

Arquitectura de toma de decisiones para robots autónomos con capacidades multiactividad

Marcos Maroto-Gómez ^{a,1}, Sofía Álvarez-Arias ^a, Juan Rodríguez-Huelves ^a, Arecia Segura-Bencomo ^a, María Malfaz ^a

^aDepartamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid. Avenida de la Universidad, 30. 28911 Leganés, Madrid. España.

Resumen

Los robots autónomos proveen asistencia en numerosos campos como la sanidad, la agricultura, o la industria. En la mayoría de escenarios, los robots se centran en la consecución de un objetivo claro y preciso mientras realizan su tarea gestionada por un software que actúa como controlador. Sin embargo, la rápida evolución de estos sistemas y su aplicación a entornos cada vez más complejos requiere de controladores más innovadores que sean capaces de tomar decisiones y guiar el comportamiento del robot de forma adecuada. Este artículo presenta un sistema de toma de decisiones para robots autónomos inspirado en cómo toman decisiones los humanos. Como principal novedad, se propone que el sistema sea capaz de permitir ejecutar más de una acción de forma simultánea, aumentando las capacidades de actuación y naturalidad del robot. En concreto, el sistema está diseñado para el robot social Mini para gestionar sus funciones de interacción social y de navegación por el entorno. Por ello, presentamos la aplicación del sistema propuesto a este robot mostrando su diseño, estrategia de decisión y control sobre las distintas actividades del robot.

Palabras clave: Sistemas robóticos autónomos, Etología robótica, Toma de decisiones y sistemas cognitivos, Interacción multimodal, Sistemas Adaptativos Complejos

Decision-making architecture for autonomous robots with multi-activity capabilities

Abstract

Autonomous robots assist in numerous areas such as healthcare, agriculture, or industry. In most scenarios, robots are focused on achieving a clear and precise goal while performing their task managed by software acting as a controller. However, the rapid evolution of these systems and their application to increasingly complex environments requires more innovative controllers that can make decisions and guide the robot's behaviour appropriately. This paper presents a decision-making system for autonomous robots inspired by how humans make decisions. As the main novelty, it is proposed that the system allows more than one action to be executed simultaneously, increasing the robot's performance capabilities and naturalness. Specifically, the system is designed for the Mini social robot to manage its social interaction and environment navigation functions. Therefore, we present the application of the proposed system to this robot showing how its design, decision strategy, and activity control.

Keywords: Autonomous robotic systems, Robot ethology, Decision making and cognitive processes, Multi-modal interaction, Complex Adaptive Systems

1. Introducción

La robótica ha experimentado un gran auge en los últimos años en campos como la sanidad, la industria o la agricultura. Avances significativos en los algoritmos y dispositivos electrónicos hacen posible la existencia de grandes brazos robóticos capaces de transportar grandes cargas (Wang et al.,

2025) o robots humanoides que realizan acrobacias con excelentes capacidades motrices (Chignoli et al., 2021). Tradicionalmente, los robots han sido programados para realizar tareas concretas en ambientes controlados. Sin embargo, actualmente, estos sistemas tienen una clara tendencia multitarea (Zu et al., 2024; Yun et al., 2025; Lawson and Qureshi, 2024).

Un sistema de toma de decisiones es un software de con-

*Marcos Maroto-Gómez: marmarot@ing.uc3m.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Correos electrónicos: marmarot@ing.uc3m.es (Marcos Maroto-Gómez ) , sofalvar@pa.uc3m.es (Sofía Álvarez-Arias ) , jrhuileve@pa.uc3m.es (Juan Rodríguez-Huelves ) , arsegura@pa.uc3m.es (Arecia Segura-Bencomo ) , mmalfaz@ing.uc3m.es (María Malfaz )

trol que permite a un sistema elegir acciones de forma apropiada para cumplir su objetivo (Maroto-Gómez et al., 2023b). Los sistemas de toma de decisiones han tratado de emular la forma de actuar de los organismos más inteligentes, los humanos, para conseguir desarrollar sistemas con las mejores capacidades (Maroto-Gómez et al., 2023c). Una de nuestras características innatas es la capacidad de realizar varias acciones de forma simultánea. Por ejemplo, podemos caminar mientras hablamos con otra persona o podemos manipular objetos con ambas manos mientras escuchamos música. Sin embargo, esto que parece tan sencillo de realizar es complejo de conseguir en un robot.

