

# Projekt uniwersalnego robota modularnego

Feliks Brzeziński Kacper Olszewski Patrycja Płodowska

Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny

## Streszczenie

Celem pracy jest przedstawienie robota modularnego Gizmo – jego budowy mechanicznej, koncepcji rozproszonego układu sterowania oraz protokołu komunikacji między-modułowej. Zawiera ona również omówienie fizycznego modelu wykonanego z użyciem druku 3D. Każdy z segmentów posiada niezależne akulatory oraz zdolność do łączenia się i rekonfiguracji. Cechy te sprawiają, że roboty modularne mogą przyjmować różne topologie pozwalające na realizację manipulatorów, robotów mobilnych czy koczających. W ramach artykułu omówiono również potencjalne zastosowania rozciągające się od przemysłu do branży edukacyjnej.

## Wstęp

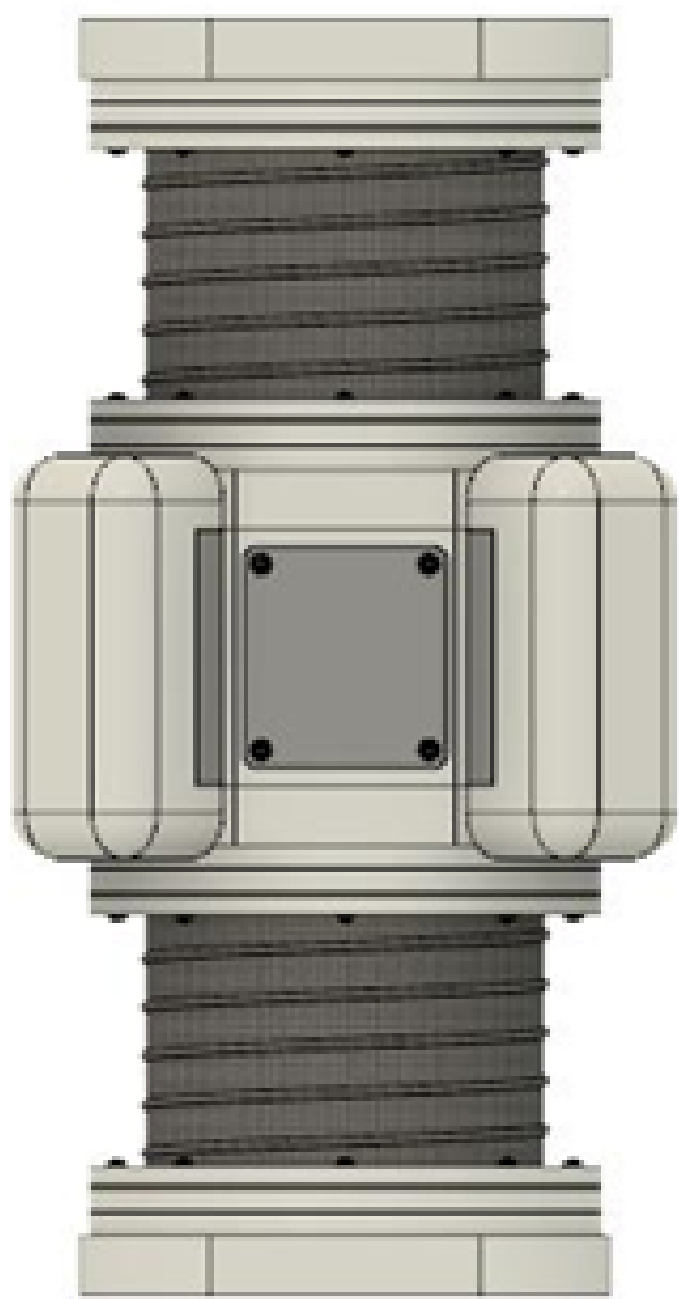
Od początku XXI wieku obserwuje się rozwój nowej dziedziny – robotyki modularnej. Choć obecnie jest to jeszcze niszowa specjalizacja w obrębie robotyki, zyskuje ona na popularności [2]. Nie istnieje jednoznaczna i rozpowszechniona definicja robota modularnego, jednak źródła zazwyczaj zgadzają się co do jego cech. Roboty te muszą składać się z modułów, które posiadają niezależne akulatory i są w stanie łączyć się oraz rekonfigurować [1, 3, 2]. Każdy moduł traktowany jest jako odrębny oraz w pełni funkcjonalny system, co wymusza optymalizację zarówno konstrukcji mechanicznej, jak i układów elektronicznych na poziomie pojedynczego segmentu. Inherentna zdolność do tworzenia różnych topologii poprzez różne sposoby łączenia modułów sprawia, że roboty modularne charakteryzują się lepszą adaptacyjnością oraz wyższą niezawodnością w porównaniu do tradycyjnych robotów [2, 4, 3]. Dzięki swojej charakterystyce, urządzenia te doskonale sprawdzają się w środowiskach o dużej zmienności.

