

MODELAGEM, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO COM 5 GRAUS DE LIBERDADE PARA APLICAÇÃO EM ATIVIDADES DE ALTO RISCO

Diogo Alexandre Martins¹; Israel Cerqueira Motta Neto²; Mateus Santos de Cerqueira³; Pedro Paulo Ventura Tecchio⁴; Nelson Alves Ferreira Neto⁵; Oberdan Rocha Pinheiro⁶

¹ Bolsista; Programa de formação em robótica; diogo.martins@fbter.org.br

² Bolsista; Programa de formação em robótica; israel.neto@fbter.org.br

³ Bolsista; Programa de formação em robótica; mateus.cerqueira@fbter.org.br

⁴ Bolsista; Programa de formação em robótica; pedro.tecchio@fbter.org.br

⁵ Mestre; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; nelson.neto@fieb.org.br

⁶ Doutor; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; oberdan.pinheiro@fieb.org.br

RESUMO

A robótica apresenta soluções para atividades arriscadas ao ser humano. Atualmente, existem robôs teleoperados capazes desarmar ou descartar materiais explosivos. O objetivo deste trabalho é o projeto e fabricação de um robô autônomo capaz de atuar sobre IEDs. Para tanto, utilizam-se diversas ferramentas, como modelagem e construção mecânica, simulação computacional, *framework* de desenvolvimento de software, técnicas de controle e de visão computacional. Dentre os resultados alcançados na área de manipulação robótica, apresentamos o protótipo físico parcialmente completo, o modelo computacional utilizado para testes em ambiente simulado e resultados obtidos nestas simulações.

PALAVRAS-CHAVE: robótica móvel, manipulador, sistemas autônomos.

1. INTRODUÇÃO

Através do uso de novas tecnologias, dispositivos e programação aplicada, robôs podem reproduzir padrões e reagir a determinados eventos, conseguindo realizar uma gama cada vez maior de atividades com extrema precisão, exatidão e rapidez. Com a constante necessidade de diversos setores em melhorar seus processos e serviços, cada vez mais existem robôs realizando atividades que antes eram feitas por humanos. Dentre as atividades realizadas, estão aquelas que são perigosas, demoradas ou repetitivas.

O descarte de objetos perigosos é uma tarefa altamente arriscada para todas as pessoas direta ou indiretamente envolvidas. Esta atividade é realizada tanto na esfera civil quanto na militar. No contexto militar, essa atividade é conhecida como Descarte de Material Explosivo (EOD, do inglês *Explosive Ordnance Disposal*), e pode ser dividida em três subcategorias: remoção de minas, manuseio de munição não explodida e manuseio de dispositivos explosivos improvisados (IEDs, do inglês *Improvised Explosive Devices*).¹

O problema dos IEDs é recorrente em todo o mundo, e segundo o Relatório Anual de Incidentes de Explosivos, publicado anualmente pelo *United States Bomb Data Centre* (USBDC), no ano de 2018 foram registradas 666 recuperações e 131 casos de incidentes de explosão relacionados a IEDs.³ Os dispositivos geralmente utilizados nesta atividade são os robôs teleoperados, que são dispositivos operados remotamente à distância por um operador humano.⁴ A proposta deste artigo é o desenvolvimento de um robô autônomo que realize a atividade de localização e desarme de um artefato explosivo.

Para tanto, faz-se necessário o uso de diversas tecnologias, em especial citamos algoritmos de localização e mapeamento⁵ e visão computacional⁶. Também se faz necessária a escolha de uma plataforma que permita a integração e gerenciamento destes algoritmos⁷. Por fim, em função da complexidade deste projeto, o mesmo foi segmentado em três etapas distintas: localização de um alvo em ambiente virtual⁸ através de exploração e mapeamento realizados pela base móvel, projeto e implementação de um manipulador robótico e integração do manipulador com a base móvel⁹ existente. Neste artigo, abordaremos apenas a segunda etapa.

Desta forma, apresenta-se, na Seção 2, a metodologia utilizada na execução deste projeto e, na Seção 3, os resultados parciais obtidos até o presente momento. Por fim, na Seção 4, discute-se sobre os objetivos esperados e os resultados já alcançados na conclusão deste artigo.

2. METODOLOGIA

O projeto e modelagem mecânica deste manipulador foram inteiramente realizados no OnShape¹⁰. Esta ferramenta de CAD 2D/3D permite o desenho das partes mecânicas, visualização, geração de desenhos técnicos e exportação de arquivos necessários para a produção de peças utilizando a técnica de impressão 3D.

