

Diseño y creación de una cabeza robot social IoT

Néstor Balich¹, Franco Balich¹, Berenice Balich¹
Assem Bekbolatkyzy², Sadri Dridi²

¹ Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática.
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática.
Laboratorio de Robótica e Inteligencia Artificial. Montes de Oca 745, Buenos Aires, Argentina

² Minerva University.
14 Mint Plaza Suite 300. San Francisco. United States

{nestor.balich, francoadrian.balich}@uai.edu.ar, berenice-
celourdes.balich@alumnos.uai.edu.ar
{Assem, Sadri.Dridi}@uni.minerva.edu

Resumen. Los últimos avances tecnológicos proporcionan nuevas herramientas de desarrollo y prototipado de hardware y software que sumados a los avances de la inteligencia artificial (IA) nos permiten desarrollar robots sociales, de forma rápida y a un bajo costo. En este trabajo planteamos el diseño y fabricación de una cabeza para un robot humanoide con capacidad de expresar emociones, con el fin de mejorar las interfaces hombre maquina e investigar sobre interacciones sociales aplicadas a los entornos educativos, principalmente enfocados a un profesor robot con inteligencia artificial que sea capaz de identificar las emociones de los alumnos. También los avances en internet de las cosas (IoT) brindan un nuevo escenario de aplicación e investigación dando lugar a la IoT cognitiva (CIoT) a los robots IoT (IoRT) y al uso de la IA en microservicios.

Palabras clave: cabeza de robot humanoide, fabricación aditiva, iot, ciot, iort, computación afectiva, diseño asistido por computadora.

1. Introducción

La computación afectiva ha sido un tema reciente de investigación en las ciencias de la computación [1]. Fue definida por Rosalind Picard en el año 1995 como “la informática que se relaciona con las emociones, no sólo con las consideradas más importantes, como la alegría o la tristeza, sino también con el interés, el aburrimiento o la frustración, que son las que se dan en relación con los ordenadores.” [2]. Se enfoca en crear programas y dispositivos capaces de interactuar socialmente con los seres humanos, que puedan reconocer, interpretar, procesar y estimular las emociones [1]. El trabajo [1] plantea el reconocimiento de la emoción humana mediante el software “Emotion Detection Asset” como entrada del sistema, basado en el modelo categórico de las emociones humanas sobre 7 expresiones faciales universales, 1) Enojo, 2) Asco, 3) Miedo, 4) Felicidad, 5) Tristeza, 6) Sorpresa 7) Desprecio Fig. 1 [2], en nuestro modelo agregamos una

octava emoción 8) Neutralidad. En nuestro caso esta parte de la investigación solo nos servirá de guía para las expresiones que deberá realizar el robot, con la menor cantidad posible de movimiento y actuadores mecatrónicos.

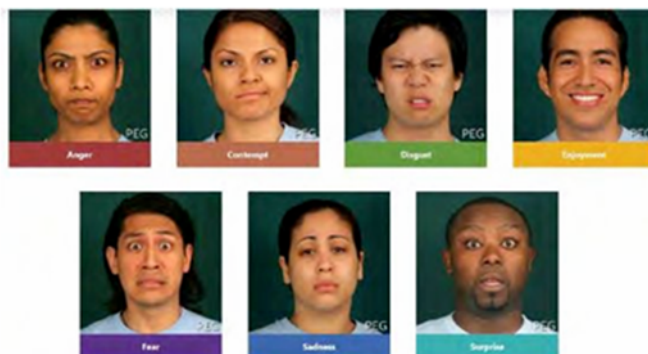


Fig. 1 Paul Ekman conjunto de siete emociones básicas y universales

Si agregamos a esta ecuación la posibilidad de desarrollar robots con capacidades de empatizar con sus usuarios llamados robots sociales (RS) y la capacidad de los nuevos modelos de IA que permiten desarrollar software que pueda simular empatía, hablar como un humano y generar interacciones cada vez más fluidas, como por ejemplo ChatGPT y Gemini. Hacen de sumo interés para una posterior investigación y desarrollo de sistemas basados en los sentimientos. Por ello consideramos fundamental como primer paso crear nuestro propio robot, con el fin de explorar esta dupla entre modelos de IA y robots empleados en la educación.

