



Diseño de Efecto Robótico Suave Para Tareas Asistenciales de Agarre de Objetos Delgados

Design of a Soft Robotic Effector for Assistive Grasping of Thin Objects

Carolina Rodríguez Peña, *Estudiante de Maestría en Gerencia de Proyectos*¹, Robinson Jiménez-Moreno, *PhD Ingeniería*², Javier Eduardo Martínez Baquero, *MSc Tecnología Educativa y Medios Innovadores para la Educación*³

^{1,2}Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

³Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

¹est.carolina.rodrip@unimilitar.edu.co

²robinson.jimenez@unimilitar.edu.co

³jmartinez@unillanos.edu.co

Resumen – En el presente documento se expone el diseño de un efector robótico suave enfocado a tareas asistenciales que permite el agarre de objetos delgados como pañuelos o papel, en el que se establecen algunas características bioinspiradas en el agarre humano, que surte de retraer los dedos uno hacia el otro. Para dicho proyecto se utilizó sistema de impresión 3D mediante diseño CAD del efector propuesto, para el cual se realizaron variaciones de las diferentes dimensiones de cada dedo. Los parámetros de impresión se ajustaron para uso de material flexible mediante TPU. Se resalta el desarrollo del efector robótico en material flexible, el cual se ajusta al agarre de objetos delgados, permitiendo recoger y entregar dichos objetos a un usuario final de forma correcta, además el material demostró lograr una interacción natural con el usuario, sin perder la estructura de objetos delicados como el papel.

Palabras clave: Agarre, diseño, efector robótico, impresión 3D, material flexible

Abstract – This work presents the design of a soft robotic effector focused on assistance tasks that allows the grasping of thin objects such as handkerchiefs or paper, in which some bio-inspired characteristics are established in the human grip, which is provided by the retraction of the fingers to each other. For this project, 3D printing system was used by CAD design of the proposed effector, for which variations of the different dimensions of each finger were made. The printing parameters were adjusted for the use of flexible TPU material. The development of the robotic effector in flexible material stands out, which adjusts to the grip of thin objects, allowing to take and deliver such objects to an end user correctly, also the material showed to achieve a natural interaction with the user, without losing the structure of delicate objects such as paper.

Keywords: Gripping, design, robotic effector, 3D printing, flexible material

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de impresión 3D soportan el desarrollo de múltiples investigaciones en los últimos años. Estas investigaciones se basan en el uso de nuevos materiales como, por ejemplo, polímeros que mejoran y potencializan aplicaciones, tal como se expone en [1] o materiales a partir de nuevas fibras de carbono reforzado como se expone en [2]. Las aplicaciones a base de nuevos materiales, diseños y conceptos por medio de sistemas de impresión 3D, potencializan los desarrollos de la industria 4.0 permitiendo la creación de estructuras base y de alta complejidad [3].

Como tecnología emergente, los sistemas de impresión 3D permiten aplicaciones en campos como la medicina, por ejemplo, en la producción de tejidos óseos [4]. Permiten el desarrollo de estructuras, algoritmos y lazos de control para mejorar el esquema de impresión [5]. Incluso manejando estructuras a gran escala como lo es el caso de construcciones residenciales [6]. Otro campo emergente en los últimos años, que se sirve de los sistemas de impresión 3D es la robótica suave [7][8]. En esta área destaca el diseño de diferentes tipos de actuadores, por ejemplo, para desarrollo de bandas de medición de presión sanguínea [9]. Agarre suave de objetos circulares [10], diseños tipo membrana [11], de fibra reforzada [12] o de acción magnética [13]. Estos diseños permiten una gran variedad de aplicaciones, por ejemplo, en agricultura de precisión para el agarre de manzanas [14].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Dentro de estas investigaciones no se han encontrado actuadores adecuados para agarre de papel, o telas tipo pañuelo, tarea importante para el desarrollo de actuadores de robótica suave orientados a sistemas asistenciales en el hogar. Derivado de esto se diseña un efector para robótica suave que permita el agarre de este tipo de objetos mediante sistemas de impresión 3D.

Este artículo se divide en cuatro secciones, la primera corresponde a la presente introducción exponiendo el estado del arte. La segunda corresponde al diseño del efector en herramientas CAD e impresión 3D. La tercera sección corresponde a las pruebas y el análisis de resultados y finalmente se exponen las conclusiones alcanzadas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Dado que se requiere un efector capaz de tomar objetos delgados como pañuelos o papel, se establecen algunas características bioinspiradas en el agarre humano de estos objetos. Esta acción principalmente es llevada a cabo por los dedos pulgar e índice como se aprecia en la Figura 1.

