

Jornadas de Automática

Robot TIAGo para servicio en cafetería

Naranjo-Campos, Francisco J.^{a,*}, De Matías-Martínez, Ainhoa^a, Victores, Juan G.^a,
Gutiérrez Dueñas, José Antonio^b, Alcaide, Almudena^b, Balaguer, Carlos^a

^aRobotics Lab, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, C/ Butarque, nº15, Leganés, 28911, Madrid, España.

^bDepartamento de Tecnología Accesible e I+D, Dirección de Accesibilidad Universal e Innovación, Inserta Innovación, Fundación Once, C/ de Sebastián Herrera, nº15, 28012, Madrid, España.

To cite this article: Naranjo-Campos, F. J., De Matías-Martínez, A., Victores, J. G., Gutiérrez Dueñas, J. A., Alcaide, A., Balaguer, C. 2024. TIAGo robot for café service. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10795>

Resumen

La hostelería tiene la necesidad de automatizar ciertas tareas, por lo que acude a la robótica. Esto no solo tiene una motivación económica, beneficiando también a los trabajadores al reducir sus niveles de estrés y carga física. En este contexto, la organización “euRobotics aisbl” propuso la implementación de un robot asistencial en cafetería, definiendo una tarea consistente en el reconocimiento del estado de la cafetería, el servicio a clientes y el acomodamiento de nuevos clientes. En este trabajo se presenta una implementación de esta tarea realizada con el robot móvil manipulador TIAGo, en la que se ha puesto especial interés en la percepción de objetos y en la sociabilidad del robot. Para ello, se han empleado modelos convolucionales para la detección de objetos y modelos de reconocimiento de voz para una comunicación natural. La implementación se ha realizado con éxito y puesta a prueba con usuarios, cuya percepción ha sido positiva.

Palabras clave: Sistema robótico autónomo, tecnología asistiva y ingeniería de rehabilitación, robot manipulador, robot móvil, percepción y sensorización, sistemas de ingeniería centrados en humanos.

TIAGo robot for café service

Abstract

The hospitality industry needs to automate certain tasks, which is why it turns to robotics. This not only has an economic motivation but is also beneficial for workers by reducing their stress levels and physical workload. In this context, the organization “euRobotics aisbl” proposed the implementation of an assistive robot in a café, defining a task that involves recognizing the state of the café, serving customers, and accommodating new customers. This paper presents an implementation of this task using the TIAGo mobile manipulator robot, with a special focus on object perception and sociability. To achieve this, convolutional models have been used for object detection and voice recognition models for natural communication. The implementation has been successfully completed and tested with users, whose feedback has been positive

Keywords: Autonomous robotic systems, assistive technology and rehabilitation engineering, robot manipulator robot, mobile robot, perception and sensing, human-centered systems engineering.

1. Introducción

Los recientes avances en la robótica han permitido la inclusión de robots en espacios públicos para la interacción con las personas. Estos son conocidos como robots de servicio, y se

definen como dispositivos robóticos que realizan tareas no fabriles útiles para los humanos y con cierto grado de autonomía (ISO 8373:2021). Su aplicación puede verse en distintos entornos, desde domésticos a profesionales. Uno de ellos es la hostelería, en el que se enmarca este trabajo.

Un aspecto importante del uso de estos robots es su aceptación por parte del público (Bartneck et al., 2009), que depende de distintos factores. Por ejemplo, una apariencia humanoide es mejor percibida que una pantalla (Tussyadiah and Park, 2018). Aún así, varios estudios han demostrado que los clientes tienen una impresión positiva cuando son atendidos por robots de servicio (Barnett et al., 2014; Gross et al., 2009; Kanda et al., 2010), cuya interacción reduce el estrés social de los usuarios (Niemelä et al., 2017).

Los establecimientos también se ven beneficiados, principalmente en el aspecto económico al reducir los gastos (Mende et al., 2019). Además, tras la pandemia del Covid-19, la hostelería vio necesaria la automatización de muchos de sus procesos, lo que conllevó al aumento de robots en el sector (Chauhan, 2021). Por otro lado, el personal recibe una alta carga de trabajo, sobre todo en los momentos de mayor afluencia, causando daños fisiológicos (Dempsey and Filiaggi, 2006), estrés, ansiedad y depresión (Saah et al., 2021).