Existen numerosos artículos sobre el uso de la robótica en educación y sus beneficios como lo cita [4] “La robótica educativa, se ha ido consolidando a través de la última década, como una audaz herramienta para fomentar, a temprana edad, el interés de niños y adolescentes en el mundo de la mecatrónica es por ello que con el desarrollo de la tecnología se han ido implementando a la par, numerosas estrategias para generar en los robots, un atractivo para los niños y jóvenes”.

“Internet de las cosas comenzó como un concepto en 1991, cuando se colocó una máquina de CocaCola en la Universidad Carnegie Melon que permitía a una persona ver si había una bebida” [5]. En este artículo se explican varias tecnologías de impresión 3D para prototipado rápido a partir de modelos CAD, las cuales utilizaremos en este proyecto.

Para poder crear nuestra cabeza robots decidimos abordar un nuevo paradigma que emerge, los robots IoRT término acuñado por Dan Kara en ABI Research en 2014 [6], que van desde sistemas multirobótico (MRS) a sistemas únicos de robot únicos basado en computación distribuida. Los MRS constan de "diferentes formas, tamaños y capacidades de robots, ha recibido una gran atención por parte de los investigadores y se está implementando en una variedad de aplicaciones del mundo real. Desde sensores y actuadores mejorados por tecnologías de comunicación hasta potentes sistemas informáticos que utilizan algoritmos avanzados de Inteligencia Artificial (IA), han impulsado rápidamente el desarrollo de MRS, por lo que el Internet de las cosas (IoT) en

MRS se ha convertido en un tema nuevo, concretamente el Internet de las cosas robóticas. (IoRT)” [7].

Si bien nuestro trabajo se centra en la creación física de una cabeza robot humanoide, se realizó aplicando los lineamientos de los sistemas llamados “Automatización Robótica de Procesos” (RPA) [8], la implementación de programas robóticos (softbots y autómatas) basados en microservicios, programación distribuida e inteligencia artificial base fundamental para segunda parte de nuestra investigación.

Para el diseño y prototipado se utilizó una herramienta para diseño asistido por computadora (CAD) llamada SolidWorks, generando varios de prototipos y empleando también su simulación física con el objetivo de minimizar las impresiones 3D de las partes de la cabeza humanoide.

Otro estudio interesante es el [9] en donde se analizan robots sociales como “NAO , KASPAR, Moxie, QTrobot y AIBO que en general plantea el desarrollo de robots sociales para niños con TEA y analiza los trabajos de Su y Shuzhi que “propusieron una metodología para diseñar la apariencia y los métodos de interacción de los robots sociales” del cual consideramos pertinente tomar las tres variables de atributos para robots sociales:

1. Las **situaciones** incluyen preguntas como el idioma nativo y la cognición del robot, cultura y escena.
2. Los **objetos** incluyen quién, cómo y objetivo.
3. Los **roles** incluyen género, biosociología, diferenciación social, situación cultural y roles.

Considerando también lo expresado por “Bartneck y Forlizzi [10] que propusieron un marco centrado en el diseño para la interacción social entre humanos y robots. El marco contiene las siguientes propiedades: forma, modalidad, normas sociales, autonomía e interactividad”

- 1) En cuanto a la situación el idioma del robot será español con alternativa inglés, centrado en la cultura latina.
- 2) El objetivo final de todo el proyecto es de crear un nuevo profesor robot basado en IA, para ello el primer objetivo es crear una cabeza robótica humanoide con capacidad de expresar emociones con técnicas de metodologías ágiles, diseño 3d, IoT, hardware libre enfocado en los nuevos paradigmas de robots sociales, software robot, microservicios y redes distribuidas en tiempo real.
- 3) Los roles serán de carácter general y la interacción del robot será como auxiliar del docente.

2. Hardware

Basados en la reducción de costos y características del modelo IoRT se optó por una placa Wemos DR1, ya que cuenta con programación en C++ compatible con Arduino, conexión wifi-integrada, comunicación I2C y varias líneas PWM para el control de

servomotores SG90. Con una amplia cantidad de librerías de software libre y una gran comunidad de desarrolladores. Definiendo las especificaciones para la cabeza en:

- **Ojos:** los ojos deben poder moverse y poseer apertura y cierre de parpados, utilizando los servomotores SG90.
- **Boca:** utilizar 3 matrices leds “4x4 5050 16bit Ws2812b” con comunicación I2C para reducir la cantidad de cables.
- **Cuello:** El cuello debe tener 2 grados de libertad permitiendo inclinación y rotación, utilizando un servomotor MG996 para cada eje de rotación.
- **Cámara:** Se debe acoplar una webcam LogitechC920 para permitir reconocimiento de emociones en la siguiente fase de la investigación.

