

Diseño de un sistema integral de atención domiciliaria con robot móvil asistencial

J.A. Vera Repullo¹, D. Parras-Burgos², F. Ortiz Zaragoza¹, J. Roca González¹

¹ Departamento automática, ingeniería eléctrica y tecnología electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, {jose.vera, francisco.ortiz, jroca.gonzalez}@upct.es

² Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, {dolores.parras}@upct.es

Resumen

En esta comunicación se describe el diseño de un sistema integral de atención domiciliaria que consta de un pequeño robot móvil asistencial para monitorizar el bienestar de las personas mayores que viven solas en su hogar y sugerirle actividades para mejorar su estado de ánimo. Todo ello integrado en un ambiente doméstico de asistencia en el hogar (AAL), que incorpora, además del robot, un conjunto de sensores domésticos de bajo coste. El sistema integral de atención domiciliaria se ha integrado haciendo uso de ROS, de tecnologías IoT tales como Node-RED, y de la plataforma doméstica Home-Assistant.

1. Introducción

El envejecimiento de la población tiene un gran impacto en la sociedad provocando diferentes problemas de salud que merman las capacidades y dificultan la situación de las personas [1]. Según un estudio del 2020 “Indicadores estadísticos básicos. Informes envejecimiento en red” [2], hay 9.057.193 de personas mayores en España, lo que representa el 19,3% de la población total, resultando cada vez más difícil garantizar la ayuda de los familiares [3], por lo que los Estados miembros se enfrentan a desafíos comunes en materia de cuidados de larga duración.

Además, la situación sufrida en las residencias españolas durante la pandemia del COVID-19, ha convertido el problema de la atención a las personas dependientes en una prioridad urgente. En este sentido, varios expertos se han pronunciado a favor de un cambio en el modelo de atención a la dependencia en España, señalando entre las prioridades "la disponibilidad de una atención integral e integrada en el domicilio" [4]. Así, Shin y Viron [5] aluden a la necesidad de una estrecha vigilancia de la salud física y mental para detectar los primeros signos de desadaptación ante una posible amenaza. Marbán Gallego et al. [6] aluden a que durante la COVID-19 se produjo un desbordamiento de la capacidad de respuesta asistencial en las residencias de ancianos, provocando una situación dramática. Por lo tanto, la protección de las personas mayores en España debe afrontar un escenario disruptivo que implique una atención centrada en la persona mediante la promoción de viviendas adaptadas.

Por otro lado, se requiere también un esfuerzo de integración para adaptar las tecnologías disponibles al servicio de las personas mayores o en situación de dependencia de forma usable, accesible y transparente a

través del Ambient Assisted Living (AAL), la IA, la robótica asistencial y el diseño de interfaces adaptadas individualmente. Esto puede permitir el acceso a los servicios con independencia de los conocimientos tecnológicos de los individuos y facilitar la evaluación de las terapias por parte de los profesionales de la salud, teniendo en cuenta los comentarios de los usuarios a distancia. Además, deben crearse conjuntos de datos anonimizados, que podrían publicarse adecuadamente utilizando formatos de datos abiertos para permitir a la comunidad investigadora diseñar estudios para mejorar y crear estrategias de entrenamiento activo, para aumentar la actividad mental y física de las personas mayores basándose en datos reales.

Los sistemas AAL inteligentes se utilizan para ayudar no sólo a las personas mayores, sino también a sus robots de asistencia. Un ejemplo de simbiosis entre los AAL y la robótica se muestra en el proyecto ENRICHME de H2020, en el que los sensores ambientales proporcionan cierta información de actividad al robot de asistencia. Otro ejemplo es el proyecto japonés de larga duración RobotTown y la habitación resultante con estructura de información [7], que contiene varios sensores distribuidos que sirven de apoyo a los robots de asistencia y ejemplifica la tecnología del Internet de los Robots y las Cosas (IoRT). Algunos autores [8,9] consideran que el AAL será el futuro en el cuidado de las personas mayores, por ello, se requiere la revisión pormenorizada de los dispositivos que en la actualidad se usan tanto para la determinación de estado de salud física y mental de las personas mayores, como para su estimulación física y cognitiva.