En este contexto, en la “*Smart City Competition 2023*”¹ organizada por “euRobotics aisbl” se propuso la implementación de un robot de asistencia en cafetería. El objetivo era evaluar los puntos de referencia en este tipo de robots de servicio, con especial interés en la percepción de personas y objetos.

En este trabajo se presenta la implementación de la tarea de asistencia en cafetería definida para la competición, empleando el robot móvil manipulador TIAGo. Se ha puesto especial interés no solo en la percepción, sino también en conseguir una comunicación natural y amigable con el usuario. El documento comienza con una introducción del marco en el que se desarrolla el proyecto, continuando con la descripción de la tarea, del robot TIAGo y los recursos hardware y software empleados. Seguidamente, se explica la implementación de cada parte de la tarea. Por último, se exponen los resultados de las pruebas con usuarios y las conclusiones al respecto.

2. Materiales

En esta sección se describen los materiales que se han empleado en la implementación del sistema de asistencial. Se comienza definiendo la tarea establecida por la organización, continuando con la descripción del robot TIAGo y los recursos hardware y software.

2.1. Definición de la tarea

El escenario de actuación del robot es una cafetería con un mínimo de 6 mesas y un mostrador. Los productos conforman un menú conocido y el robot parte desde un punto inicial cercano del mostrador. La tarea consta de tres fases, que en la prueba se ejecutan en el siguiente orden:

- Reconocer estado. El robot debe determinar el estado de cada mesa según cómo se encuentre: “atendida” (con clientes y productos), “libre” (sin clientes ni productos), “por atender” (con clientes y sin productos) o “por limpiar” (sin clientes y con productos).

- Atender mesa. Una vez determinadas las mesas “por atender”, debe ir a una de ellas y tomar nota del pedido. El pedido deberá ser como máximo de 3 productos. Luego, debe ir al mostrador y comunicar el pedido al camarero. Éste colocará el pedido en el mostrador y el robot debe comprobar si es correcto, y en caso contrario, comunicar qué falla. Una vez esté listo el pedido, el camarero lo colocará en la bandeja del robot y este debe acercarlo a los clientes, quienes lo retirarán de la bandeja.
- Guiar nuevo cliente. Una vez terminado el servicio, el robot debe esperar en el punto de origen y detectar cuando llega un nuevo cliente al local. En ese momento, debe acercarse y guiar al cliente a una mesa “libre”.

2.2. Robot TIAGo y recursos hardware

Se ha trabajado con el robot móvil manipulador TIAGo, mostrado en la Figura 1. Se trata de un producto que la empresa española PAL Robotics lanzó en el año 2015 destinado a la investigación. En este caso, el robot TIAGo del que se ha dispuesto es un modelo con base móvil diferencial, un único brazo de 7 grados de libertad con una pinza como efector final y una cámara RGBD en la cabeza sobre un sistema de giro e inclinación, también conocido como *pan&tilt*.

Además, se ha dispuesto de una tablet como ayuda en la selección del pedido, un micrófono USB para mejorar la grabación de la voz del cliente y una bandeja impresa en 3D. La bandeja permite que sobre el robot se coloque el PC donde se ejecuta la implementación, quedando encima una superficie para colocar los productos, alojando la tablet en una cavidad. En la Figura 2 se muestra la disposición de la bandeja.

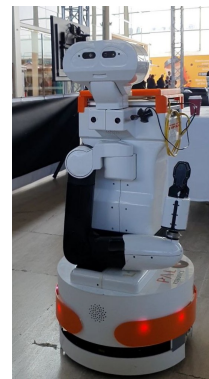


Figura 1: Robot TIAGo con micrófono, bandeja y PC.



Figura 2: Vista de la parte trasera de la bandeja de TIAGo. Se aprecia la tablet alojada en su compartimiento correspondiente.

¹Véase <https://eu-robotics.net/2023-09-erl-mk-smart-city-challenge/>, último acceso el 10 de mayo de 2024.

