**Estudo do Estado da Arte de aplicação de Robots e Visão por computador nomeadamente no contexto de cirurgias**

Uma imagem com Tipo de letra, Gráficos, design gráfico, captura de ecrã

Descrição gerada automaticamente

Professora:  
Brígida Constança Correia Teixeira

Elementos do grupo:

Alexandre Costa - 1211225

José Teixeira - 1210965

Rafael Santos - 1221267

Rodrigo Almeida - 1220776

**Considerações importantes**

* Este documento serve de resposta a:

“7.3.3 - As an Admin, I want a study of state of the art of application of Robots and Computer Vision in Hospitals, namely in the context of surgeries. The combination of human-based study and Generative AI is adequate. However, it must be clear what was done by each part.”

* Estilo de referenciação utilizado: IEEE
* Todos os artigos referenciados foram retirados das bibliotecas “IEEE Xplore” ou “Google Scholar”.
* **Todo** o texto deste relatório foi sujeito a uma revisão e melhoria estilística com o auxílio da ferramenta ChatGPT, com o objetivo de aprimorar a clareza, a fluidez e a qualidade gramatical e lexical do texto apresentado.

**1 - Introdução ao tema**

*O termo “robô” foi concebido por Joseph Capek, em 1921, em sua peça Rossom’s Universal Robots, que originalmente veio da palavra tcheca “robota”, que significa “trabalho”. O termo foi rapidamente corrompido para refletir uma tarefa repetitiva orientada para a máquina.[4]*

Pensar em *robôs* como assistentes cirúrgicos é algo bastante mais recente, com aproximadamente apenas 35 anos.

O primeiro registo de cirurgias a humanos com o auxílio de um *robô* é datado em 1985:

*A primeira plataforma robô empregada em humanos foi utilizada em 1985 para realizar biópsias neurocirúrgicas, denominada Programmable Universal Machine for Assembly (PUMA) 200[4]*

Desde a invenção do PUMA até ao notável Da Vinci, foram desenvolvidos vários robôs assistentes em cirurgias. Um exemplo notável é o RoboDoc, desenvolvido para ajudar na realização de cirurgias ortopédicas, permitindo uma maior precisão na colocação de próteses. Outro exemplo é o Cyberknife, um sistema de radiocirurgia robótica usado no tratamento de tumores, especialmente em áreas de difícil acesso, permitindo a administração de radiação com elevada precisão. O RAS (Robotic-Assisted Surgery), por sua vez, representa uma evolução da cirurgia assistida por robôs, ampliando as capacidades de procedimentos minimamente invasivos, com sistemas como o Mako, especializado em cirurgias ortopédicas, incluindo a substituição de joelho e quadril, permitindo maior personalização e precisão. Cada um desses sistemas contribuiu para um avanço significativo no campo da cirurgia, transformando a abordagem dos profissionais de saúde e melhorando os resultados para os pacientes.

**2 - Sistema cirúrgico Da Vinci**

De entre os vários robôs citados, o robô Da Vinci da Intuitive Surgical é um dos mais importantes avanços tecnológicos nesta área. As vantagens de precisão, visualização e ergonomia são amplamente reconhecidas como transformadoras no campo da cirurgia minimamente invasiva.

A person in a suit and a medical equipment

Description automatically generated with medium confidence

Figura1: Sistema Da Vinci da Intuitive Surgical

Da Vinci, desenvolvido pela Intuitive Surgical, é um sistema de cirurgia assistida por robô amplamente utilizado em procedimentos minimamente invasivos. O sistema foi criado para aumentar a precisão, a destreza e a visualização do cirurgião durante a operação. Ele utiliza braços robóticos, cada um controlado por uma consola de cirurgia, onde o cirurgião pode operar os braços com extrema precisão. Os instrumentos dos braços robóticos são equipados com articulações móveis que imitam os movimentos das mãos do cirurgião, proporcionando um controlo preciso e ampliado.