Este artículo presenta una arquitectura de toma de decisiones para robots autónomos con capacidad de realizar varias acciones de forma simultánea. El sistema permite elegir acciones que no utilicen los mismos recursos del robot y ejecutarlas. Además, permite pausar, continuar y cancelar acciones que ya se encontraban en ejecución si hay otras nuevas con mayor prioridad o que utilicen los recursos durante cortos periodos de tiempo. La arquitectura, que está desarrollada en ROS (Quigley et al., 2009), permite ejecutar y detener dinámicamente aquellas acciones que el robot necesite realizar, optimizando recursos del sistema. El sistema propuesto se integra en Mini (Salichs et al., 2020), un robot social con capacidad de interacción multimodal y movimiento con una base móvil omnidireccional.

La sección 2 describe al robot social Mini, su base móvil y las acciones que puede realizar. La sección 3 presenta el sistema de toma de decisiones como el desarrollo principal presentado en este artículo. Por último, la sección 4 presenta las conclusiones y trabajos futuros de esta línea de investigación.

2. El robot social Mini

El robot social Mini (Salichs et al., 2020), mostrado en la figura 1, es un robot de sobremesa destinado principalmente a la asistencia de personas mayores. Una de sus principales funciones es dirigir actividades de estimulación cognitiva, física y afectiva mediante la realización de ejercicios específicamente diseñados para reducir el impacto que el deterioro cognitivo y físico agudiza con la edad. Para realizar esta función, Mini posee capacidades de interacción verbal utilizando un sistema de generación de voz y reconocimiento del lenguaje basado en gramáticas utilizando un micrófono estéreo. Además, el robot posee sensores de tacto distribuidos por su cuerpo (hombros y barriga) y una cámara de color y profundidad para detectar al usuario y alguna de sus características como si presta atención al robot. Para mejorar su expresividad, el robot es capaz de mover la cadera, brazos, cuello y cabeza y mostrar diferentes expresiones utilizando dos pantallas que simulan los ojos del robot. Además, Mini tiene LEDs en su corazón, mejillas y boca que cambian de color en función de su estado.

Las actividades de estimulación diseñadas para Mini incorporan estrategias psicológicas, sociales y de enganche que tienen como objetivo proporcionar una interacción gamificada para atraer la atención de los usuarios, mejorando la experiencia y facilitando su realización (Martínez et al., 2023). Estas actividades se realizan utilizando una tableta externa. Sin embargo, Mini también cuenta con otras acciones que le permiten asistir a los usuarios (por ejemplo, recordando sus citas médicas) mientras muestra un comportamiento biológicamente inspirado

lo más natural posible (por ejemplo, el robot duerme por la noche, reacciona a estímulos con gestos y descansa cuando está cansado).



Figura 1: El robot social Mini sobre su base móvil.

Recientemente, se ha desarrollado una base móvil omnidireccional para que Mini se pueda mover por el entorno. Esta nueva funcionalidad requiere de un sistema de toma de decisiones que permita al robot actuar de forma apropiada ante las situaciones que experimenta. Entre estas situaciones, se contempla la posibilidad de que el robot deba realizar más de una acción de forma simultánea (por ejemplo, ir hacia una estancia mientras interactúa con una persona o responde preguntas). Además, el sistema debe posibilitar pausar, reanudar y cancelar cualquier acción que Mini esté ejecutando en base a la percepción del entorno, las preferencias del usuario con el que interactúa o sus propias necesidades. Por ello, proponemos como controlador del robot un sistema de toma de decisiones biológicamente inspirado que permite ejecutar más de una actividad a la vez. Este sistema se describe en profundidad en la siguiente sección.

3. Sistema de toma de decisiones

A continuación se detallan las funciones implementadas en el sistema de toma de decisiones, la información de entrada que recibe el sistema de otros módulos del robot, la estrategia de decisión implementada y el modelado de las acciones.

3.1. Funciones

El sistema de toma de decisiones presenta las siguientes funciones como novedad de esta contribución.