Para o desenvolvimento deste projeto, utilizou-se o *framework* de código aberto, ROS - *Robot Operating System*⁷ versão *Melodic Morenia*, que permite a criação de softwares e aplicações em robótica, e pode ser empregado em conjunto com o ambiente de simulação computacional Gazebo⁸ versão 9. Além destes, destacam-se o MoveIt¹¹ - *Motion Planning Framework*, utilizado para o planejamento de trajetórias do manipulador; o OpenCV - *Open Source Computer Vision*⁶ versão 3.3.1, uma biblioteca de programas amplamente empregada em visão computacional e o pacote *bir_marker_localization*¹² desenvolvido para a localização espacial através da detecção e estimação de posição de marcadores fiduciais ArUco¹³.

Com base nestes recursos, foram desenvolvidas aplicações de *software* capazes de controlar o manipulador com o objetivo de localizar e apertar um botão demarcado por um marcador fiducial de forma autônoma em ambiente simulado. O computador empregado, nestes testes, possui a seguinte configuração: AMD Ryzen 7 1800x 8 núcleos 16 *threads*, 16 GB DDR4 3200MHz, GeForce RTX 2070 SUPER, Ubuntu 18.04 LTS 64-bit.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O manipulador desenvolvido é composto de 5 graus de liberdade, um alcance de 1,137 m, possui uma massa de 4,8 kg e um *payload* (capacidade de carga) de 1,2 kg. O sistema opera com tensão operacional de 24 V corrente contínua, com consumo máximo estimado de 370 W e utiliza comunicação RS-485 com *interface* USB. O desenvolvimento e a orientação espacial deste protótipo foram pensados para a futura utilização na plataforma robótica móvel *Warthog*⁹. O ambiente real dos testes de bancadas a serem realizados está disposto na Figura 1 (a), enquanto o ambiente virtual criado para a simulação deste robô encontra-se disposto na Figura 1 (b). Note que, também na Figura 1 (b) há a representação da posição *home* do manipulador.



(a) Ambiente real



(b) Ambiente simulado

Figura 1: (a) Ambiente de operação em bancada, (b) Ambiente simulado de operação.

Três experimentos foram realizados de modo a verificar a reprodutibilidade da tarefa em diferentes cenários são mostrados na Figura 2. A avaliação do desempenho foi feita utilizando análise estatística sobre 30 amostragens de cada experimento. Os resultados podem ser visualizados no diagrama de caixa disposto na Figura 3. Além disso, destaca-se que o manipulador projetado apresentou um tempo médio de execução de 31,68 [s] com desvio padrão de 7,87 [s] para o primeiro cenário, de 62,30 [s] com desvio padrão de 10,23 [s] e de 33,47 [s] com desvio padrão de 9,12 [s] para o segundo e terceiro cenários respectivamente.

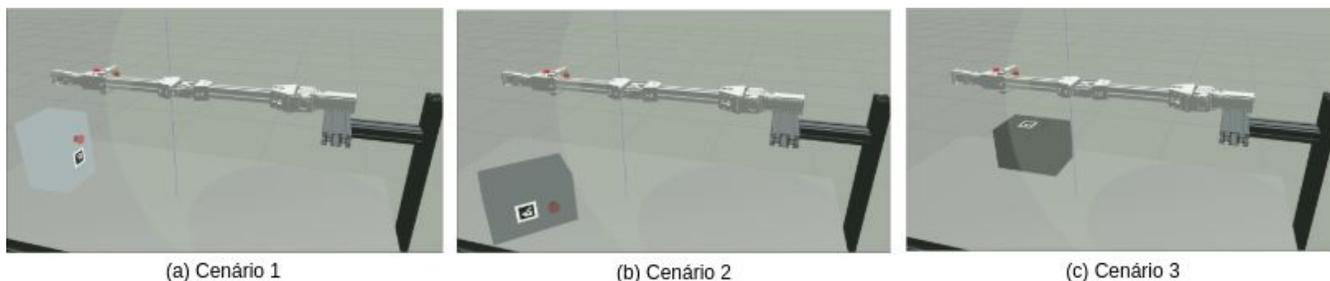


Figura 2: (a) Cenário 1: Caixa na vertical com fiducial frontal, (b) Cenário 2: Caixa na horizontal com fiducial na lateral, (c) Cenário 3: Caixa na horizontal com fiducial para cima.