## Konstrukcja mechaniczna robota

Konstrukcję mechaniczną robota można podzielić na dwa główne człony:

- Człon sterowania,
- Człon końcowy.

Robot składa się z dwóch członów końcowych oraz jednego członu sterowania. Każdy z tych członów powstał przy zastosowaniu technik druku 3D. Głównymi materiałami konstrukcyjnymi były PLA oraz TPU.



(a) Model robota



(b) Pierwszy prototyp

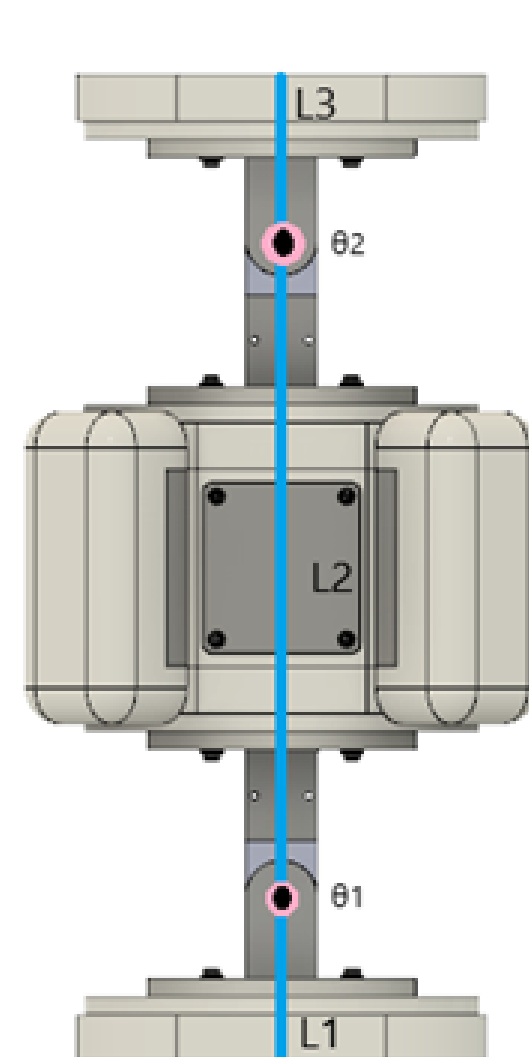
Rys. 1. Robot modularny Gizmo

## Sterowanie robotem

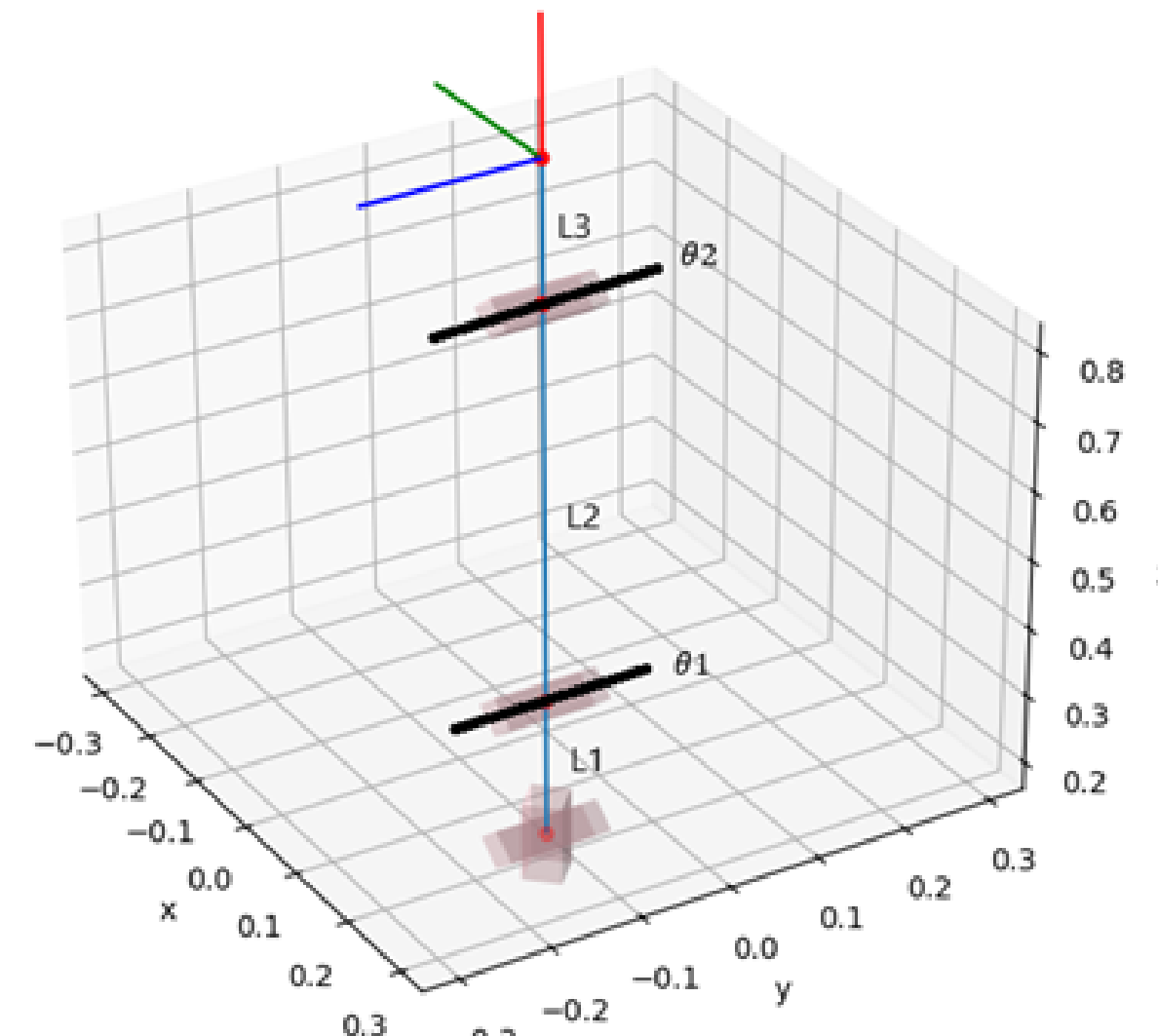
System sterowania robota oparty jest na idei architektury rozproszonej, w której każdy moduł posiada własny mikrokontroler realizujący lokalne zadania sterowania. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest obciążenie jednostki centralnej i zwiększenie niezawodności systemu -- w przypadku awarii jednego modułu pozostałe mogą dokonać samo naprawy poprzez wyłączenie jednego z modułów lub kontynuować pracę niezależnie [2]. Architektura rozproszona pozwala również na łatwą rozbudowę systemu oraz elastyczne dostosowanie zachowania robota do dynamicznie zmieniających się warunków pracy. Nowe moduły powinny być identyfikowane na poziomie magistrali, co umożliwia ich automatyczne włączenie do struktury zapewniając dzięki temu rekonfigurację [2, 4].

## Opis i wizualizacja ruchu robota

Pojedynczy robot zdolny jest do ruchu za pomocą dwóch serwomechanizmów, których osie obrotu są zawsze równoległe do powierzchni łączników końcowych. Możliwe jest zorientowanie osi względem siebie prostopadle lub równoległe. Ruch obrotowy może być realizowany poprzez zastosowanie modułów obrotowych.



(a) Model rzeczywisty



(b) Model uproszczony

Rys. 2. Wyznaczenie parametrów konstrukcji

Do wyznaczenia kinematyki robota została wykorzystana metoda Denavit–Hartenberga. Dla znanych kątów  $\theta_1$  i  $\theta_2$ , pozycja środka górnego łącznika końcowego wynosi:

$$p_x = L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_2 + \theta_3), \quad (1)$$