- **Ejecución dinámica de acciones:** El robot Mini cuenta con alrededor de 40 acciones. Tener todas activas y listas para ser ejecutadas simultáneamente se traduce en unos recursos computacionales altos para el ordenador

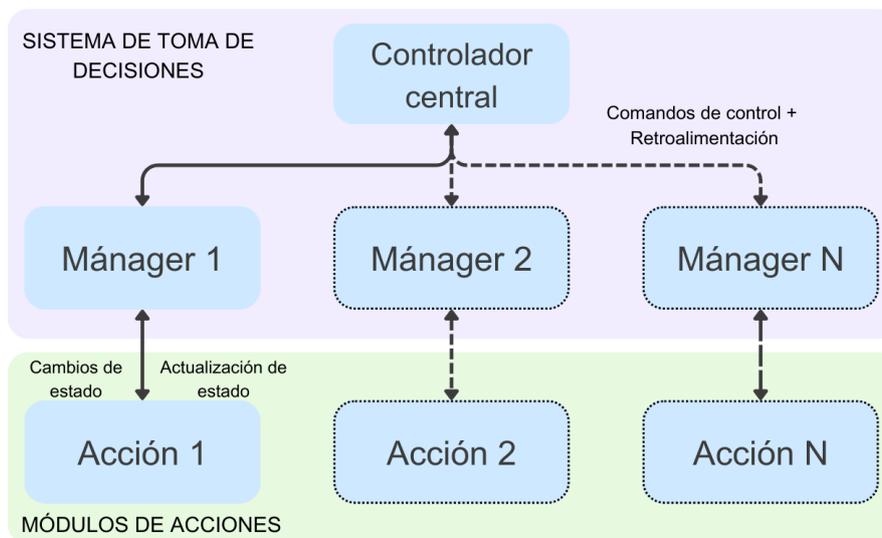


Figura 2: Vista jerárquica del sistema de toma de decisiones propuesto. El Controlador central se encarga de activar los Mánagers en función del número de acciones que debe controlar. Cada Mánager, a su vez, gestiona el funcionamiento de un módulo de acción asegurando su correcta operación.

Intel Nuc del que dispone el robot. Por ello, el sistema es capaz de lanzar y detener las acciones del robot de forma dinámica, liberando los recursos para mejorar la eficiencia del robot.

- Capacidad de pausar, reanudar y cancelar actividades:** Las acciones del robot deben estar preparadas para poder pausarse en cualquier momento, reanudarse desde el punto donde se pausaron o cancelarse en el caso de que sea necesario ejecutar una nueva. Esta función aporta versatilidad al sistema y naturalidad al robot.
- Sistema multiactividad:** El sistema es capaz de ejecutar más de una acción de forma simultánea siempre y cuando las acciones no utilicen los mismos recursos del robot.
- Transición dinámica y coherente entre actividades:** Al tratarse de un sistema autónomo, la selección de acciones ocurre de forma automática. Por ello, es importante evitar tiempos muertos y comunicar efectivamente al usuario qué decisiones está tomando el robot y por qué para no confundir al usuario.
- Personalización al usuario:** El sistema incorpora algoritmos de predicción (Maroto-Gómez et al., 2023a) y aprendizaje de preferencias (Maroto-Gómez et al., 2024) en base a las características e interacciones previas del usuario para seleccionar aquellas actividades de entretenimiento más adecuadas al usuario. Este sistema fue desarrollado en trabajos previos pero es parte fundamental de este trabajo.

3.2. Desarrollo

El sistema de toma de decisiones propuesto se desarrolla sobre el software de control de robots ROS (Quigley et al., 2009), ya que toda la arquitectura software del robot está realizada bajo esta interfaz. Como muestra la figura 2, el sistema está compuesto internamente de un Controlador central, uno o varios Mánagers y una o varias acciones.

El Controlador central recibe la información de entrada de los otros módulos del robot (percepción, interacción humano-robot, entre otros) y decide qué acciones debe ejecutar el robot integrando la estrategia de decisión. Cada vez que el Controlador central decide que se debe ejecutar una acción, se crea un Mánager dinámicamente. Cuando la acción termina, el Mánager se destruye y se liberan sus recursos.