2.3. Recursos software

La implementación software se ha realizado dentro del ecosistema de ROS (*Robot Operating System*) en lenguaje C++ y Python. En este entorno, se han empleado los siguientes recursos:

- YOLOv5 (Jocher, 2020). Es la versión 5 de YOLO, un modelo de detección de objetos en tiempo real de código abierto. Por defecto, se encuentra entrenado para detectar 80 clases, pero se puede re-entrenar para las clases deseadas.
- Vosk ASR². Es una librería de reconocimiento automático de voz (ASR, siglas en inglés de *Automatic Speech Recognition*) de código abierto y que se ejecuta de forma local.
- Pal TTS. Para el texto a voz (TTS, siglas en inglés de *Text To Speech*) se emplea el paquete ofrecido por Pal Robotics en el robot TIAGo.
- ROS Navigation Stack³. Es un conjunto de librerías de código abierto que permite la navegación en un espacio bidimensional (2D). Para ello se crea un mapa a través de los sensores del robot sobre el que se planifican trayectorias.
- React⁴. Es una biblioteca de JavaScript de código abierto que se utiliza para construir interfaces de usuario (IU) interactivas y reactivas.

3. Metodología

En esta sección se describe la implementación de la tarea de asistencia en cafetería. A continuación, se explica cómo se ha preparado la navegación, el detector de objetos y la aplicación web. Luego, se describe la implementación de cada fase de la tarea.

3.1. Navegación

Para poder navegar por el entorno, previamente es necesario generar el mapa de la cafetería. Luego, se guardan las coordenadas de los puntos en los que se encuentran las mesas, el mostrador y el punto de inicio. Además, en estos puntos se guardan los valores del sistema de *pan&tilt* en los que se enfocan puntos de interés. Esto es hacia la mesa donde se encuentran los objetos y las personas, hacia mostrador donde se coloca el pedido y hacia el punto de inicio donde entran al establecimiento.

3.2. Entrenamiento del detector de objetos

El detector YOLO por defecto es capaz de detectar las personas, pero no los objetos del menú de forma precisa. Puesto que el menú es conocido, se ha recolectado una amplia colección de imágenes de cada uno y se ha entrenado YOLOv5 para su detección.

3.3. Aplicación web

En caso de fallar el reconocimiento de voz, se emplea la tablet para tomar nota del pedido. Para ello se ha construido una aplicación web sencilla en React, cuya IU se muestra en la Figura 3. Permite al usuario seleccionar los objetos del pedido y darle al botón enviar. Este pedido se envía en texto plano en un topic de ROS, que el robot recibe y decodifica.

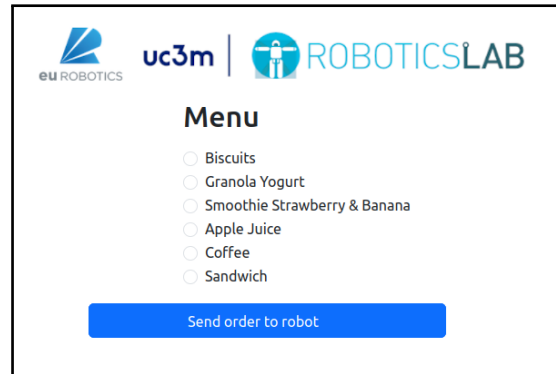


Figura 3: IU de la aplicación web lanzada en la tablet.

3.4. Reconocimiento de estado

El reconocimiento del estado de cada mesa se ha implementado la navegación a cada una de las coordenadas desde donde se atiende a cada mesa. En esta posición se sigue el diagrama de flujo de la Figura 4. Primero, se enfoca a la mesa y se comprueba con el detector si hay objetos del menú. Luego, se enfoca a donde deben situarse las personas y se comprueba con el detector si las hay. Finalmente, se determina el estado de la mesa y se comunica con TTS.