En esta comunicación se presenta el diseño, desarrollo y fabricación de un sistema integral de atención domiciliaria con robot móvil asistencial compatible con una plataforma de entorno doméstico ubicuo, AAL (Ambient Assisted Living) con computación y almacenamiento local, en hogares reales, para proporcionar, a las personas mayores, técnicas de psicoterapia, psicoeducación y estimulación cognitiva con seguimiento remoto, procurando la mejora de su estado emocional y aptitudes físicas.

2. Materiales y métodos

Aunque el estado del arte revela que existen numerosos esfuerzos de investigación centrados en el desarrollo de sistemas de automatización del hogar y de cuidado de ancianos [8,10-13] que incluyen robots de servicio en el

contexto de la asistencia domiciliar, actualmente es difícil encontrar soluciones cercanas al mercado para la asistencia remota de ancianos en el hogar. Estas soluciones no incluyen robots asistentes y Ambient Assisted Living (AAL) asequibles, con capacidad para analizar el entorno, determinar el estado emocional de los ancianos e interactuar con los usuarios de forma natural, adaptándose a ellos según sus roles (pacientes ancianos, familiares o cuidadores), entre otras características. El sistema domótico que garantiza el AAL en este proyecto pretende ser lo menos intrusivo posible y se buscan, siempre que sea posible, soluciones comerciales de bajo coste [14].

El sistema propuesto puede estructurarse en tres bloques funcionales:

a) Robot móvil asistencial:

El robot móvil asistencial navega de manera autónoma por la casa para atender las necesidades del usuario o para sugerirle alguna actividad según su estado anímico.

Para el diseño y modelado 3D de la carcasa del robot móvil asistencial se ha utilizado el software SolidWorks Student 2021. La estructura del robot móvil permite movimientos verticales para regular su altura y adecuarse al usuario (Fig. 1), y movimientos de la cabeza mediante giros rotacionales en varios sentidos (Fig. 2).



Figura 1. Movimiento vertical del cuerpo del robot móvil asistencial.



Figura 2. Movimientos de la cabeza del robot móvil asistencial.

Además, para el funcionamiento e integración del robot móvil con el resto del sistema, se han seleccionado los siguientes componentes:

- Alexa Echo Show 8: es un asistente virtual controlado fabricado por Amazon a partir de febrero de 2020. Sus dimensiones son de 200,4x135,9x99,1 mm y su masa es de 1037 g.

- Base móvil: La base móvil o robótica es la IClebo de Kobuki, la cual ofrece la posibilidad de montar encima plataformas según una estructura modular para introducir el hardware extra. Esta base móvil es muy popular en tareas de educación o investigación en el mundo de la robótica. Asimismo, está pensada para la autonomía en sí misma ya que desde ella se proporciona la alimentación a partes del sistema (sensor y ordenador). La base tiene dos motores de DC tipo brushed controlados por PWM. Son motores alimentados a 12V.
- Cámara: La Orbbec Astra es una cámara 3D con color VGA que está altamente recomendada para uso en algoritmos de visión por computador como, por ejemplo, el reconocimiento facial o gestual, la medida tridimensional, la percepción del ambiente y la reconstrucción tridimensional de mapas. Esta cámara se caracteriza por proporcionar una capacidad de respuesta de alta gama, una medición de profundidad, gradientes suaves y contornos precisos.
- Sensor láser: El sensor Hokuyo UST-10LX es un sensor láser 2D de pequeñas dimensiones. Se caracteriza por poseer una buena precisión y una alta velocidad en la detección de obstáculos y en la localización de robots autónomos. Este sensor es capaz de escanear con una apertura de hasta 270 grados con una precisión milimétrica hasta unos 10 metros de distancia. Por último, es necesario destacar su reducido consumo de energía.
- Ordenador: En este proyecto, se ha utilizado un NUC. Este es un potente mini-ordenador de reducidas dimensiones, el cual es utilizado para cualquier tipo de propósito. Además, es un sistema cuya placa base es completamente personalizable en relación a la memoria, el procesador y el almacenamiento. Lo cual posibilita la creación de un ordenador adaptado a las necesidades existentes.
- Actuador lineal: Un actuador lineal se encarga de convertir el movimiento rotatorio de un motor en un movimiento lineal. En este proyecto se ha utilizado un actuador lineal de 150 mm de la marca DCHOUSE.
- Servomotor: Un servomotor es un tipo de motor que puede ser controlado de manera precisa en aspectos como la posición angular, la aceleración y la velocidad. Para la realización de este proyecto han sido necesarios 4 servomotores RDS3115.

