XXI Simposio CEA de Control Inteligente
24-26 de junio de 2026, Salamanca

Ray: plataforma robótica modular para interacción emocional humano-robot

Laserna Moratalla, Javier.[a, *],Rodríguez Cantelar, Mario.[a], Arranz-Paraiso, Sandra[b], Galán Vicente, Daniel[a], Matía Espada, Fernando[a].

[a] *Centro de Automática y Robótica (CAR) UPM-CSIC, Universidad Politécnica de Madrid, 28006, Madrid, España.*
[b] *Departamento de Psicología Básica, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España.*

To cite this article: Laserna Moratalla, J., Rodríguez Cantelar, M., Galán Vicente, D, Matía Espada, F.. 2026. Ray: a modular platform for human-robot emotional interaction. XXI Simposio CEA de Control Inteligente

Resumen

La robótica social asistencial requiere arquitecturas capaces de integrar interacción emocional multimodal, procesamiento distribuido y control seguro en tiempo real. Sin embargo, muchos sistemas actuales presentan limitaciones de escalabilidad, sincronización y robustez durante interacciones prolongadas. Este trabajo presenta *Ray*, una plataforma modular de robótica social diseñada para interacción humano-robot emocional, junto con una arquitectura de software distribuida compuesta por *RayOS* y *micro-RayOS*. La propuesta combina control embebido determinista y seguro con un *middleware* basado en microservicios y procesamiento distribuido. El sistema integra percepción multimodal, control expresivo facial, sincronización emocional y gestión concurrente de comportamientos interactivos. La arquitectura fue validada mediante un despliegue experimental de interacción humano-robot afectiva, evaluando estabilidad temporal, consumo de recursos, sincronización multimodal y tolerancia a fallos durante sesiones prolongadas. Los resultados muestran estabilidad reactiva, funcionamiento robusto de la comunicación distribuida y capacidad de procesamiento bajo elevada carga computacional, demostrando la viabilidad de arquitecturas distribuidas para interacción humano-robot emocional.

Palabras clave: Robótica social, interacción humano-robot, robots de servicio, sistemas en tiempo real, sistemas distribuidos, sistemas embebidos, interacción multimodal.

Ray: a modular robot platform for human-robot emotional interaction

Abstract

Assistive social robotics requires architectures capable of integrating multimodal emotional interaction, distributed processing, and safe real-time control. However, many current systems present limitations in scalability, synchronization, and robustness during prolonged interactions. This work presents *Ray*, a modular social robotics platform designed for emotional human-robot interaction, together with a distributed software architecture composed of *RayOS* and *micro-RayOS*. The proposal combines deterministic and safe embedded control with middleware based on microservices and distributed processing. The system integrates multimodal perception, facial expressive control, emotional synchronization, and concurrent management of interactive behaviors. The architecture was validated through an experimental deployment of affective human-robot interaction, evaluating temporal stability, resource consumption, multimodal synchronization, and fault tolerance during prolonged sessions. The results show reactive stability, robust operation of distributed communication, and processing capability under high computational load, demonstrating the viability of distributed architectures for emotional human-robot interaction.

Keywords: Social robotics, human-robot interaction, service robots, real-time systems, distributed systems, embedded systems, multimodal interaction.

1. Introducción

La incorporación de robots autónomos en entornos centrados en el ser humano ha incrementado notablemente el interés por el desarrollo de arquitecturas capaces de integrar percepción, interacción y control en escenarios dinámicos y no estructurados (Bellekens et al., 2015). Mientras que la robótica industrial tradicional opera habitualmente en contextos altamente controlados y predecibles, la robótica social y asistencial requiere gestionar incertidumbre perceptiva, interacción continua con usuarios y cambios constantes en el

*Autor para correspondencia: j.laserna@upm.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

entorno (Fong et al., 2003). En consecuencia, aspectos como la robustez del sistema, la sincronización multimodal y la capacidad de mantener comportamientos socialmente coherentes adquieren un papel fundamental en este tipo de aplicaciones.