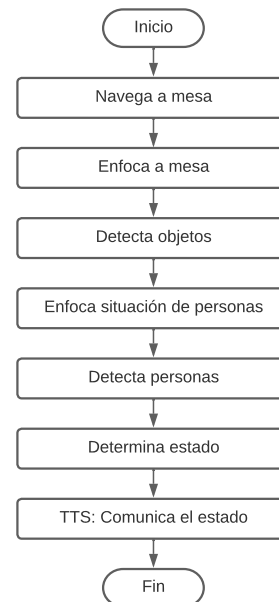


Figura 4: Diagrama de flujo de la fase del reconocimiento del estado de una mesa.

²Véase <https://alphacephei.com/vosk/>, último acceso el 17 de mayo de 2024.

³Véase <http://wiki.ros.org/navigation>, último acceso el 17 de mayo de 2024.

⁴Véase <https://es.react.dev/>, último acceso el 17 de mayo de 2024.

3.5. Atender mesa

Una vez conocido el estado de las mesas, se atiende a la última mesa detectada sin atender. Para ello, en esta fase se siguen las siguiente subtareas:

- Preguntar pedido. Esta subtarea sigue el diagrama de flujo de la Figura 5. Comienza navegando hacia la mesa, y una vez en ella, el robot se presenta a los clientes y pregunta por el pedido. Con ASR se recoge el pedido de los clientes y lo repite por TTS. Luego, pregunta si es correcto y si la respuesta recogida por ASR es negativa, gira la base y le indica a los clientes que tomen la tablet para realizar el pedido. Si la respuesta fue positiva o el robot recibe el pedido por la tablet, finaliza esta subtarea.

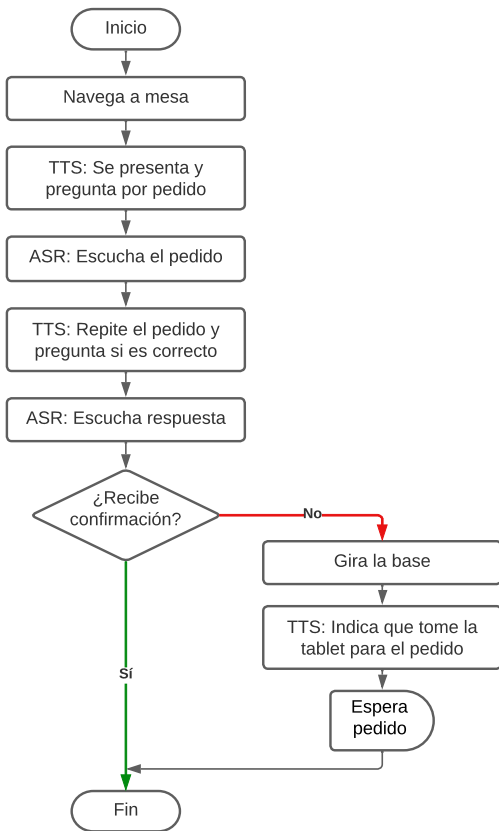


Figura 5: Diagrama de flujo de la subtarea de preguntar el pedido.

- Recoger pedido. Sigue el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 6. Primeramente, navega al mostrador y comunica por TTS al camarero cuál es el pedido del cliente. Luego, espera un tiempo de 15 segundos a que el camarero coloque el pedido en el mostrador. Tras esto, mira hacia el mostrador y comprueba que los objetos se corresponden con el pedido. En caso de que falte algún objeto o alguno esté equivocado, lo comunica al camarero y vuelve a esperar unos 15 segundos a que lo corrija. Una vez el pedido es correcto, espera 30 segundos a que el camarero lo coloque en la bandeja.

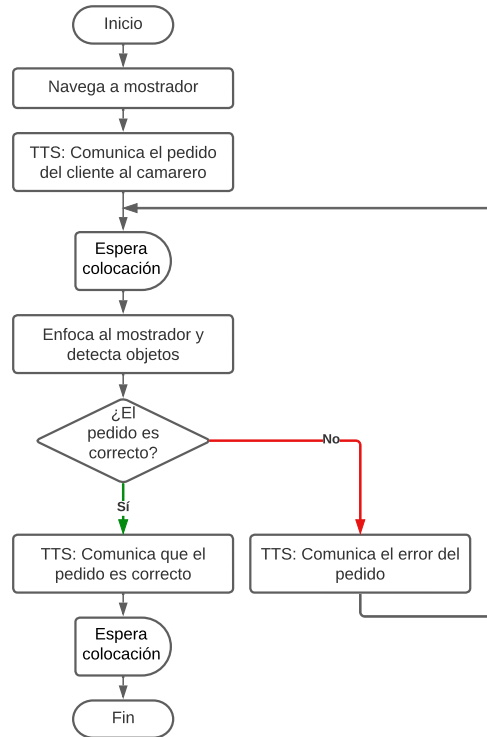


Figura 6: Diagrama de flujo de la subtarea de recoger el pedido.