b) Ecosistema de sensores domóticos:

Se denomina sensor a todo dispositivo capaz de detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. El ecosistema está formado por todos los sensores que nos proporcionan datos útiles para determinar los diferentes estados de la persona o que supongan un riesgo para la misma. Muchos de los sensores tienen su propio sistema informático que filtra sus datos y gestionan

la entrega. Se trata de un conjunto de sensores, tipo IOT, tanto comerciales como de diseño propio para monitorizar el estilo de vida del usuario. Como el sistema es escalable en función de las necesidades de cada usuario, se selecciona el despliegue mínimo necesario de sensores y actuadores para los diferentes casos de uso.

De los datos de los sensores y haciendo uso de algoritmos, se reconocen las actividades cotidianas con el fin de obtener patrones de comportamiento para cada individuo. Las principales actividades que se pueden monitorizar para que, con el apoyo del equipo de psicología del proyecto, proponer estrategias de coaching emocional, son las siguientes:

- Horas de sueño, actividad física en el interior de la vivienda, veces que va al baño, tiempo que permanece en estancias. Para ello se utilizan pulseras de actividad como Empatica E4 y sensores de movimiento como Mi Motion Sensor de Xiaomi.
- Tiempo sentado ante el televisor o en cama mediante sensores de asiento sencillos con interfaz electrónica desarrollada en el proyecto.
- Alteración de hábitos o estado de ánimo por cambios de sensación térmica y nivel lumínico mediante sensores de temperatura y luminosidad.
- Actividades de limpieza, organización, uso del frigorífico, etc.: mediante detectores de apertura, sensores de consumo eléctrico, etc.
- Niveles de estrés y actividad y otros parámetros biométricos que completen la estimación de estado de ánimo con pulsera médica Empatica E4.

Todos los sensores comerciales usan el protocolo Zigbee, por tanto, para poder realizar una gestión de los mismos de manera local desde Home Assistant, se usó la puerta de enlace genérica CC2531. En un principio se propuso también la opción de usar la puerta de enlace Conbee II pero se descartó por motivos de estabilidad. Por otro lado, para los sensores de diseño propio, se utiliza un microcontrolador de bajo coste ESP32 para publicar la información de los mismos mediante el protocolo de comunicación MQTT a un broker Mosquitto, montado sobre la misma Raspberry Pi como Home Assistant.

c) Unidad central home-assistant:

Añadiendo un nivel superior de interacción robot-entorno, mediante el desarrollo de *Skills*, se puede acceder también a funcionalidades mediante interfaz hablados lo que da al sistema una flexibilidad total. Se cuenta con un sistema de control que se comunica con la vivienda mediante conexión WIFI. Una vez conectado el dispositivo de Alexa, el usuario puede integrar acciones del robot móvil y de la vivienda que interaccionen con el usuario (Fig. 3). Alexa se utiliza como interfaz de voz entre el sistema y el usuario, gracias a que se ha desarrollado una interfaz software con el controlador de la vivienda usando protocolo MQTT. Pero a su vez, también se tiene la funcionalidad típica de un altavoz inteligente a disposición del usuario (recordatorios, citas, poner música, etc).

Las sugerencias de coaching emocional que se proponen tienen que ver generalmente con actividades lúdicas, como sugerir realizar ejercicio cuando se detecta que la persona lleva demasiado tiempo sentada, llamar a un familiar si se detecta estrés o cambio en estado de ánimo, poner música, incrementar la luminosidad de la vivienda, etc. Siempre se respeta la privacidad de la persona y se pregunta si se quiere realizar la actividad, no se obliga.