3. Diseño y fabricación

El desarrollo debe poder imitar la expresión de las emociones humanas. Creando una cabeza con base en especificaciones antropomórficas de una cabeza humana.

Los tipos de cabeza robóticas se dividen en “Antropomorfas, zoomorfas y tecnomórficas que son las categorías incluidas en el número de clasificaciones de cabezas robóticas según su apariencia, funcionalidad o características de comportamiento” [11]. En base al trabajo realizado en [12] proponemos una cabeza robótica que combine característica de las antropomórficas y la tecnomórficas con el objetivo de reducir los tiempos de desarrollo, disminuir la cantidad de grados de libertad y potenciar la expresividad.

Boca

Se diseñó una boca modular con conexión I2C con una matriz final de 16x3 leds Fig. 2. La cual permite dibujar labios de forma matricial, secuencias de movimientos, animaciones y reproducción de texto. Este tipo de boca robótica tecnomórfa permite una mayor velocidad de respuesta para el sincronizado de voz y movimiento de los labios. Este tipo de matriz se seleccionó porque al tener leds RGB permitió establecer 3 tipos de colores básicos asociados a las emociones. 1) Rojo: Felicidad 2) Amarillo: Enojo 3) Azul: Tristeza 4) Verde: Neutralidad Fig. 3. Luego se realizó una encuesta sobre 30 alumnos sobre el reconocimiento de 4 emociones basales Tabla 1.

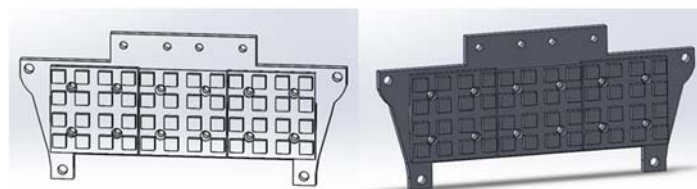


Fig 2. Diseño de boca matriz led



Fig 3. Emociones basales 1) Rojo: Felicidad 2) Amarillo: Enojo 3) Azul: Tristeza 4) Verde: Neutralidad

Tabla 1. Porcentaje de reconocimiento de emoción sobre 30 alumnos.

Emoción	% de reconocimiento
Felicidad	100
Enojo	60
Tristeza	100
Neutralidad	65

Ojos

En este punto propusimos un modelo de ojo humano para el modelo de cabeza robótica mixta, pues de esta forma tendría una apariencia más cercana a un humanoide. Se evaluaron dos tipos de modelos de ojos:

- 1) **Basado en ejes rígidos:** con tres servomotores uno para el eje horizontal de los dos ojos y un motor individual para el movimiento vertical de cada glóbulo ocular, y dos servomotores uno para cada parpado [13] siendo un modelo simple. En la Fig. 4 se puede ver el primer prototipo diseñado.

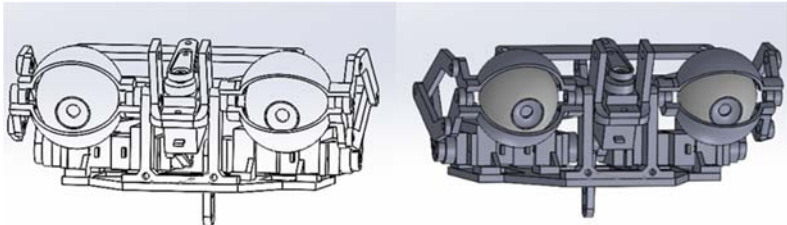


Fig 4. Diseño del primer prototipo de ojos

- 2) **Basado en músculos y tendones:** [14], este modelo es más realista pero mucho más complejo y costoso de realizar Fig. 5. Por lo cual no fue seleccionado.