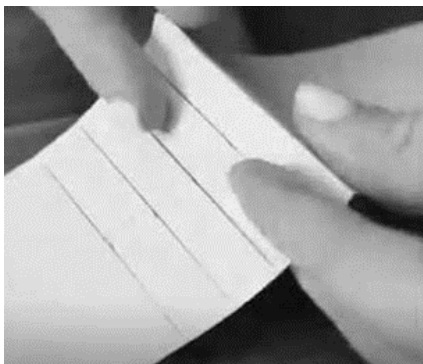


Figura 1. Agarre de papel con dos dedos (bio-inspiración)

El proceso de agarre surge de retraer los dedos uno hacia el otro, lo que implica una orientación de un dedo frente al otro. Por lo que el diseño del efector se establece bajo esta replica mediante dos dedos cada uno de dos falanges y una articulación (ver Figura 2) para cada lado del agarre implicado.

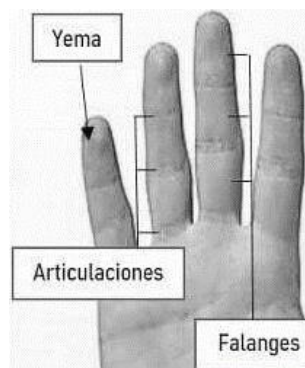


Figura 2. Partes del dedo. Tomado de <https://www.arablog.co/wp-content/uploads/2019/06/partes-del-dedo.jpg>

Se procedió a realizar el diseño CAD del efector propuesto, para el cual se realizaron variaciones de las diferentes dimensiones de cada dedo acorde a la tabla 1.

TABLA I.
ITERACIONES DE DISEÑO CAD

Dimensión	Rango	% variación
Largo	8 a 10 cm	20
Ancho	1 a 2 cm	25
Distancia articulación	30 a 60 %	10

El esquema general del efector en CAD se puede ver en la Figura 3.

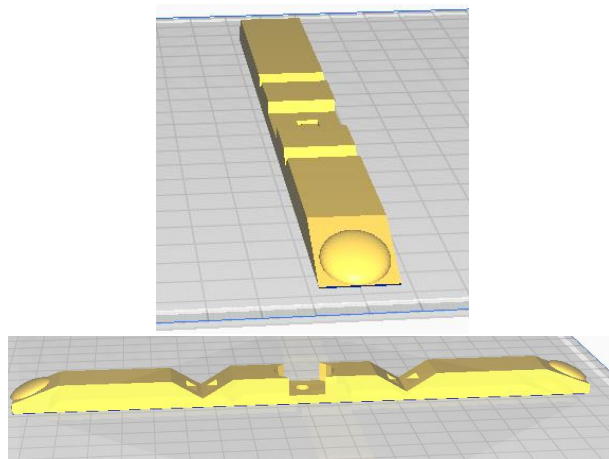


Figura 3. Diseño CAD del modelo final.

Los parámetros de impresión se ajustaron para uso de material flexible mediante TPU, acorde a la tabla 2. La impresión en TPU permite una estructura no rígida que facilita la retracción del efector.

TABLA II.
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D

Parámetro	Valor
Extrusor	200 °C
Cama	60 °C
Densidad de relleno	20%
Patrón de relleno	Zig-zag

TABLA III.
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D

Objeto	Agarres acertados
Papel	19
Pañuelo	18
Promedio en porcentaje	92,5%

III. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

La tabla 1 implica 160 combinaciones entre las diferentes dimensiones, de las cuales para pruebas de impresión se tomó el 20% en rangos extremos e intermedios, con impresiones en escala 1:4, para reducir el tiempo y la cantidad de material de prueba, ver figura 4.



Figura 4. Prueba piloto de impresión 3D.

Mediante pruebas de agarre iterativas se determinó como medidas finales un largo de 9 cm, un ancho de 1,4 cm y una distancia de articulación de inicio a punta del dedo del 40%. La Figura 5 ilustra el efector final empleado. Dentro de las primeras pruebas se observó la necesidad de agregar una superficie sobresaliente tipo la yema del dedo (Figura 2) para aumentar la superficie de agarre al estar los dedos de frente.

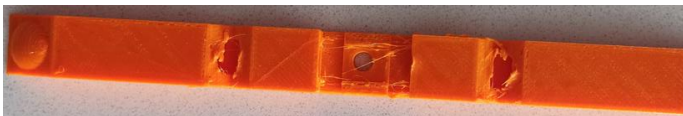


Figura 5. Impresión 3D del modelo final.

Las pruebas de agarre de papel y de una tela tipo pañuelo se tabulan en la tabla 3, evidenciando en un proceso iterativo de agarre de veinte pruebas por objeto (ver figura 6), un desempeño del 92,5% de eficacia en el trabajo del efector.



Figura 6. Pruebas de agarre (superior papel e inferior pañuelo).

Las pruebas fallidas se dieron para los casos en que el grosor de la superficie de agarre era muy delgado, por ejemplo, una capa sencilla de papel o el pañuelo extendido el lugar de doblado. Al no ser una superficie rígida y fría como lo pueden ser un efector metálico o de plástico, la interacción con el usuario se sintió natural, al entregar el objeto en la mano. La forma tipo dedo ayuda a la percepción visual de una interacción menos rígida o forzada frente a un agente robótico.