El sistema se ha probado en laboratorio, con voluntarios de la Universidad de Mayores de la UPCT recibiendo sus impresiones a través de cuestionarios y haciendo preguntas directas y recogiendo sus comentarios.

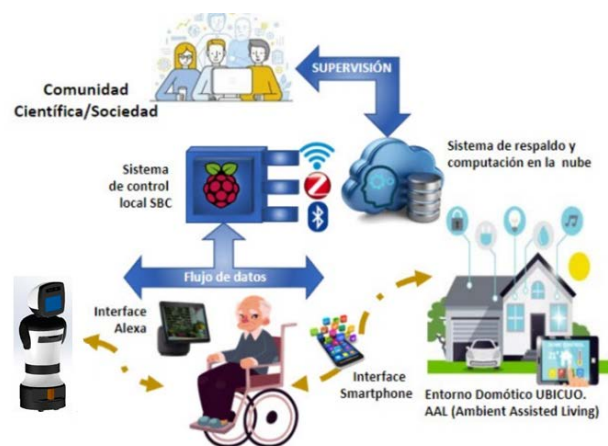


Figura 3. Esquema del sistema completo.

3. Resultados

Se ha desarrollado un robot móvil de acompañamiento (Fig. 4) junto a un sistema de Ambient Assisted Living integrado en el hogar, los algoritmos de inteligencia artificial y los sensores biométricos incorporados en la pulsera médica. Con todos estos dispositivos se puede monitorizar la actividad de la persona en casa, estimar su estado de ánimo, y sugerirle actividades de coaching emocional que puedan ayudar a estimular y mejorar dicho estado anímico.

Los resultados de laboratorio con usuarios voluntarios registran una buena aceptación generalizada del sistema, y también recogen sugerencias de mejora, como más robustez en el diseño del robot, que permanezca suficientemente alejado cuando los usuarios se estén moviendo o más sugerencias de coaching emocional.

Aunque el proyecto finalizó a mediados de 2023, actualmente se está probando en fase de proyecto piloto en un apartamento adaptado del centro de día de la Fundación Poncemar en Lorca (Murcia, España) y se ha concedido financiación para desarrollar un proyecto en colaboración público-privada con empresas interesadas en los resultados de esta investigación.

Para el desarrollo de las plataformas robóticas se ha utilizado ROS y algoritmos propios como los descritos en apartados anteriores para un mapeo y una navegación autónoma eficaz en un entorno real de una casa. En cuanto al sistema domótico, se ha testado de manera más

prolongada y se ha comenzado con la integración en un entorno de pruebas real (Fig. 5).



Figura 4. Primer prototipo del robot móvil asistencial.



Figura 5. AAL + instalaciones del laboratorio de robótica en UPCT. Escenario de prueba "Inicio del día": (1) robot Echo: Base Turtlebot impresa en 3D con Echo 8 y Alexa en la cabeza; (2) sujeto vistiendo la Empatica E4; (3) detector de presencia en cama; (4) detector de presencia en silla; (5) interfaz de usuario AAL; (6) simulación de detección de estado de atención al ver la TV; (7) simulador de otros elementos domóticos. Referencia (Barber,2022).

4. Conclusiones

En esta comunicación se ha presentado el desarrollo de un sistema integral sobre plataformas abiertas, asequible y configurable en función de las necesidades de cada usuario que genera un ecosistema AAL con computación y almacenamiento ubicuo, haciendo uso de la nube solo como respaldo y como alojamiento de la máquina de aprendizaje. Con esto se consigue que la vivienda funcione correctamente, aunque caiga la conexión a Internet.

El sistema propuesto supone un cambio en los sistemas de ayudas técnicas domiciliarias, debido a que permite el reconocimiento de actividades domésticas del usuario. De este modo, puede detectarse un cambio en el comportamiento habitual del usuario, que permitirá detectar desde cambios en el estado emocional hasta deterioros en las capacidades cognitivas de la persona.

Agradecimientos

El proyecto HIMTAE, subproyecto Robwell (referencia RTI2018-095599-A-C22) ha sido financiado por el Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016.