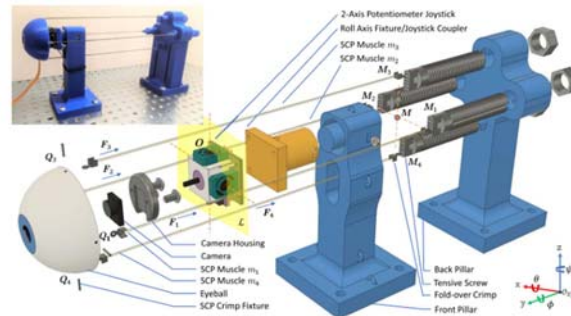


Fig. 5. Diseño basado en músculos tensores

Optamos por realizar nuestro diseño basado en la primera opción, aumentando la cantidad de movimientos de cada ojo desacoplando el movimiento horizontal. De esta forma cada ojo es independiente con tres grados de libertad, glóbulo movimiento horizontal, glóbulo movimiento vertical y apertura de parpados. Si bien esto ocasiona la utilización de un servomotor adicional, nos permitió simplificar el diseño, generar mas expresiones y poder disminuir la distancia entre ojos a un modelo más realista Fig. 6 y luego de 5 ajustes e impresiones puede verse el prototipo final en el centro y a la derecha de la imagen Fig. 7 el cual solo se realizó un cambio de bastidor para ajustarlo a la base de mejor forma.

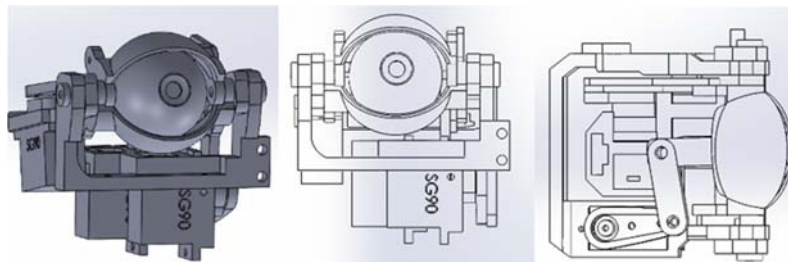


Fig. 6. Diseño prototipo 2

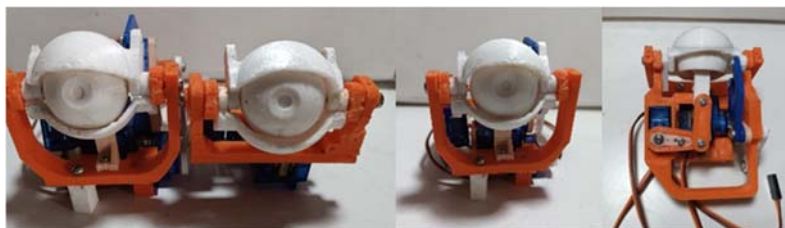


Fig. 7. Prototipo final

Cuello

Para el cuello se realizaron dos articulaciones una montada sobre la base del cuello que permitirá el cabeceo adelante y atrás sobre la base de los hombros, y otra a nivel cabeza que permite el giro hacia los lados Fig. 8.

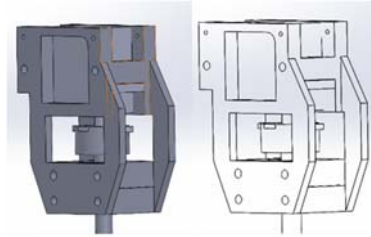


Fig. 8. Diseño rotación hacia los lados.

Cabeza

Para el diseño de la cabeza se integraron todas las partes y se generaron tres prototipos en SolidWorks 2021, consultando con 30 alumnos cuales eran más expresiva y agradables, al mismo tiempo que se contemplaba su funcionalidad en cuanto a ubicación de actuadores, manipulación, dureza y resistencia. Se modularizaron las partes de la cara y en el prototipo final impreso solo se cambió el rostro agregando cejas y nariz Fig. 9, optándose por el prototipo tecno humanoide Fig. 10.

