

Remanufactura robótica de productos industriales deformables

López-Nicolás, Gonzalo*, Aranda, Miguel, Aragüés, Rosario, Sagüés, Carlos

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), Universidad de Zaragoza, España

To cite this article: López-Nicolás, G., Aranda, M., Aragüés, R., Sagüés, C. 2026. Robotic remanufacturing of deformable industrial products. Actas del II Simposio CEA de los GT: Ingeniería de Control - Modelado, Simulación y Optimización - Educación en Automática. Zaragoza, España.

Resumen

La remanufactura es un proceso mediante el cual los productos usados se restauran hasta dejarlos como nuevos. Habitualmente esto implica desmontar el producto, limpiarlo, reparar o sustituir las piezas desgastadas o dañadas, volver a montarlo y someterlo a pruebas para garantizar que cumple con las especificaciones y los estándares de rendimiento originales. Un aspecto clave es que los productos remanufacturados suelen venir con garantías similares a las de los productos nuevos. Algunos ejemplos de remanufactura se pueden encontrar en la industria aeronáutica (diversas empresas aeronáuticas remanufacturan componentes como por ejemplo trenes de aterrizaje), maquinaria pesada (por ejemplo equipos de minería tales como cilindros hidráulicos y piezas de motores) o instrumentos quirúrgicos (remanufactura de instrumentos quirúrgicos de alta calidad mediante la limpieza, el afilado y la sustitución de piezas).

En este contexto se puso en marcha en 2024 el proyecto REMAIN (Robotic Remanufacturing of Deformable Industrial Products), una colaboración de tres años con socios de España, Francia y Portugal. Junto con la Universidad de Zaragoza e INESCOP, que lidera el consorcio del proyecto REMAIN, las entidades que participan en el proyecto son FICE (Federación de Industrias del Calzado Español), AIDA-CCI (Cámara de Comercio e Industria del Distrito de Aveiro), la Universidad de Alicante, la Universidad de Coimbra, el centro universitario Clermont Auvergne INP, la empresa española ACN (Automática y Control Numérico SL), y la empresa francesa SMA-RTY. El proyecto pretende detectar automáticamente daños en productos usados y desarrollar un sistema multi-robot para desmontar y preparar artículos para su remanufactura. Juega un papel especial la asociación social española Proyecto Lázaro, que se centra en la creación de oportunidades de empleo para personas en circunstancias vulnerables, al tiempo que aborda los problemas medioambientales relacionados con los residuos textiles y de calzado.

El proyecto REMAIN forma parte del programa Interreg Sudoeste, que apoya el desarrollo regional mediante la cofinanciación de proyectos transnacionales por parte del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). La Universidad de Zaragoza aporta a este proyecto su experiencia en robótica industrial, robótica móvil, sistemas de percepción, Cuiral-Zueco and López-Nicolás (2023), sistemas multi-robot, Herguedas et al. (2019), y manipulación de productos deformables, Cuiral-Zueco and López-Nicolás (2024). Esta tecnología permitirá procesos de remanufactura que pueden reincorporar a la cadena de producción productos deteriorados. En particular, el objetivo de REMAIN es dar una segunda vida a los productos manufacturados, especialmente a los de la industria del calzado, que genera importantes residuos. Se pretende que la remanufactura de productos sea una alternativa económicamente viable para los consumidores y con un impacto positivo en el medio ambiente, al tiempo que beneficia a las industrias al reducir el uso de materias primas.

Entre las principales tareas a considerar está el desarrollo de nuevos métodos y herramientas que permitan detectar los daños en productos usados y un sistema multi-robot que sea capaz de desensamblarlos y prepararlos para su reintroducción en las cadenas de fabricación de dichos productos. Se trata de problemas multidisciplinares que abarcan aspectos de percepción, modelado y control (ver ejemplos en la Figura 1). En particular, para la manipulación robótica de objetos lineales deformables en 3D se ha desarrollado un modelo geométrico “offline” de deformación elástica, Burgh-Oliván et al. (2025). También se ha trabajado en la estimación de deformaciones respecto al objeto de referencia mediante mapas funcionales para estimar, por ejemplo, deformaciones y defectos en el objeto manipulado, Cuiral-Zueco and López-Nicolás (2025). Teniendo en cuenta la manipulación de objetos deformables sin

*Autor para correspondencia: gonlopez@unizar.es

textura, una nueva estrategia de control multi-escala basada en Procrustes se presentó para manipular objetos en 3D mediante dos brazos robóticos, Cuiral-Zueco and López-Nicolás (2024). La tarea de manipulación de objetos deformables es aún más compleja cuando el objeto también es frágil y es necesario limitar la deformación permitida. En este contexto, se ha investigado un método de manipulación basado en la ejecución de acciones de empuje en los bordes del objeto con un brazo robótico, Herguedas et al. (2024). Por otro lado, cuando el objeto a manipular es grande o pesado, puede ser necesario utilizar un sistema multi-robot para realizar las tareas de manipulación o transporte, Aranda et al. (2024) y de percepción, Pardina et al. (2025). En este problema, es relevante no sólo controlar la formación sino permitir cierta flexibilidad mediante modos de deformación que permitan preservar la integridad del objeto al tiempo que se consigue un sistema de transporte altamente flexible, Marcos-Saavedra et al. (2025).