El proyecto piloto ADDIM-Poncemar (Asistencia Domiciliaria Integral para Mayores) financiado por la "Fundación Integra Digital" de la Región de Murcia se está desarrollando en la actualidad en los Centros de Día de la Fundación Poncemar, en el campus de la Salud de Lorca, Universidad de Murcia. Agradecemos su colaboración e implicación en la prueba de las soluciones presentadas en esta comunicación.

Referencias

- Luo, M.; Guo, L.; Yu, M.; Jiang, W.; Wang, H. The psychological and mental impact of coronavirus disease 2019 (COVID-19) on medical staff and general public – A systematic review and meta-analysis. *Psychiatry Research* **2020**, *291*, 113190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113190>
- Pérez, J.; Abellán, A.; Aceituno, P.; Ramiro, D. Un perfil de las personas mayores en España. Indicadores estadísticos básicos. *Informes envejecimiento en red* **2020**, 11-39. doi:
- Comisión Europea. Libro verde sobre el envejecimiento. Fomentar la solidaridad y la responsabilidad entre generaciones. Bruselas, 2021.
- Davey, V. Situación en España de la evaluación de sistemas de atención a personas mayores en situación de dependencia. *Informes envejecimiento en red* **2021**, *28*, 18. doi:
- Shinn, A.K.; Viron, M. Perspectives on the COVID-19 pandemic and individuals with serious mental illness. *The Journal of Clinical Psychiatry* **2020**, *81*, 14205. doi: 10.4088/JCP.20com13412
- Gallego, V.M.; Codorniu, J.M.; Cabrero, G.R. El impacto de la Covid-19 en la población mayor dependiente en España con especial referencia al sector residencial. *J Ciència Saúde Coletiva* **2021**, *26*, 159-168. doi: 10.1590/1413-81232020261.33872020
- Hasegawa, T.; Murakami, K.; Kurazume, R.; Senta, Y.; Kimuro, Y.; Ienaga, T. In *Robot town project: Sensory data management and interaction with robot of intelligent environment for daily life*, Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, Pohang, Korea, 2007; p 369373.
- Cicirelli, G.; Marani, R.; Petitti, A.; Milella, A.; D'Orazio, T. Ambient Assisted Living: A Review of Technologies, Methodologies and Future Perspectives for Healthy Aging of Population. **2021**, *21*, 3549. doi: 10.3390/s211103549
- King, P.H. Smart Home Technologies and Services for Geriatric Rehabilitation. *IEEE Pulse* **2022**, *13*, 35-36. doi: 10.1109/MPULS.2022.3175383
- EnrichMe - Collaborative Projects | PAL Robotics [Online]. <https://pal-robotics.com/collaborative-projects/enrichme/> (Available: 26/09/2023),
- Abdollahi, H.; Mahoor, M.H.; Zandie, R.; Siewierski, J.; Qualls, S.H. Artificial Emotional Intelligence in Socially Assistive Robots for Older Adults: A Pilot Study. *IEEE Transactions on Affective Computing* **2023**, *14*, 2020-2032. doi: 10.1109/TAFFC.2022.3143803
- Di Nuovo, A.; Broz, F.; Wang, N.; Belpaeme, T.; Cangelosi, A.; Jones, R.; Esposito, R.; Cavallo, F.; Dario, P. The multi-modal interface of Robot-Era multi-robot services tailored for the elderly. *Intelligent Service Robotics* **2018**, *11*, 109-126. doi: 10.1007/s11370-017-0237-6
- Koutli, M.; Theologou, N.; Tryferidis, A.; Tzovaras, D. In *Abnormal Behavior Detection for Elderly People Living Alone Leveraging IoT Sensors*, 2019 IEEE 19th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 28-30 Oct. 2019, 2019; pp 922-926.
- Calatrava, F.M.; Ortiz, F.J.; Vera, J.A.; Roca, J.; Jiménez, M.; Martínez, O. In *Heterogeneous system for monitoring daily activity at home and the well-being of the elderly*, Proceedings of the XLII Conference on Automatic: Minutes Book, Castellón (España), 2021; Castellón (España), pp 632-639.