En los últimos años, la literatura en robótica social ha mostrado un creciente interés en aplicaciones relacionadas con asistencia sanitaria, acompañamiento e interacción educativa (Ali et al., 2024). En particular, diversos trabajos han explorado el potencial de los robots sociales para mejorar la interacción con usuarios vulnerables y proporcionar apoyo emocional en contextos asistenciales (Sawik et al., 2023). Sin embargo, muchos de los sistemas actuales presentan limitaciones derivadas de arquitecturas monolíticas o escasamente desacopladas, dificultando la integración simultánea de percepción multimodal, interacción emocional y control reactivo en tiempo real.

Estas limitaciones resultan especialmente críticas en escenarios de interacción prolongada, donde la estabilidad temporal, la tolerancia a fallos y la coordinación entre módulos heterogéneos son requisitos esenciales para garantizar una experiencia de interacción natural y segura. Además, la interacción humano-robot emocional requiere la coordinación coherente de múltiples canales expresivos. La generación de comportamientos socialmente aceptables no depende únicamente del procesamiento del diálogo, sino también de la sincronización entre voz, expresiones faciales, iluminación, movimiento y comportamiento reactivo (Bartneck and Forlizzi, 2004).

Diversos trabajos recientes han abordado de forma independiente aspectos relacionados con percepción robusta, modelos emocionales o diseño mecatrónico avanzado (Fernández-Blanco Martín et al., 2023; Abe et al., 2021). No obstante, persisten limitaciones relacionadas con modularidad, desacoplamiento funcional y capacidad de integración conjunta de percepción multimodal, interacción emocional y arquitecturas distribuidas orientadas a tiempo real en plataformas de robótica social (Sotelo et al., 2024). Del mismo modo, muchos robots comerciales presentan limitaciones tanto en capacidad computacional como en flexibilidad arquitectónica para incorporar módulos cognitivos complejos y sistemas avanzados de interacción social.

Con el objetivo de abordar estas limitaciones, este trabajo presenta Ray, una plataforma modular de robótica social diseñada para interacción emocional multimodal en entornos asistenciales. La propuesta se apoya en una arquitectura software distribuida compuesta por RayOS y micro-RayOS, orientada a desacoplar los procesos de control de bajo nivel y tiempo real de los módulos cognitivos y de interacción de alto nivel. El firmware micro-RayOS garantiza determinismo temporal y seguridad mecatrónica mediante una máquina de estados tolerante a fallos, mientras que RayOS implementa un middleware distribuido basado en microservicios y comunicación asíncrona mediante AMQP para gestionar percepción multimodal, sincronización emocional y razonamiento cognitivo.

La plataforma integra sensores visuales y de profundidad, sistemas de audio, control expresivo facial mediante pantalla LCD e indicadores emocionales basados en iluminación LED. Asimismo, la arquitectura permite distribuir dinámicamente la carga computacional entre el robot y servidores externos mediante estrategias Edge-Server *offloading*, facilitando la ejecución de procesos cognitivos complejos sin comprometer las capacidades reactivas del sistema embarcado.

El sistema fue validado mediante un despliegue experimental de interacción humano-robot afectiva, evaluando estabilidad temporal, sincronización multimodal, uso de recursos computacionales y tolerancia a fallos durante sesiones continuadas de funcionamiento. Los resultados obtenidos muestran que la arquitectura propuesta permite mantener un comportamiento robusto y estable bajo condiciones de elevada carga computacional, demostrando la viabilidad de arquitecturas distribuidas para interacción humano-robot emocional.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 presenta la plataforma robótica Ray y sus principales componentes hardware. La Sección 3 describe la arquitectura software distribuida basada en RayOS y micro-RayOS. La Sección 4 detalla la validación experimental realizada en escenarios reales de interacción emocional humano-robot. Finalmente, la Sección 5 recoge las conclusiones y las principales líneas de trabajo futuro.

2. Plataforma robótica Ray

La plataforma Ray ha sido diseñada como un sistema modular de robótica social orientado a interacción humano-robot emocional en entornos asistenciales y sociales, puede verse en la Figura 1. El desarrollo de este tipo de plataformas requiere integrar capacidades de percepción multimodal, expresividad emocional y control reactivo seguro dentro de una arquitectura físicamente accesible y computacionalmente escalable (Fong et al., 2003). En aplicaciones de interacción social humano-robot, el robot debe mantener un comportamiento visualmente amigable, seguro y socialmente aceptable para el usuario final (Sawik et al., 2023).