- Entregar pedido. En esta parte se sigue el diagrama de flujo de la Figura 7. El robot navega hacia la mesa, anuncia por TTS su llegada a los clientes y gira la base. A continuación, espera 30 segundos a que los clientes recojan el pedido. Finaliza despidiéndose y navegando al punto inicial.

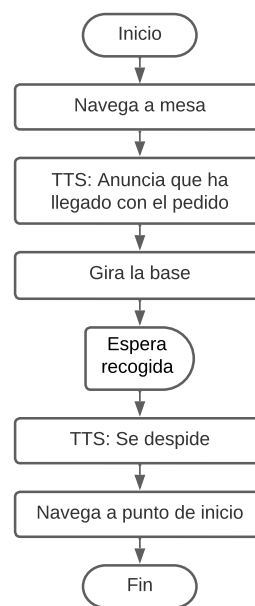


Figura 7: Diagrama de flujo de la subtarea de entregar el pedido.

3.6. Guiar nuevo cliente

Es la última fase de la tarea de asistencia y sigue el diagrama de flujo de la Figura 8. Comienza con el robot posicionado en las coordenadas del punto de inicio, enfocando la vista en la entrada de la cafetería con el detector trabajando en tiempo real. En caso de detectar a una persona, comunica por TTS que espere a ser atendido y navega hasta la posición de la entrada. Aquí, se presenta al cliente y le pide que le siga para llevarle a una mesa. A continuación, el robot navega hasta las coordenadas de una mesa cuyo estado sea “libre” y le indica al cliente por TTS que puede tomar asiento en esta mesa. Finalmente, se despide y navega hasta la posición de inicio, terminando así la tarea de asistencia.

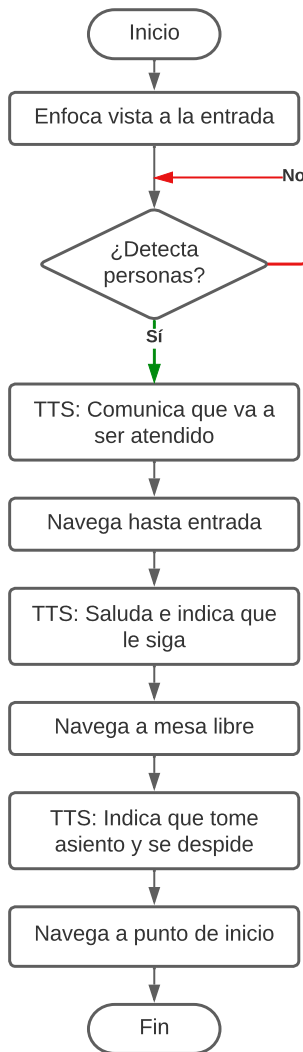


Figura 8: Diagrama de flujo de la fase de guiar nuevo cliente.

4. Resultados

En esta sección se describen las pruebas realizadas. Primeramente, se ha evaluado la capacidad del detector de objetos y el éxito de la tarea implementada. Por otro lado, se han realizado pruebas con usuarios y recogido su percepción del robot de asistencia en cafetería.

4.1. Estudio del desempeño del detector

Para comprobar el desempeño del clasificador, se han tomado muestras de los objetos del menú y de personas en el entorno de una cafetería y se han calculado las métricas, mostradas en la Tabla 1. Se observan unos valores aceptables entre el 80 y el 90 %.

Tabla 1: Métricas de la detección de objetos del menú y personas.