*A câmara endoscópica oferece uma visão 3D de alta-definição do campo cirúrgico, permitindo ao cirurgião uma visão clara e ampliada das áreas mais difíceis de aceder. O sistema é projetado para melhorar a ergonomia do cirurgião, minimizando a fadiga e o desconforto durante longos procedimentos. O Da Vinci é capaz de realizar uma variedade de cirurgias complexas, incluindo urológicas, ginecológicas, cardíacas e gerais.[6]*

A versão mais recente, o Da Vinci Xi, possui aprimoramentos significativos, como braços robóticos mais flexíveis, novos sistemas de visualização, maior mobilidade e agilidade, além de um design mais compacto.

*Com a crescente adoção da tecnologia, o Da Vinci tem se tornado uma ferramenta essencial em muitos centros cirúrgicos ao redor do mundo. Até agora, 3.398 sistemas foram instalados em todo o mundo.[2]*

O sistema Da Vinci é utilizado numa ampla gama de procedimentos, incluindo cirurgias urológicas como a prostatectomia, que consiste na remoção da próstata, e a nefrectomia parcial, que remove tumores renais preservando o tecido saudável. Na ginecologia, o Da Vinci é usado em procedimentos como a histerectomia, que é a remoção do útero, e a miomectomia, que envolve a remoção de fibromas uterinos. Em cirurgia cardiotorácica, o sistema realiza reparações da válvula mitral e ressecação pulmonar. Para cirurgias gerais, como reparações de hérnias, cirurgias colorretais e remoção da vesícula biliar, o Da Vinci também tem sido amplamente utilizado. Além disso, em cirurgias de cabeça e pescoço, o sistema permite a ressecação de certos tumores de garganta.

Entre as vantagens do sistema Da Vinci, destacam-se a redução de perda de sangue devido à precisão dos instrumentos robóticos, a recuperação mais rápida, uma vez que as incisões menores e os danos mínimos aos tecidos favorecem tempos de recuperação mais curtos, e o menor risco de infeção, pois as pequenas incisões reduzem a probabilidade de infeções pós-operatórias. A melhoria nos resultados cirúrgicos também é um ponto positivo, pois a visualização e precisão aprimoradas aumentam a exatidão dos procedimentos.

No entanto, existem desafios e considerações a serem observadas. O sistema Da Vinci é bastante caro, com o custo da máquina a variar entre US$ 1,5 milhão e US$ 2,5 milhões, além dos custos contínuos de manutenção e dos instrumentos descartáveis. Outro desafio é a curva de aprendizagem, pois os cirurgiões exigem formação extensiva para dominar o sistema, dado que é bastante diferente das técnicas tradicionais.

**3 - Avanços recentes e inovações práticas**

**Roboformer[5]**Roboformer é um framework de deep learning projetado para analisar vídeos de cirurgias robóticas e quantificar diversos aspetos das intervenções cirúrgicas. Este sistema tem como objetivo melhorar a avaliação e a formação de cirurgiões, proporcionando uma medição objetiva e precisa do desempenho durante as operações.

O Roboformer é capaz de realizar várias funções essenciais para a análise de cirurgias. Uma de suas principais características é o reconhecimento das fases cirúrgicas, permitindo que ele identifique automaticamente as diferentes etapas de um procedimento cirúrgico, como a preparação, a dissecção e a sutura. Além disso, o framework é capaz de classificar os gestos realizados pelo cirurgião durante a operação, identificando movimentos específicos e as técnicas aplicadas. Outra funcionalidade importante do Roboformer é a avaliação das capacidades do cirurgião, que é feita com base nos gestos e nas técnicas observadas durante a cirurgia, oferecendo uma medida objetiva do desempenho do profissional.

A diagram of a surgery

Description automatically generated

Figura 2: Esquema demonstrativo das diferentes etapas do Roboformer

Um exemplo prático de aplicação do Roboformer seria numa cirurgia robótica minimamente invasiva, que envolve as etapas de dissecção e sutura. O sistema analisaria o vídeo da cirurgia e começaria por dividir o conteúdo em diferentes fases do procedimento, identificando precisamente quando começa e termina cada etapa. Em seguida, dentro de cada fase, o Roboformer classificaria os gestos realizados, como o movimento de corte durante a dissecção ou a técnica de laço utilizada na sutura. Finalmente, o framework avaliaria o desempenho do cirurgião, atribuindo uma pontuação baseada na precisão e eficiência dos gestos, destacando áreas de excelência e sugerindo pontos de melhoria para o profissional.