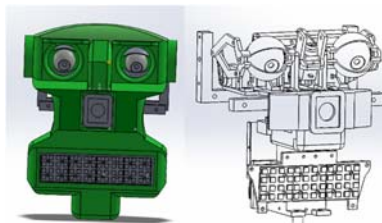


Fig. 9. Prototipo de cabeza mono

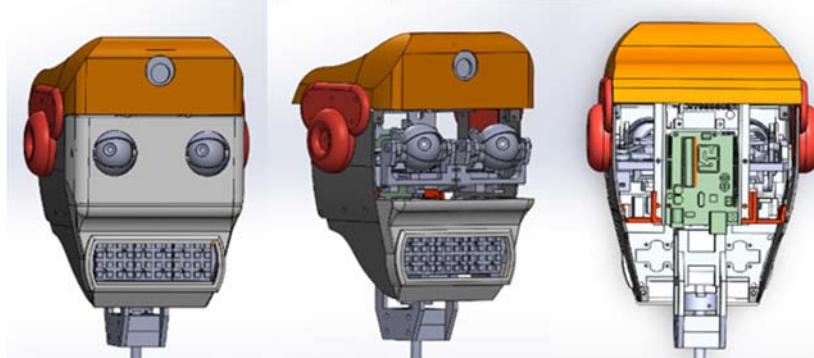


Fig. 10. Prototipo de cabeza tecno humanoide

Dado los lineamientos para IoRT y de los RPA empleados para orquestar flujos de trabajo de servicios que automatizan tareas voluminosas repetitivas y basadas en reglas por lo general en bancos, nos enfocamos en una propuesta combinándolos.

“Las tendencias emergentes del Internet cognitivo de las cosas (CIoT) están revolucionando la automatización de procesos industriales al infundir inteligencia en las interacciones generalizadas y la automatización de procesos de los activos empresariales” [8]. Este tipo de tecnología permite la escalabilidad, el trabajo distribuido y aborda los problemas de latencia en redes y desacoplar el backend del frontend, objetivo de la siguiente parte de la investigación.

Los datos generados a partir de IoT en su mayoría no están estructurados y dependen en su mayoría de la salida de un servidor centralizado, como en un modelo tradicional de server broker MqTT.

Para el futuro modelo planteamos evaluar la aplicación de un modelo IoRT basado en APIs y de esta forma integrar servicios de IA de reconocimiento de imágenes, texto y conversacionales, sumados al control a distancia.

En esta etapa implementamos un sencillo servidor MqTT con Mosquitto que nos permitiera enviar los paquetes json con las emociones que debía expresar la cabeza creando el siguiente formato de datos Tabla 2:

Tabla 2. Formato de datos a enviar al robot.

Actuador	Datos en formato json
Ojo izquierdo	{ "tipo": "ojo_izquierdo", "x": 20, "y": 20, "p": 20 }
Ojo derecho	{ "tipo": "ojo_derecho", "x": 20, "y": 20, "p": 20 }
Cuello	{ "tipo": "cuello", "valor": "90" }
Acciones	{ "tipo": "hablar", "valor": "Hola ¿Cómo estas?" }
Emocion	{ "tipo": "emocion", "valor": "positive" }

Se realizó un programa en C++ para el controlador wemos DR1 Fig. 11 a la derecha, el cual se conecta a la wifi y vía internet, al servidor broker MqTT, corriendo en un servidor Linux en la nube, que luego se suscribe al topic “sendrobot”.



Fig. 11. Cabeza robot terminada y vista del controlador IoT.

También se creó una interfaz de control IoT para el usuario en JavaScript con node.js. Esta aplicación web Fig. 12 se ejecuta en el mismo servidor y es la encargada de publicar en el topic “sendrobot” las ordenes de control IoT. Al ser una aplicación web puede ejecutarse desde cualquier dispositivo que cuente con un navegador.



Fig 12. Frontend control de cabeza robot

4. Conclusiones y trabajo a futuro

Este trabajo permitió integrar alumnos de la universidad de minerva del área de finanzas y sistemas con los propios de la carrera de ingeniería en sistemas. Se abordó con éxito y se probaron conceptos y modelos como el IoRT, CiOT y de otras disciplinas como RPA de finanzas, el enfoque psicológico del trabajo sobre niños con TEA. Todo esto permitió diseñar una cabeza robot social IoRT totalmente funcional, que expresa emociones y la creación de un modelo de software de control IoT escalable sobre la base de MQTT preparado para API Rest. Las técnicas de CAD utilizadas fueron adecuadas y permitió realizar el proyecto en 6 meses con 1 clase por semana los sábados de 4 horas. Se logró al mismo tiempo formar a los alumnos en diferentes tecnologías sentando las bases para la continuidad del proyecto.