Sensibilidad	85 %
Especificidad	90 %
Precisión	88 %
Exactitud	87 %

4.2. Estudio del desempeño de la implementación

El objetivo de este estudio es comprobar el desempeño de la implementación y las fases que realiza con mayor dificultad. Se han realizado pruebas en un entorno simulado de una cafetería y en la Tabla 2 se muestra el porcentaje de éxito en cada fase. Se ha obtenido una alta tasa de éxito del 93,7 %. Se observa que la tarea que más le cuesta es el reconocimiento del estado de la cafetería.

Tabla 2: Porcentaje de éxito de cada fase.

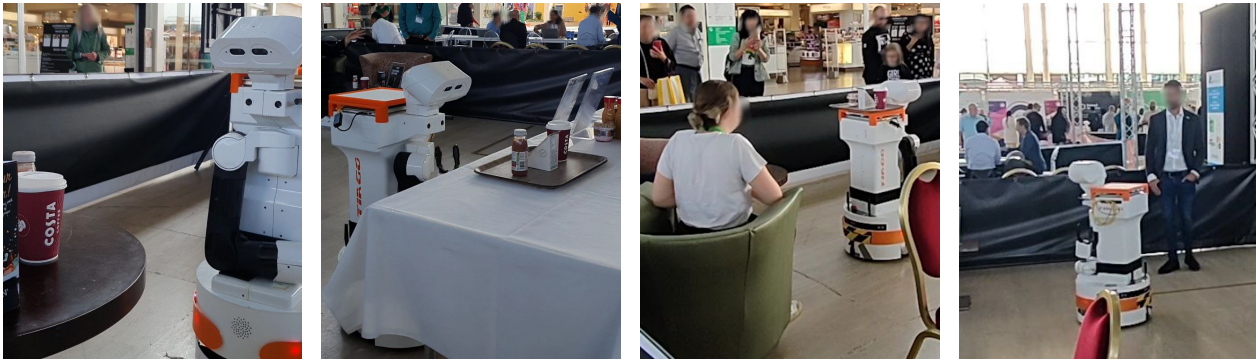
Fase	Porcentaje de éxito
Reconocer estado	86,3 %
Atender mesa	94,8 %
Guiar cliente	100 %
Tarea completa	93,7 %

4.3. Pruebas con usuarios

Se han realizado pruebas con 14 usuarios en un entorno simulado de una cafetería. En la Figura 9 se muestra al robot actuando en las pruebas. Los usuarios fueron clientes en cada una de las fases de asistencia implementada. Tras esto, realizaron una encuesta sobre la experiencia, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3. Se observa que la percepción de los usuarios es positiva, con una buena consideración en la percepción del robot como amigable y seguro. Sin embargo, en las cuestiones de sociabilidad y velocidad se ha puntuado por debajo de los 4 puntos.

Tabla 3: Opinión de los usuarios sobre el servicio implementado. Puntuación mínima 1, puntuación máxima 5.

Aspecto encuestado	Puntuación media
El robot es amigable	4,1
La interacción es social	3,9
Se siente seguro	4,4
El servicio es cómodo	4
El servicio no es lento	3,5
El servicio es adecuado y satisfactorio	4,1



(a) Reconociendo el estado de una mesa que está “atendida”. (b) Comprobando el pedido colocado en el mostrador. (c) Entregando el pedido a clientes. (d) Guiando a un nuevo cliente.

Figura 9: Fotogramas tomados durante las pruebas con usuarios.

5. Conclusiones

En este artículo se ha presentado la implementación de un servicio en cafetería con el robot TIAGO, en el contexto de la *Smart City Competition*, resultando en un sistema funcional, con un enfoque centrado en la percepción y en la sociabilidad.

En el ámbito de la percepción, se ha entrenado la red neuronal YOLOv5 y estudiado su desempeño. Las métricas obtenidas son satisfactorias, conllevando a una alta tasa de éxito del 93,7 % en las pruebas de desempeño de la implementación. Por otro lado, la sociabilidad del robot se ha logrado implementando una interacción natural por medio de reconocimiento de voz y TTS para la comunicación.