Un Mánager es un controlador de acción. Su función principal es mandar órdenes de ejecución a las acciones recibidas por el Controlador central y comprobar que éstas actualizan su estado adecuadamente. Cada vez que un Mánager actualiza el estado de una acción, ésta debe proporcionar retroalimentación sobre la correcta o incorrecta actualización de su estado. Como se describe posteriormente, las órdenes que se pueden enviar a una acción son comienzo, pausa, reanudación, cancelación y detención. De forma exclusiva, una acción puede indicar que ha sido completada directamente al Mánager que la controla para proceder a su detención.

Las acciones son funcionalidades que el robot puede ejecutar, como por ejemplo juegos, recordatorios, o funciones naturales como dormir. Están realizadas como módulos independientes para facilitar su desarrollo y modularidad, de forma que se pueden seleccionar qué acciones van en cada experimento que se realiza con el robot. Esta función facilita que el sistema se pueda usar en otros robots con otras acciones diferentes. Las acciones actúan como máquinas de estado cuyo estado lo decide el Controlador central y son gestionadas por los Mánagers. A continuación, detallamos la información que recibe el sistema, la estrategia de decisión y el control de las acciones.

3.3. Información de entrada

El sistema de toma de decisiones decide las acciones que debe ejecutar en base a su estrategia de decisión y a la información recibida de tres módulos distintos integrados en la arquitectura software del robot: el sistema de percepción, el sistema de interacción humano-robot y el sistema de bioinspiración.

El sistema de percepción agrupa los detectores que reciben información en bruto de los sensores del robot. Estos detectores

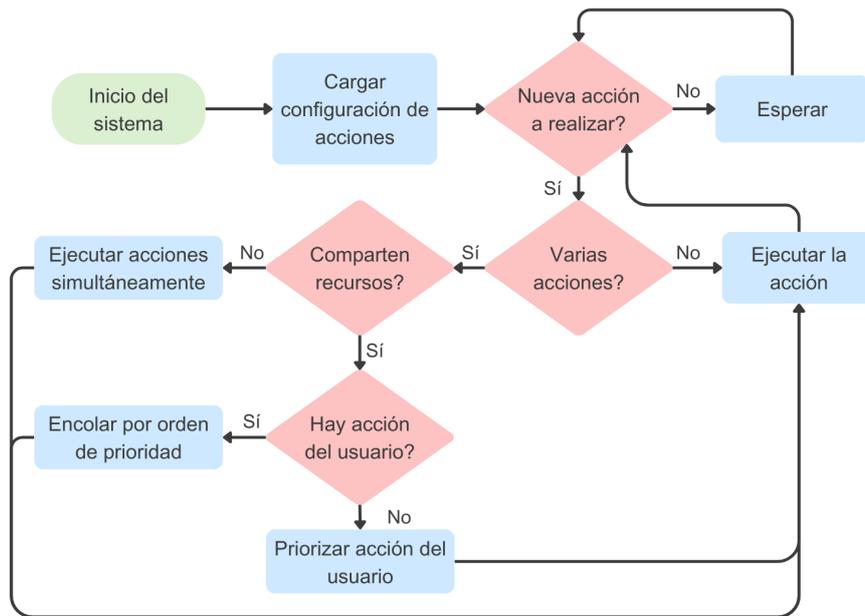


Figura 3: Diagrama de flujo de la respuesta del sistema de toma de decisiones ante las acciones. El sistema actúa en bucle analizando la información de los módulos externos y tomando decisiones de forma dinámica sobre las acciones a realizar. En estas decisiones, se tiene en cuenta tanto la voluntad del robot como las peticiones del usuario, teniendo estas últimas mayor prioridad.

se especializan en proporcionar distintos tipos de información al sistema, como por ejemplo si se detecta la presencia del usuario. El robot posee detectores de bajo nivel para detectar contactos en los sensores de tacto y de alto nivel para detectar detalles más relevantes como la presencia del usuario o su atención hacia el robot utilizando algoritmos de visión por computador. La información de percepción se usa para evitar que el sistema ejecute una acción que requiere de ciertos estímulos disponibles. Por ejemplo, la acción jugar con el usuario no se puede ejecutar si no se percibe al usuario.