IV. CONCLUSIONES

Se logró obtener un efector robótico en material flexible que se acomoda al agarre de objetos delgados permitiendo recoger y entregar a un usuario final de forma acertada dicha objeto. La estructura empleada en el diseño del efector y el material demostró lograr una interacción natural con el usuario y mantener la estructura de objetos delicados como el papel.

Los parámetros de diseño y la configuración de la impresión 3D son los elementos de mayor influencia en la construcción

del efector, para lo cual se evidenció que es necesario un adecuado prediseño y establecimiento de prerrequisitos que disminuyan las iteraciones tanto en el entorno CAD de diseño como de su impresión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la vicerrectoría de investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, por el financiamiento de este proyecto con código IMP-ING-3405 (2021-2022) y titulado "Prototipo robótico móvil para tareas asistenciales en entornos residenciales". A su vez agradecen a la Universidad de los Llanos por su participación.

REFERENCIAS

- [1] Tatiya Siripongpreda, Voravee P. Hoven, Benjaporn Narupai, Nadnudda Rodthongkum, Emerging 3D printing based on polymers and nanomaterial additives: Enhancement of properties and potential applications, *European Polymer Journal*, Volume 184, 2023, 111806, ISSN 0014-3057, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111806>.
- [2] Wencai Dong, Chonggao Bao, Wenqi Lu, Rongzhen Liu, Haiqiang Ma, Shijia Li, Kun Sun, Fabrication of a continuous carbon fiber-reinforced phenolic resin composites via in situ-curing 3D printing technology, *Composites Communications*, Volume 38, 2023, 101497, ISSN 2452-2139, <https://doi.org/10.1016/j.coco.2023.101497>.
- [3] R. Surya Teja, M. Lokesh, S. Deepak Kumar, P.S.V. Ramana Rao, 3D Printing of complex structures: Case study of Eiffel Tower, *Materials Today: Proceedings*, 2022, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.037>.
- [4] Qiliang Zhang, Jian Zhou, Peixuan Zhi, Leixin Liu, Chaozong Liu, Ao Fang, Qidong Zhang, 3D printing method for bone tissue engineering scaffold, *Medicine in Novel Technology and Devices*, Volume 17, 2023, 100205, ISSN 2590-0935, <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2022.100205>.
- [5] Ezgi Kucukdeger, Blake N. Johnson, Closed-loop controlled conformal 3D printing on moving objects via tool-localized object position sensing, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 89, 2023, Pages 39-49, ISSN 1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.01.020>.
- [6] Mohammad Alabbasi, Asterios Agkathidis, Hanmei Chen, Robotic 3D printing of concrete building components for residential buildings in Saudi Arabia, *Automation in Construction*, Volume 148, 2023, 104751, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104751>.
- [7] Ali Zolfagharian, Mohammad Lakhi, Sadegh Ranjbar, Yonas Tadesse, Mahdi Bodaghi, 3D printing non-assembly compliant joints for soft robotics, *Results in Engineering*, Volume 15, 2022, 100558, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100558>.
- [8] Zhongbao Wang, Yigen Wu, Bin Zhu, Qixiang Chen, Lingyun Wang, Yang Zhao, Daoheng Sun, Jianyi Zheng, Dezhi Wu, A magnetic soft robot with multimodal sensing capability by multimaterial direct ink writing, *Additive Manufacturing*, Volume 61, 2023, 103320, ISSN 2214-8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103320>.
- [9] Yiding Zhong, Wei Tang, Chao Zhang, Zhongdong Jiao, Dongming Wu, Weiting Liu, Huayong Yang, Jun Zou, Programmable thermochromic soft actuators with "two dimensional" bilayer architectures for soft robotics, *Nano Energy*, Volume 102, 2022, 107741, ISSN 2211-2855, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107741>.
- [10] Venkatesa Prabu Dinakaran, Meenakshi Priya Balasubramaniyan, Suresh Muthusamy, Hitesh Panchal, Performa of SCARA based intelligent 3 axis robotic soft gripper for enhanced material handling, *Advances in Engineering Software*, Volume 176, 2023, 103366, ISSN 0965-9978, <https://doi.org/10.1016/j.advensoft.2022.103366>.
- [11] Mi-jin Kim, Baek-gyeom Kim, Je-sung Koh, Hwang Yi, Flexural biomimetic responsive building façade using a hybrid soft robot actuator and fabric membrane, *Automation in Construction*, Volume 145, 2023, 104660, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104660>.
- [12] Qiandiao Wei, He Xu, Feng Sun, Fan Chang, Siqing Chen, Xinyue Zhang, Biomimetic fiber reinforced dual-mode actuator for soft robots, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 344, 2022, 113761, ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113761>.
- [13] Hongman Wang, Zhisen Zhu, He Jin, Rui Wei, Lei Bi, Wenling Zhang, Magnetic soft robots: Design, actuation, and function, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 922, 2022, 166219, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166219>.
- [14] Xing Wang, Hanwen Kang, Hongyu Zhou, Wesley Au, Michael Yu Wang, Chao Chen, Development and evaluation of a robust soft robotic gripper for apple harvesting, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 204, 2023, 107552, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107552>.