Por último, la implementación ha sido probada con usuarios, los cuales han manifestado una percepción positiva, destacando al robot como amigable, seguro y con un servicio adecuado. Sin embargo, los usuarios también han expresado que se debe mejorar su carácter social y la velocidad de servicio.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por la Asociación Inserta Innovación (parte del Grupo Social ONCE), en el marco del proyecto ROBOASIST2; “ROBOASSET: Sistemas robóticos inteligentes de diagnóstico y rehabilitación de terapias de miembro superior”, PID2020-113508RB-I00, financiado/a por AEI/10.13039/501100011033; “RoboCity2030-DIH-CM, Madrid Robotics Digital Innovation Hub”, S2018/NMT-4331, financiado por “Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid”; “COMPANION-CM: Inteligencia artificial y modelos cognitivos para la interacción simétrica humano-robot en el ámbito de la robótica asistencial”, Y2020/NMT-666, financiado por “Proyectos Sinérgicos de I+D la Comunidad de Madrid”; “iREHAB: AI-powered Robotic Personalized Rehabilitation”, ISCIII-AES-2022/003041, financiado por ISCIII y UE; fondos estructurales de la EU; “IROPER: Robótica inteligente para necesidades personales”, PLEC2021-007819, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “NextGenerationEU/PRTR” de la Unión Europea; y la Universidad Carlos

III de Madrid (Escuela de Doctorado). Agradecimientos a J. Guilarte por el diseño e impresión de la bandeja.

Referencias

- Barnett, W., Foos, A., Gruber, T., Keeling, D., Keeling, K., Nasr, L., 10 2014. Consumer perceptions of interactive service robots: A value-dominant logic perspective. *23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 1134–1139. DOI: 10.1109/ROMAN.2014.6926404
- Barneck, C., Kanda, T., Mubin, O., Al Mahmud, A., 2 2009. Does the design of a robot influence its animacy and perceived intelligence? *International Journal of Social Robotics* 1, 195–204. DOI: 10.1007/S12369-009-0013-7/METRICS
- Chauhan, A., 2021. Robotics and automation: The rescuers of covid era. *Studies in Systems, Decision and Control* 358, 119–151. DOI: 10.1007/978-3-030-69744-0_8
- Dempsey, P. G., Filiaggi, A. J., 1 2006. Cross-sectional investigation of task demands and musculoskeletal discomfort among restaurant wait staff. *Ergonomics* 49, 93–106. DOI: 10.1080/00140130500415225
- Gross, H. M., Boehme, H., Schroeter, C., Mueller, S., Koenig, A., Einhorn, E., Martin, C., Merten, M., Bley, A., 12 2009. Toomas: Interactive shopping guide robots in everyday use - final implementation and experiences from long-term field trials. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2009*, 2005–2012. DOI: 10.1109/IROS.2009.5354497
- ISO 8373:2021, 2021. Robotics — vocabulary.
- Jocher, G., 2020. Ultralytics yolov5. DOI: 10.5281/zenodo.3908559
- Kanda, T., Shiomi, M., Miyashita, Z., Ishiguro, H., Hagita, N., 10 2010. A communication robot in a shopping mall. *IEEE Transactions on Robotics* 26, 897–913. DOI: 10.1109/TR0.2010.2062550
- Mende, M., Scott, M. L., van Doorn, J., Grewal, D., Shanks, I., 4 2019. Service robots rising: How humanoid robots influence service experiences and elicit compensatory consumer responses 56, 535–556. DOI: 10.1177/0022243718822827
- Niemelä, M., Heikkilä, P., Lammi, H., 3 2017. A social service robot in a shopping mall: Expectations of the management, retailers and consumers. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 227–228. DOI: 10.1145/3029798.3038301
- Saah, F. I., Amu, H., Kissah-Korsah, K., 4 2021. Prevalence and predictors of work-related depression, anxiety, and stress among waiters: A cross-sectional study in upscale restaurants. *PLOS ONE* 16, e0249597. DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0249597
- Tussyadiah, I. P., Park, S., 2018. Consumer evaluation of hotel service robots. *Information and Communication Technologies in Tourism 2018*, 308–320. DOI: 10.1007/978-3-319-72923-7_24