El sistema de interacción humano-robot proporciona al sistema de toma de decisiones información relevante sobre la interacción con el usuario. Principalmente, el sistema proporciona información sobre si el usuario está contestando a las preguntas formuladas en las actividades que se están realizando y prestando atención a la interacción. Además, el sistema de interacción informa sobre peticiones del usuario para cambiar el flujo de la interacción, como su voluntad de cancelar una actividad que está en marcha.

Por último, el sistema de bioinspiración emula procesos que regulan el comportamiento del robot a largo plazo como, por ejemplo, el sueño, la energía o el entretenimiento. Esto permite no solo controlar la actividad del robot sino dotarle de una naturalidad adicional, posibilitando comportamientos humanos y animales. Mediante el sistema de bioinspiración, el robot ejecuta acciones que no sólo se utilizan para asistir al usuario o cumplir sus peticiones, sino para mostrar un comportamiento natural y diverso durante el funcionamiento del robot. Este módulo envía al sistema de toma de decisiones el proceso bioinspirado con mayor intensidad, que representa qué acción debería ejecutar el robot de acuerdo a sus necesidades internas.

3.4. Estrategia de decisión

La información recibida en el sistema de toma de decisiones por los tres módulos descritos anteriormente se agrupa en

cada instante temporal para seleccionar qué acciones es necesario realizar. El algoritmo de decisión propuesto se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3. El sistema de toma de decisiones funciona en bucle analizando la información de entrada y gestionando las acciones con un periodo de 0,1 segundos.

El sistema guarda información y parámetros de configuración de todas las acciones que puede ejecutar en un archivo que se carga al ejecutar el sistema. Este archivo contiene toda la información necesaria para activar las distintas funciones del robot. Además, así se permite que el sistema pueda controlar otros robots de morfología y funciones distintas. Tras inicializar el sistema, se analizan los datos recibidos de los módulos externos. En caso de que no haya información de entrada, el sistema ejecuta una acción por defecto denominada *espera* que muestra movimientos involuntarios del robot para mostrar naturalidad.

Si alguno de los módulos externos sugiere la ejecución de una acción (por ejemplo, el sistema bioinspirado recomienda dormir o el sistema de interacción indica que el usuario quiere jugar) y la acción de espera está activada, la nueva acción se ejecuta instantáneamente. Si existen varias acciones que se deban ejecutar y comparten los mismos recursos del robot (por ejemplo, las acciones requieren de interacción verbal), siempre tendrán prioridad las peticiones del usuario, ya que el robot se dedica a asistir a las personas. Si las acciones no requieren de los mismos recursos (por ejemplo, contar una historia sobre un tema y navegar hacia un punto), ambas se ejecutan a la vez. En el caso de que no se puedan ejecutar varias acciones a la vez, la que tenga menos prioridad se encola y se ejecuta cuando sea posible. Si no existen más acciones que realizar, el sistema vuelve a ejecutar la acción de reposo.

Una acción se puede cancelar por dos motivos. El primero, el usuario se lo pide al robot. Para pedirselo, el usuario debe decir la frase clave “Oye, Mini” o captar su atención tocándole

sobre sus sensores de tacto. El segundo, las necesidades internas del robot cambian. Si el robot está durmiendo y el sistema bioinspirado indica que ya ha dormido suficiente, el sistema cancela la acción para ejecutar una nueva.

Una acción se puede pausar por dos motivos. Primero, si el usuario se lo pide al robot. Esto sucede de la misma forma que se puede cancelar una actividad, diciendo la frase clave o tocándolo. Segundo, si el robot necesita realizar una acción de corta duración mientras está ejecutando otra. Por ejemplo, si el robot y el usuario están jugando, pero el robot quiere recordar algo al usuario, el juego se pausa un y después se reanuda.

El sistema de toma de decisiones genera acciones de comunicación de forma proactiva que se intercalan con las peticiones del usuario y las acciones bioinspiradas. Estas comunicaciones tienen como objetivo informar de todas las acciones que toma el robot para que el usuario comprenda su comportamiento. Por ejemplo, si el robot va a empezar un juego concreto o se va a mover a un punto, el robot se lo notifica al usuario antes de empezar la acción del juego para facilitar la comprensión mutua.

