferramentas ou para usar a saída da ferramenta de forma independente.

A ferramenta Área calcula a superfície contando pontos dentro de uma região 3D definida ou dentro de um intervalo de intensidade especificado. A ferramenta Distância mede a distância entre dois pontos da ferramenta. Finalmente, a ferramenta Ângulo mede o ângulo entre dois planos. O tratamento de resultados consiste em métodos para definir e formatar a saída do dispositivo. Os casos de uso variam da ativação de um mecanismo de rejeição à saída de resultados. Os resultados binários são baseados nas tolerâncias da ferramenta definidas pelo utilizador. As ferramentas retornam resultados como valores (por exemplo, área: 40 mm², ângulo: 30°) ou resultados binários (OK / Não OK).

O TriSpector1000 oferece suporte a um conjunto de operadores e funções para tratamento de resultados. As categorias de operadores e funções são matemáticas, lógicas e *strings*. O TriSpector1000 possui suporte EtherNet/IP.

Quanto ao sistema de segurança, após avaliação de riscos, optamos por implementar um *scanner* de segurança que assegura que o operador não se encontra no espaço onde o *robot* pode levar a câmara, desta forma evitamos qualquer tipo de choque, ainda que o sistema robótico possa trabalhar a velocidades muito reduzidas, sobretudo quando faz a inspeção de 2 dos 16 modelos de peças a serem verificados. O *scanner* laser de segurança utilizado é do Tipo 3, nanoScan3 (NANS-3-CAAZ30AN1), alcance 3m, ângulo de detecção 275°, da Sick, Figura 5.



Figura 5. Scanner laser de segurança NANS3-CAAZ30AN1.

O *robot* colaborativo foi inserido na linha de produção e executa bem a tarefa para a qual foi desenvolvido, com dispositivos de segurança eficientes, o *cobot* aumenta a segurança no espaço de interação humano/*robot*. Além disso, as configurações dos parâmetros de segurança do *software* são acessíveis por técnicos e engenheiros autorizados e devidamente treinados, permitindo uma adaptação rápida do *cobot* num ambiente escalável. Por meio de diferentes questões, todos os colaboradores adquiriram uma experiência com a robótica colaborativa para novos projetos. O *robot* colaborativo ainda é restrito a tarefas com ciclos de produção lentos ou tarefas de baixa frequência.

5. CONCLUSÕES

Este artigo discute os conceitos de uma solução de alto desempenho para inspeções automáticas de qualidade na indústria de manufatura que integra *robots* colaborativos, levando a defeitos de qualidade reduzidos e custos reduzidos no processo de manufatura. Para as empresas, isso implica que a introdução de soluções de *robot* humano deve, idealmente, ser precedida por uma oportunidade para os funcionários adquirirem experiências positivas com *robots*. Como o estudo era um cenário de manufatura, não é surpresa que a área de aplicação de manufatura tenha uma classificação um pouco mais alta do que antes do estudo.

No futuro, o desenvolvimento da robótica colaborativa na indústria será expresso pela interação próxima do homem e do *robot*. Nessas condições, o espaço de trabalho do *robot* se cruza com o espaço pessoal de uma pessoa. Para uma interação efetiva entre um operador humano e um *robot*, é necessário considerar as tarefas de produção. A Indústria 4.0 muda a estrutura dos processos de produção e o homem se torna o centro do sistema industrial. Graças às condições favoráveis emergentes, os *robots* colaborativos se tornam significativamente mais brilhantes, demonstram os benefícios de uma cooperação confiável e segura e aumentam a produtividade e a eficiência da execução de tarefas.