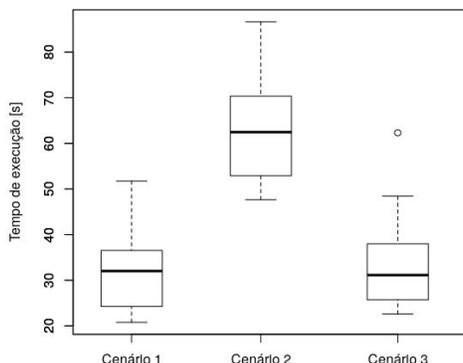


Figura 3: Diagrama de caixa para os três cenários testados. Apresenta mediana, primeiro e terceiro quartis, máximos e mínimos do tempo de execução da tarefa realizada.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado mostra os resultados parciais alcançados no desenvolvimento de um manipulador integrado capaz de desarmar de forma autônoma um dispositivo explosivo. Em ambiente simulacional, através do uso de algoritmos de detecção e localização, controle e visão computacional, o robô projetado identificou, localizou e se dirigiu até o alvo, alocado no ambiente virtual criado para testes, de forma satisfatória e condizente com os objetivos exigidos para esta etapa deste projeto. Trabalhos futuros serão realizados com intuito de finalizar esta e as demais etapas, podendo englobar estudo de aplicação de redes neurais para identificação e detecção de objetos de interesse e melhorias na estrutura mecânica do manipulador com intuito de aumentar sua área de trabalho e eficiência.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ LUNDBERG, Carl; REINHOLD, Roger; CHRISTENSEN, Henrik. **Evaluation of robot deployment in live missions with the military, police, and fire brigade**. International Society for Optics and Photonics, 2007. p. 65380R.
- ² DEROOS, Bradley; PRICE, Joseph; REIDY, John. **Law enforcement robot technology assessment**. International Society for Optics and Photonics, 2001. p. 409-420.
- ³ United States Bomb Data Center. **Explosives Incident Report (EIR) 2016**. United States bomb data center (USBDC), 2016. Disponível em: <<https://www.atf.gov/file/136971/download>>. Acesso em: 28 mar. 2020.
- ⁴ CUI, Jianhong et al. **A review of teleoperation system control**. Proceedings of the Florida Conference on Recent Advances in Robotics. Boca Raton, FL: Florida Atlantic University, 2003. p. 1-12.
- ⁵ DURRANT-WHYTE, Hugh; BAILEY, Tim. **Simultaneous localization and mapping: part I**. IEEE robotics & automation magazine, v. 13, n. 2, p. 99-110, 2006.
- ⁶ BRADSKI, Gary. **The opencv library**. Dr Dobb's J. Software Tools, v. 25, p. 120-125, 2000.

- ⁷ QUIGLEY, Morgan et al. **ROS: an open-source Robot Operating System**. ICRA workshop on open source software. 2009. p. 5.
- ⁸ OSR FOUNDATION. **Gazebo: Robot simulation made easy**, 2014. Página inicial. Disponível em: <<http://gazebo.org/>>. Acesso em: 01 abr. de 2020.
- ⁹ CLEARPATH ROBOTICS. **Warthog: Amphibious Unmanned Ground Vehicle**. Página inicial. Disponível em: <<https://clearpathrobotics.com/warthog-unmanned-ground-vehicle-robot/>>. Acesso em: 01 abr. de 2020.
- ¹⁰ PTC BUSINESS ONSHAPE. **Features & Benefits: Onshape Cloud Product Development Software**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.onshape.com/platform>>. Acesso em: 17 abr. de 2020.
- ¹¹ CHITTA, Sachin; SUCAN, Ioan; COUSINS, Steve. **Moveit![ros topics]**. IEEE Robotics & Automation Magazine, v. 19, n. 1, p. 18-19, 2012.
- ¹² SANTOS, Gabriel da Silva; CARDOSO, Etevaldo; REIS, Marco Antonio dos. **Localização de Robôs Móveis em Ambiente Internos usando Marcos Fiduciais**. Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. Blucher, 2019 p. 226-233.
- ¹³ ROMERO-RAMIREZ, Francisco J.; MUÑOZ-SALINAS, Rafael; MEDINA-CARNICER, Rafael. **Speeded up detection of squared fiducial markers**. Image and vision Computing, v. 76, p. 38-47, 2018.