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema cuenta con un sistema de adaptación de la selección de acciones a las preferencias y características del usuario. Este sistema sólo se activa cuando la acción a ejecutar es jugar con el usuario. En este momento, el sistema de toma de decisiones puede actuar de dos formas. Por un lado, dejar al usuario elegir la acción de entretenimiento que prefiere. Para ello, muestra en la tableta su repertorio de acciones de entretenimiento dando prioridad a aquellas que al usuario le gustan más. Para dar prioridad a las acciones favoritas del usuario, se realiza un ranking que se actualiza con aprendizaje por refuerzo (a partir de puntuaciones que el usuario aporta ocasionalmente al terminar cada actividad). En la pantalla se muestran primero aquellas que le gustan.

En segundo lugar, el sistema también puede recomendar alguna acción de entretenimiento de forma proactiva, mejorando la agilidad de decisión. Esta proactividad combina e intercala acciones nuevas (exploración) con las favoritas del usuario, utilizando métodos probabilísticos. Si el sistema no tiene las preferencias y características de un usuario, utiliza las de un usuario genérico que guarda las preferencias de todas las personas que han usado el robot.

3.5. Acciones

Las acciones son módulos software que permiten al robot ejecutar diferentes funciones, como juegos, navegación o informar al usuario sobre algún evento relevante. Modelamos las acciones del robot como módulos que se pueden activar y desactivar dinámicamente para facilitar su desarrollo, modularidad y versatilidad.

Las acciones están basadas en Actionlib¹, una herramienta de ROS que permite crear servidores para ejecutar objetivos a largo plazo. En esta propuesta, extendemos la funcionalidad proporcionada por Actionlib modelando las acciones como máquinas de estados que se pueden activar, detener, pausar, reanudar, completar y cancelar. La figura 4 muestra el funcionamiento de las acciones y las transiciones entre sus distintos estados. El sistema de toma de decisiones ha sido específicamente

diseñado para controlar de forma autónoma las acciones del robot y sus transiciones internas.

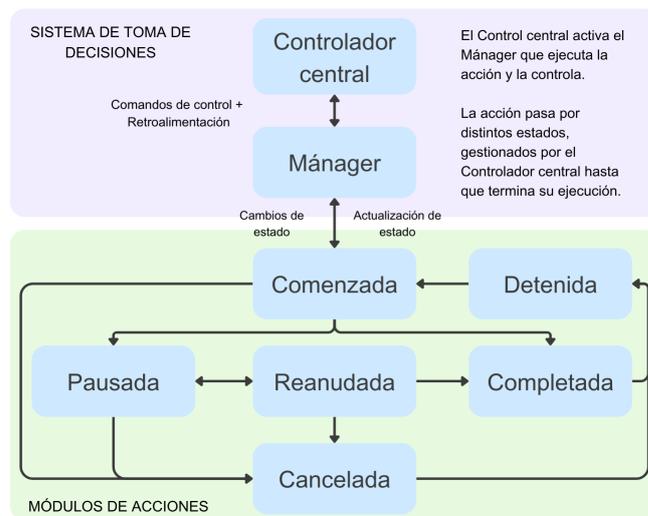


Figura 4: Diagrama de estados de las acciones que puede ejecutar el robot y vista jerárquica de su interacción con el sistema de toma de decisiones. Los cambios de estados son realizados bajo petición del Controlador central salvo cuando una acción se completa. En ese caso, la transición es interna.

4. Conclusiones y trabajos futuros

Este artículo presenta un sistema de toma de decisiones para controlar el comportamiento de robots autónomos. El sistema presenta la novedad de ser multiactividad, permitiendo la ejecución simultánea de acciones que utilicen recursos distintos del robot, como interacción verbal y navegación. Además, se presenta como novedad la capacidad de pausar, reanudar y cancelar acciones de forma dinámica, dando lugar a un comportamiento más natural y fluido.

Los trabajos futuros están orientados a evaluar con usuarios si la arquitectura propuesta realmente cumple con las expectativas de los usuarios. Dado que el sistema se aplica al robot social Mini, un estudio de interacción humano-robot aportaría nuevas ideas y líneas de trabajo para continuar desarrollando el sistema. Además, se pretende actualizar el sistema al software ROS 2, la última versión del sistema de control de robots ROS. Por último, se pretende adaptar el sistema para incluir otro tipo de acciones que están ganando relevancia en los últimos años, como los árboles de comportamiento.