O Roboformer foi testado em quatro conjuntos de dados de vídeo, que cobrem as etapas de dissecção e sutura em cirurgias robóticas minimamente invasivas. Os resultados demonstraram que o sistema tem um bom desempenho, mantendo a consistência mesmo em vídeos não previamente vistos. Ele também se adaptou bem a diferentes cirurgiões, ajustando-se às variações nos estilos e técnicas individuais, e mostrou ser eficaz em diversos centros médicos, aplicando-se bem em diferentes ambientes clínicos. Além disso, o Roboformer demonstrou versatilidade ao ser testado em múltiplos tipos de cirurgia, evidenciando sua aplicabilidade em uma ampla gama de procedimentos.

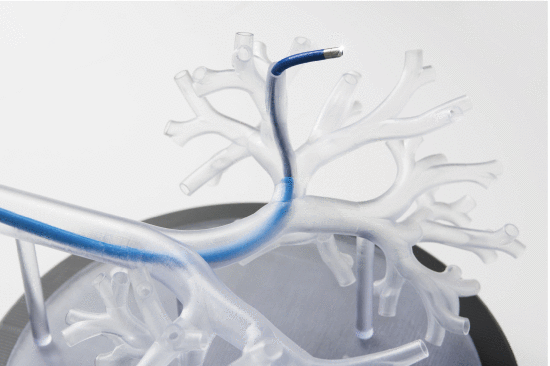
Uma das vantagens adicionais do Roboformer é a capacidade de fornecer explicações claras para suas avaliações, o que aumenta a confiança dos profissionais de saúde nas análises feitas pelo sistema e facilita a sua adoção clínica. Este avanço no campo da quantificação objetiva das atividades cirúrgicas tem o potencial de aprimorar significativamente a formação de cirurgiões, oferecendo uma forma mais precisa de avaliar as suas competências, e contribuir para melhores resultados para os pacientes.

**Monarch[3]**  
AMonarch da Auris é uma plataforma de broncoscopia robótica projetada para melhorar a precisão e a segurança nos procedimentos de diagnóstico e tratamento pulmonar. Este equipamento combina um escopo articulado e uma bainha controlados por robôs, oferecendo uma maior flexibilidade e alcance, especialmente em áreas difíceis de alcançar, como os lobos superiores do pulmão. A plataforma utiliza algoritmos de direção avançados que permitem a manipulação intuitiva com um controlador semelhante ao de videojogos, facilitando a navegação para os médicos.

A direção de três estados permite controlar separadamente o escopo e a bainha ou usá-los em conjunto, proporcionando maior segurança e conforto para os profissionais. O sistema é equipado com sensores de tensão que monitorizam as forças aplicadas nas cordas de tração, ajustando automaticamente a velocidade de articulação ou até mesmo desligando os motores em caso de risco de danos ao equipamento ou ao paciente.

A plataforma foi testada em modelos de cadáveres humanos e em estudos clínicos, mostrando que é capaz de alcançar regiões mais profundas do pulmão do que os broncoscópios convencionais. Após a aprovação pela FDA, a plataforma foi comercializada e está a ser implementada em hospitais, com potencial para detetar tumores pulmonares em estágios iniciais, aumentando as taxas de sobrevivência.

Estas características fazem da Auris Monarch uma ferramenta inovadora para a broncoscopia, com o objetivo de oferecer uma solução mais segura e eficiente para a deteção de doenças pulmonares graves, como o cancro de pulmão.

****  
Figura 3: O broncoscópio do Monarch é composto por um escopo (azul-escuro) e uma bainha (azul-clara, dentro do modelo de um pulmão).

**Avanços futuros e perspetivas/Conclusão**

Um dos tópicos basilares na área da robótica, como vimos, é o movimento do robôassistente.