REFERÊNCIAS

- [1] Soini, A., (2001). *Machine vision technology take-up in industrial applications*, IEEE.
- [2] Brosnan, T. & Sun, D.-W., (2004). *Improving quality inspection of food products by computer vision-a review*. Dublin, Elsevier.
- [3] Vithu, P. & Moses, J., (2016). *Machine vision system for food grain quality evaluation: A review*. Trends in food science & technology, Volume 56, pp. 13-20.
- [4] Davies, R. E., (2012). *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. 4th ed. London: Elsevier.
- [5] Michalos, G. et al., (2014). *ROBO-PARTNER: Seamless Human-Robot Cooperation for Intelligent, Flexible and Safe Operations in the Assembly Factories of the Future*. Procedia CIRP.
- [6] Thiemermann, S., (2005). *Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter*. Dissertation, University of Stuttgart.
- [7] Pentikainen, T. et al, (2016). *How to make collaborative robot programming easier*. Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten Platbrood, F e Görnemann.
- [8] Platbrood, F e Görnemann, O., (2018). *Safe robotics – A segurança em sistemas robóticos colaborativos. Sick – Sensor Intelligence*.
- [9] Vagas, M et al, (2015). *The concept of human-robot cooperation*. Transfer inovácií 32/2015.
- [10] Eloise Matheson, Riccardo Minto, Emanuele G. G. Zampieri, Maurizio Faccio and Giulio Rosati, (2019), *Human-Robotic Collaboration in Manufacturing Applications: A Review*, Robotics 2019, 8, 100.
- [11] Universal Robotics, *Our history*, (2018), www.universal-robotics.com/about-universal-robotics/our-history.
- [12] Shirine El Zaatari, Mohamed Marei, Weidong Li, Zahid Usman, (2019), *Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview*, Robotics, and Autonomous Systems, Volume 116, Pages 162-180.
- [13] Müller, R., Vette, M., Geenen, A., (2017) *Skill-based dynamic task allocation in Human-Robotic-Cooperation with the example of welding application*. Procedia Manuf., 11, 13–21.
- [14] R. Muller, M. Vette, O. Mailahn, (2016), *Process-oriented task assignment for assembly processes with human-robotics interaction*, Proc. CIRP 44, 210–215.
- [15] L. Peternel, W. Kim, J. Babic, A. Ajoudani, (2017), *Towards ergonomic control of human-robotics co-manipulation and handover*, in 2017 IEEE-RAS 17th International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids), IEEE.
- [16] European Commission, (2018), *Periodic Reporting for period 1 - colobotics (collaborative robotics for assembly and kitting in smart manufacturing)*, Tech. Rep.
- [17] Pérez, L.; Rodríguez, Í.; Rodríguez, N.; Usamentiaga, R.; García, D.F. Robotics Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Review. *Sensors* (2016), 16, 335.
- [18] Clarke, T.; Wang, X. *The control of a robotics end-effector using photogrammetry*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. (2000), 33, 137–142.
- [19] Roni-Jussi Halme, Minna Lanz, Joni Kämäräinen, Roel Pieters, Jyrki Latokartano, Antti Hietanen, (2018), *Review of vision-based safety systems for human-robot collaboration*, Procedia CIRP, Volume 72, Pages 111-116.
- [20] A. Tellaeche, I. Murtua, and A. Ibarguren, "Use of machine vision in collaborative robotics: An industrial case," 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Berlin, 2016, pp. 1-6.
- [21] Nuzzi, C., Pasinetti, S., Lancini, M., Docchio, F., & Sansoni, G. (2018). *Deep Learning-Based Machine Vision: First Steps Towards a Hand Gesture Recognition Set Up for Collaborative Robotics*. 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT.
- [22] R. Li et al., "Unfastening of Hexagonal Headed Screws by a Collaborative Robotics," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 17, no. 3, pp. 1455-1468, July 2020.
- [23] N. M. Difilippo and M. K. Jouaneh, "A system is combining force and vision sensing for automated screw removal on laptops," IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 15, no. 2, pp. 887–895, Apr. 2018.

No futuro, o desenvolvimento da robótica colaborativa na indústria será expresso pela interação próxima do homem e do *robot*. Nessas condições, o espaço de trabalho do *robot* se cruza com o espaço pessoal de uma pessoa. Para uma interação efetiva entre um operador humano e um *robot*, é necessário considerar as tarefas de produção. A Indústria 4.0 muda a estrutura dos processos de produção e o homem se torna o centro do sistema industrial. Graças às condições favoráveis emergentes, os *robots* colaborativos se tornam significativamente mais brilhantes, demonstram os benefícios de uma cooperação confiável e segura e aumentam a produtividade e a eficiência da execução de tarefas.