A futuro es necesario mejorar la expresividad del robot dado que algunas de las emociones no son 100% reconocidas Tabla 1, para solucionarlos se agregarán cejas móviles a la cabeza robot. También se realizará un software de reconocimiento de emociones para que los alumnos puedan interactuar con el robot mediante un chat con inteligencia artificial. Otra forma de aumentar la expresividad es mediante la sinterización de voz, con las primeras pruebas notamos que al hablar el robot no siempre sincroniza los labios siendo un tema para investigar y solucionar.

Esperamos este trabajo sea una guía de trabajo para el desarrollo de una cabeza robótica, un ejemplo de el abordaje de diferentes disciplinas y técnica en un proyecto conjunto, poniendo en escena nuevas tecnologías y modelos para motivar su investigación.

Referencias

1. Roldan, A., Yapura, P. F., Ierache, J. S., Sattolo, I. I., Elkfury, F., & Chapperon, G. (2023). Interacción humano-robot en el contexto de la computación afectiva asociando estados emocionales al comportamiento de un robot. In XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(La Rioja, 3 al 6 de octubre de 2022).
2. R. Picard, *Affective Computing*, 1995.
3. P. Ekman, W. V. Friesen, M. O'Sullivan, A. Chan, I. Diacyanni-Tarlatzis, K. Heider, R. Krause, W. A. LeCompte, T. Pitcairn, P. E. Ricci-Bitti, K. Scherer y M. Tomita, «Universal and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion» 1987.
4. Criollo Campoverde, J. D., Rivera Álvarez, F. I., & Rodríguez Galarza, G. D. (2023). Diseño e implementación de robots didácticos.
5. Trisha and S. D. Kumar, "Design and Development of IoT-based Robot," 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/INCET49848.2020.9154175.
6. D. Kara, The Internet of robotic things (iort), greatly expanding capabilities and business opportunities, www.abiresearch.com/press/the-internet-of-robotic-things-iort-greatly-expand/, 2014.
7. Kabir, H., Tham, M. L., & Chang, Y. C. (2023). Internet of robotic things for mobile robots: concepts, technologies, challenges, applications, and future directions. *Digital Communications and Networks*, 9(6), 1265-1290.
8. Bhadra, P., Chakraborty, S., & Saha, S. (2023). Cognitive IoT Meets Robotic Process Automation: The Unique Convergence Revolutionizing Digital Transformation in the Industry 4.0 Era. In *Confluence of Artificial Intelligence and Robotic Process Automation* (pp. 355-388). Singapore: Springer Nature Singapore.
9. Cano, S., Díaz-Arancibia, J., Arango-López, J., Libreros, J. E., & García, M. (2023). Design path for a social robot for emotional communication for children with autism spectrum disorder (ASD). *Sensors*, 23(11), 5291.
10. Bartneck, C.; Forlizzi, J. A design-centred framework for social human-robot interaction. In *Proceedings of the RO-MAN 2004, 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication* (IEEE Catalog No. 04TH8759), Kurashiki, Japan, 20–22 September 2004; pp. 591–594.
11. MAVJ Muthugala, MKBS Munasinghe, MHC Lakshan, LHH Madurangi, and AGBP Jayasekara, Design of an Interactive Robotic Head with Human-like Movements, 2013 IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems.
12. J. Alagenio, E. J. L. Jabanes, C. P. Genobiagon and N. B. Linsangan, "Hardware Development of a Humanoid Robot Head: "Gabot",," 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), Manila, Philippines, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/HNICEM54116.2021.9731880
13. H. Miwa, T. Okuchi, H. Takanobu and A. Takanishi, "Development of a new human-like head robot WE-4," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Lausanne, Switzerland, 2002, pp. 2443-2448 vol.3, doi: 10.1109/IRDS.2002.1041634.
14. Rajendran, S. K., Wei, Q., Yao, N., & Zhang, F. (2023). Design, Implementation, and Observer-based Output Control of a Super-coiled Polymer-Driven Two Degree-of-Freedom Robotic Eye. *IEEE Robotics and Automation Letters*.