$$p_y = 0, \quad (2)$$

$$p_z = L_1 + L_2 \sin(\theta_2) + L_3 \sin(\theta_2 + \theta_3). \quad (3)$$

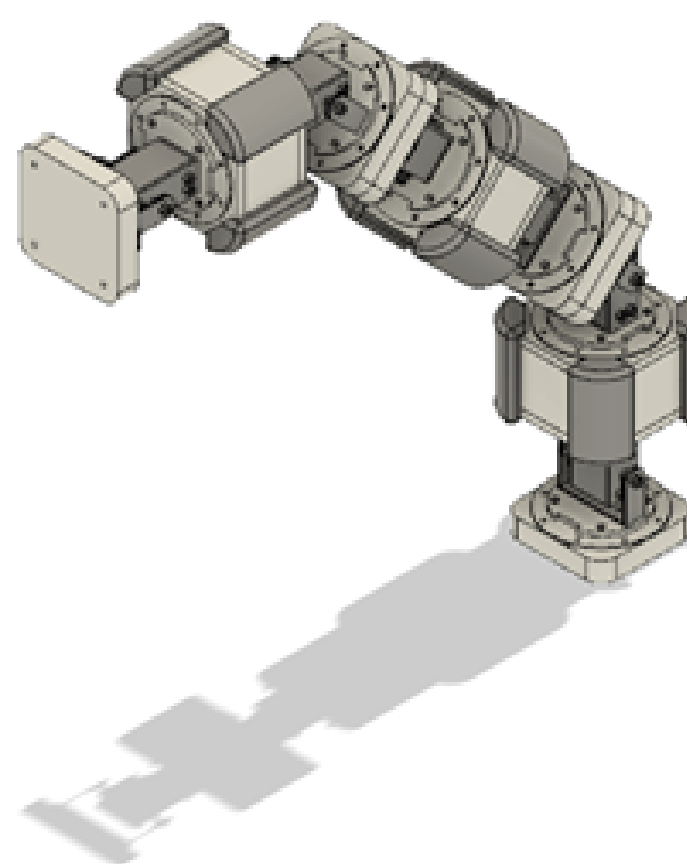
Rozwiązaniem zagadnienia odwrotnej kinematyki dla znanych współrzędnych są równania:

$$\theta_1 = -\cos^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 + z^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3}\right), \quad (4)$$

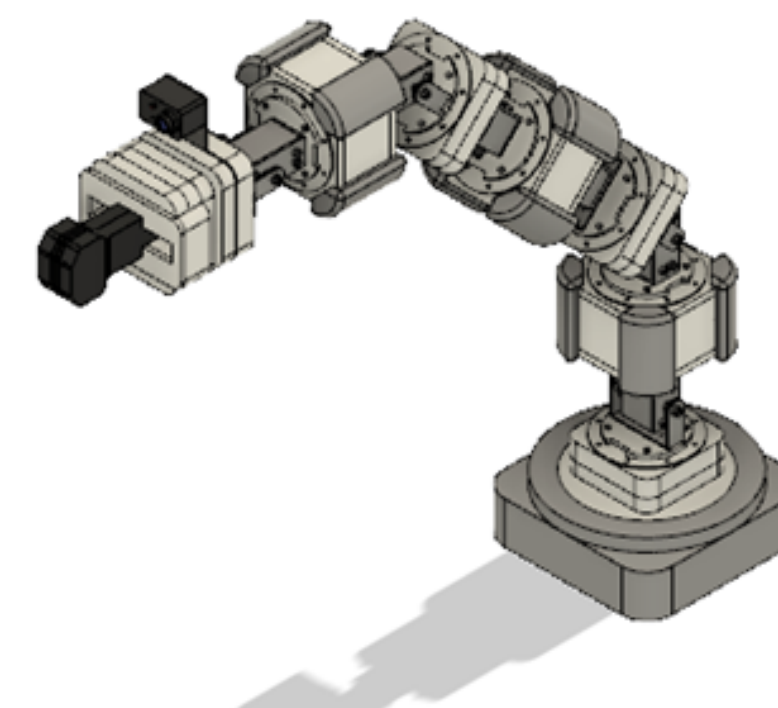
$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) + \arctan\left(\frac{L_3 \sin(\theta_1)}{L_2 + L_3 \cos(\theta_1)}\right). \quad (5)$$

## Przykładowa aplikacja

Dzięki przedstawionym metodom łączenia i konfiguracji możliwe jest tworzenie różnorodnych systemów zrobotyzowanych, w tym: manipulatorów, robotów mobilnych oraz złożonych maszyn. Przykładem może być manipulator widoczny na rysunku 3. Możliwa jest podstawowa konstrukcja zbudowana z trzech robotów lub rozszerzenie o podstawę obrotową lub inne moduły peryferyjne.



(a) Podstawowa wersja



(b) Wersja rozszerzona

Rys. 3. Manipulator zbudowany z robotów Gizmo

## Bibliografia

- [1] I-Ming Chen Guilin Yang. *Modular Robots: Theory and practice*. Springer, 2022.
- [2] Lu Anh Tu Vu, Zhuming Bi, Donald Mueller, and Nashwan Younis. Modular self-configurable robots—the state of the art. *Actuators*, 12(9), 2023.
- [3] Liu Xuan, Zhang Minglu, and Liu Wei. Design method to modular robot system. In *2009 ASME/IFTOMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots*, pages 521–528, 2009.
- [4] E. Yoshida, S. Murata, A. Kamimura, K. Tomita, H. Kurokawa, and S. Kokaji. Self-reconfigurable modular robots – hardware and software development in aist. In *IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, 2003. Proceedings. 2003*, volume 1, pages 339–346 vol.1, 2003.