Nesse tópico, os alemães Simone Müller e Dieter Kranzlmüller, já com bastante experiência na área, exploram uma abordagem inovadora incorporando o tempo como quarta dimensão. Chamam-lhe *O movimento 4D[8].*

Os sistemas tradicionais de navegação em 3D enfrentam frequentemente dificuldades com mudanças dinâmicas devido à sua consciência temporal limitada. Ao integrar o tempo às coordenadas espaciais, os autores propõem um modelo de navegação em 4D que permite aos robôs preverem as suas próprias posições e alterações no ambiente ao longo do tempo. Isso é alcançado através do processamento de imagens relativístico, que gere informações de sensores relacionadas ao tempo dentro de um modelo tensorial em 4D.

Um componente essencial dessa metodologia é o diagrama de *Schlingel*, um sistema de coordenadas que visualiza o movimento dependente de espaço e tempo com 10 graus de liberdade: 4 translações e 6 rotações. Esta estrutura permite integrar diversos dados de sensores, como acelerações, velocidades angulares e campos magnéticos, em um sistema de referência espácio-temporal unificado. Consequentemente, os robôs conseguem compreender melhor as relações causais e expandir o seu raio de interação ao utilizar informações visuais e sensoriais em 4D.

Os autores discutem as vantagens da navegação em 4D, incluindo maior precisão e robustez em ambientes dinâmicos, onde condições como clima, iluminação e movimento de objetos variam ao longo do tempo. Destacam também o potencial de combinar essa abordagem com sistemas de navegação existentes, como a navegação inercial geomagnética, para melhorar ainda mais o desempenho.

O artigo apresenta uma estrutura abrangente para a navegação robótica em 4D utilizando processamento de imagens relativístico, pavimentando bases promissoras para o campo da robótica no futuro.

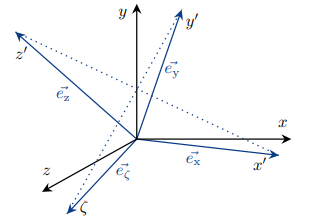


Figura 3: Diagrama de referência baseado em tensores. O novo diagrama 4D converte coordenadas Euclidianas em coordenadas espácio-temporais ao compor bases tensoriais.

**Bibliografia**

[1] J. Rosen, B. Hannaford, and R. M. Satava, Eds., Surgical Robotics: Systems Applications and Visions. Springer Science & Business Media, 2011.

[2] J. Burgner-Kahrs, D. C. Rucker, and H. Choset, "Continuum Robots for Medical Applications: A Survey," IEEE Transactions on Robotics, vol. 31, no. 6, pp. 1261–1280, Dec. 2015, doi: 10.1109/TRO.2015.2489500.

[3] C. F. Graetzel, A. Sheehy, and D. P. Noonan, "Robotic bronchoscopy drive mode of the Auris Monarch platform," in 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 3895–3901, doi: 10.1109/ICRA.2019.8793704.

[4] A. L. G. Morrell, A. C. Morrell-Junior, A. G. Morrell, J. Mendes, M. Freitas, F. Tustumi, and A. Morrell, "Evolução e história da cirurgia robótica: da ilusão à realidade," Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões, vol. 48, p. e20202798, 2021.

[5] D. Kiyasseh, R. Ma, T. F. Haque, J. Nguyen, C. Wagner, A. Anandkumar, and A. J. Hung, "Quantification of robotic surgeries with vision-based deep learning," arXiv preprint arXiv:2205.03028, 2022.

[6] C. F. Pană, V. M. Rădulescu, D. D. Voicilă, D. M. Pătrașcu-Pană, and I. C. Reșceanu, "Position Control of Active Arms of Da Vinci Robotic Surgical System," in 2023 24th International Carpathian Control Conference (ICCC), Miskolc-Szilvásvárad, Hungary, 2023, pp. 321–325, doi: 10.1109/ICCC57093.2023.10178904.

[7] Z. Chen, L. Cruciani, K. Fan, M. Fontana, E. Lievore, O. De Cobelli, and E. De Momi, "Towards safer robot-assisted surgery: A markerless augmented reality framework," Neural Networks, vol. 106469, 2024.

[8] S. Müller and D. Kranzlmüller, "4D-based Robot Navigation Using Relativistic Image Processing," in Proceedings of the AAAI Symposium Series, vol. 4, no. 1, pp. 367–372, Nov. 2024.

Nota: A bibliografia está organizada por ordem cronológica da publicação dos artigos