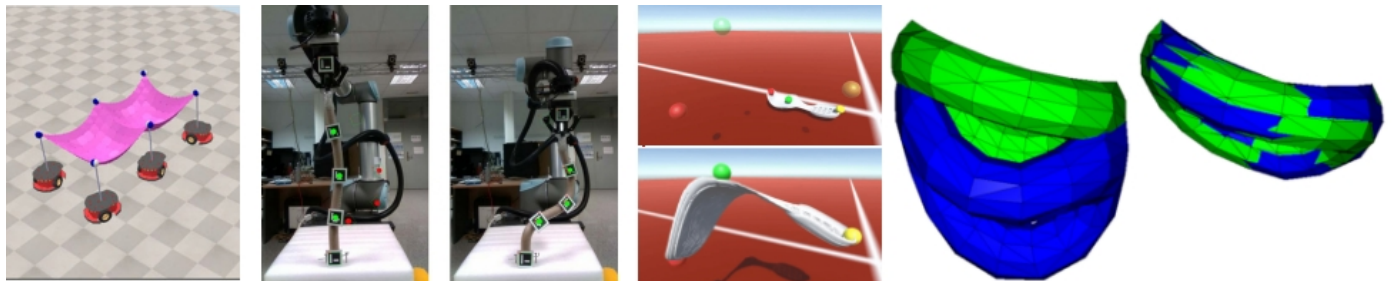


Figura 1: Ejemplos de trabajos realizados en el marco del proyecto REMAIN. De izquierda a derecha: Transporte multi-robot de objetos deformables, Marcos-Saavedra et al. (2025); Control de la forma de objetos lineales. Se muestra el estado inicial y final del objeto después del control con la deformación deseada, Burgh-Oliván et al. (2025); Control de deformación con restricciones de fuerza. Se deforma una suela flexible desde un estado inicial (arriba) al estado deseado (debajo) analizando que las fuerzas internas no superen el umbral que pueda dañar la integridad del objeto, Zafrá-Navarro et al. (2025); Modelos geométricos para la manipulación de objetos deformables. En verde, el objeto flexible de referencia sometido a gravedad, y en azul el objeto con el modelo propuesto de ARAP dinámico con gravedad antes y después de optimizar sus parámetros, Margalejo et al. (2025).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto REMAIN - S1/1.1/E0111 (Programa Interreg Sudoe, FEDER) y de los proyectos PID2021-124137OB-I00 y PID2024-159279OB-I00 financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, por FEDER “A way of making Europe” y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR, por el Gobierno de Aragón en el marco del proyecto DGA T45_23R, y a través de la ayuda RYC2024-051408-I, financiada por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por el FSE+.

Referencias

- Aranda, M., Aragüés, R., López-Nicolás, G., 2024. Shape control of maneuvering planar formations based on distributed deformation minimization. In: Marques, L., Santos, C., Lima, J. L., Tardioli, D., Ferre, M. (Eds.), Robot 2023: Sixth Iberian Robotics Conference. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 338–350.
- Burgh-Oliván, M., Aranda, M., López-Nicolás, G., 2025. Controlling the shape of deformable linear objects in 3-D with a simple geometric model. In: 2025 IEEE 30th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), pp. 1–8.
DOI: 10.1109/ETFA65518.2025.11205790
- Cuiral-Zueco, I., López-Nicolás, G., 2023. Elastic contour mapping for the estimation of abrupt shape deformations. In: Marques, L., Santos, C., Lima, J. L., Tardioli, D., Ferre, M. (Eds.), Robot 2023: Sixth Iberian Robotics Conference. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 400–408.
- Cuiral-Zueco, I., López-Nicolás, G., 2024. Multiscale Procrustes-based 3-D shape control. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 29 (3), 1738–1748.
DOI: 10.1109/TMECH.2023.3325934
- Cuiral-Zueco, I., López-Nicolás, G., 2024. Taxonomy of deformable object shape control. IEEE Robotics and Automation Letters 9 (10), 9015–9022.
DOI: 10.1109/LRA.2024.3455770
- Cuiral-Zueco, I., López-Nicolás, G., 2025. Time consistent surface mapping for deformable object shape control. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 22, 11099–11111.
DOI: 10.1109/TASE.2025.3529180
- Herguedas, R., López-Nicolás, G., Aragüés, R., Sagüés, C., 2019. Survey on multi-robot manipulation of deformable objects. In: 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, Zaragoza, Spain, September 10–13. pp. 977–984.
DOI: 10.1109/ETFA.2019.8868987
- Herguedas, R., Sundaram, A. M., López-Nicolás, G., Roa, M. A., Sagüés, C., 2024. Adaptive bayesian optimization for robotic pushing of thin fragile deformable objects. In: Marques, L., Santos, C., Lima, J. L., Tardioli, D., Ferre, M. (Eds.), Robot 2023: Sixth Iberian Robotics Conference. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 351–362.
- Marcos-Saavedra, R., Aranda, M., López-Nicolás, G., 2025. Multirobot control with deformation modes for transport of deformable objects. International Journal of Systems Science, 1–17.
DOI: 10.1080/00207721.2025.2559138
- Margalejo, E., Aranda, M., López-Nicolás, G., 2025. Adaptable geometric models for handling deformable objects. Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A 13.
DOI: 10.26754/jji-i3a.202511968
- Pardina, S., Aragüés, R., López-Nicolás, G., 2025. Dynamic consensus for deformable body centroid estimation. Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A 13.
DOI: 10.26754/jji-i3a.202511904
- Zafrá-Navarro, A., Aragüés, R., López-Nicolás, G., 2025. Overstress avoidance on flexible object manipulation. Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A 13.
DOI: 10.26754/jji-i3a.202511906