Agradecimientos

Estos resultados han sido financiados por los proyectos: *Evaluación del comportamiento del robot social Mini en residencias de mayores* con referencia 2024/00742/001 del programa *Ayudas para la Actividad Investigadora de los Jóvenes Doctores, Programa Propio de Investigación* financiado por la Universidad Carlos III de Madrid; *iRoboCity2030-CM, Robótica inteligente para ciudades sostenibles (TEC-2024/TEC-62)*, financiado por Programas de Actividades I+D en tecnologías de la Comunidad de Madrid; *PID2021-123941OA-I00*, financiado por *MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y*

¹<http://wiki.ros.org/actionlib>

por ERDF A way of making Europe; TED2021-132079B-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Mejora del nivel de madurez tecnológica del robot Mini (MeNiR) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. 13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Robot social portable con alto grado de vinculación (PoSoRo) PID2022-140345OB-I00 financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y ERDF A way of making Europe.

Referencias

- Chignoli, M., Kim, D., Stanger-Jones, E., Kim, S., 2021. The mit humanoid robot: Design, motion planning, and control for acrobatic behaviors. In: 2020 IEEE-RAS 20th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). IEEE, pp. 1–8.
- Lawson, D., Qureshi, A. H., 2024. Merging decision transformers: Weight averaging for forming multi-task policies. In: 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). pp. 12942–12948. DOI: 10.1109/ICRA57147.2024.10610919
- Maroto-Gómez, M., Castro-González, Á., Castillo, J. C., Malfaz, M., Salichs, M. Á., 2023a. An adaptive decision-making system supported on user preference predictions for human–robot interactive communication. *User Modeling and User-Adapted Interaction* 33 (2), 359–403.
- Maroto-Gómez, M., Castro-González, Á., Malfaz, M., Salichs, M. Á., 2023b. A biologically inspired decision-making system for the autonomous adaptive behavior of social robots. *Complex & Intelligent Systems* 9 (6), 6661–6679.
- Maroto-Gómez, M., Malfaz, M., Castillo, J. C., Castro-González, Á., Salichs, M. Á., 2024. Personalizing activity selection in assistive social robots from explicit and implicit user feedback. *International Journal of Social Robotics*, 1–19.
- Maroto-Gómez, M., Malfaz, M., Castro-González, Á., Salichs, M. Á., 2023c. A motivational model based on artificial biological functions for the intelligent decision-making of social robots. *Memetic Computing* 15 (2), 237–257.
- Martínez, S. C., Montero, J. J. G., Gómez, M. M., Martín, F. A., Salichs, M. Á., 2023. Aplicación de estrategias psicológicas y sociales para incrementar el vínculo en interacción humano-robot. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial* 20 (2), 199–212.
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R., Ng, A. Y., et al., 2009. Ros: an open-source robot operating system. In: ICRA workshop on open source software. Vol. 3. Kobe, p. 5.
- Salichs, M. A., Castro-González, Á., Salichs, E., Fernández-Rodicio, E., Maroto-Gómez, M., Gamboa-Montero, J. J., Marques-Villarroya, S., Castillo, J. C., Alonso-Martín, F., Malfaz, M., 2020. Mini: a new social robot for the elderly. *International Journal of Social Robotics* 12, 1231–1249.
- Wang, R., Lu, Z., Wang, Y., Li, Z., 2025. The design and analysis of a light-weight robotic arm based on a load-adaptive hoisting mechanism. *Actuators* 14, 71.
- Yun, W., Lee, J., Ott, C., Oh, S., 2025. Hierarchically decoupled disturbance observer for robust multitask priority control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 1–13. DOI: 10.1109/TMECH.2024.3519594
- Zu, W., Song, W., Chen, R., Guo, Z., Sun, F., Tian, Z., Pan, W., Wang, J., 2024. Language and sketching: An llm-driven interactive multimodal multitask robot navigation framework. In: 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, pp. 1019–1025.