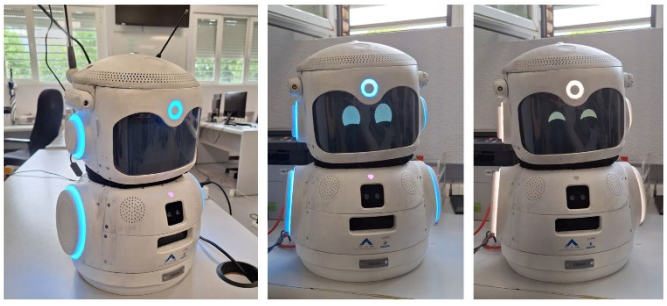


Figura 1: Plataforma robótica social *Ray* desarrollada para interacción humano-robot emocional.

Diversos estudios han demostrado que factores como el antropomorfismo, la percepción de seguridad y la expresividad influyen de forma significativa en la aceptación a largo plazo de plataformas de robótica social (Bartneck et al., 2009; Eyssel et al., 2012; De Graaf et al., 2016). Asimismo, la literatura destaca la importancia de evitar diseños excesivamente realistas que puedan provocar el denominado efecto *Uncanny Valley* (Mori et al., 2012). Por este motivo, Ray adopta una morfología expresiva simplificada, orientada a favorecer la

cercanía emocional y facilitar la interpretación de señales sociales por parte del usuario.

Desde el punto de vista hardware, la plataforma integra diferentes sensores y mecanismos de actuación orientados a soportar interacción multimodal. El sistema incorpora cámaras RGB-D, sensores de profundidad, sistemas de audio y mecanismos de iluminación LED utilizados para representar estados emocionales y reforzar señales expresivas durante la interacción. Además, el robot dispone de una pantalla LCD frontal utilizada para representar expresiones faciales dinámicas sincronizadas con el comportamiento conversacional y reactivo del sistema.

La plataforma ha sido diseñada siguiendo una filosofía altamente modular, facilitando tanto el mantenimiento como la incorporación de nuevos sensores, actuadores y módulos software. La aparición de tecnologías de fabricación aditiva basadas en materiales como PLA y HT-PLA ha permitido simplificar considerablemente el desarrollo de estructuras robóticas personalizadas y de bajo coste (Hanon et al., 2020). Esta aproximación resulta especialmente relevante en robótica social, donde las necesidades de adaptación física y rápida iteración son significativamente superiores a las presentes en plataformas industriales tradicionales.

Para dotar al robot de capacidades expresivas avanzadas, Ray integra mecanismos de actuación orientados a generar movimientos suaves y naturales. En particular, investigaciones recientes han mostrado la relevancia de mecanismos articulares avanzados para mejorar la expresividad no verbal en robótica social (Abe et al., 2021). Estas capacidades permiten reforzar elementos fundamentales de la interacción emocional, como atención compartida, acompañamiento visual o transmisión de estados afectivos mediante movimiento.

Otro aspecto clave en el diseño de Ray es la integración conjunta de percepción multimodal y capacidad computacional distribuida. La incorporación simultánea de cámaras RGB-D, sensores de audio y módulos de procesamiento cognitivo genera una elevada demanda computacional, especialmente en aplicaciones de interacción emocional continua. Como consecuencia, muchas plataformas comerciales presentan limitaciones relacionadas con escalabilidad, flexibilidad arquitectónica o capacidad para integrar módulos avanzados de percepción y razonamiento (Sotelo et al., 2024). En contraste, la arquitectura de Ray ha sido concebida desde su diseño inicial para soportar procesamiento distribuido y desacoplamiento funcional entre percepción, cognición y control reactivo.

La Figura 2 muestra la interconexión de los principales componentes de hardware. La combinación de modularidad física, percepción multimodal y capacidades expresivas constituye la base sobre la que se implementa posteriormente la arquitectura distribuida RayOS/micro-RayOS, presentada en la siguiente sección.

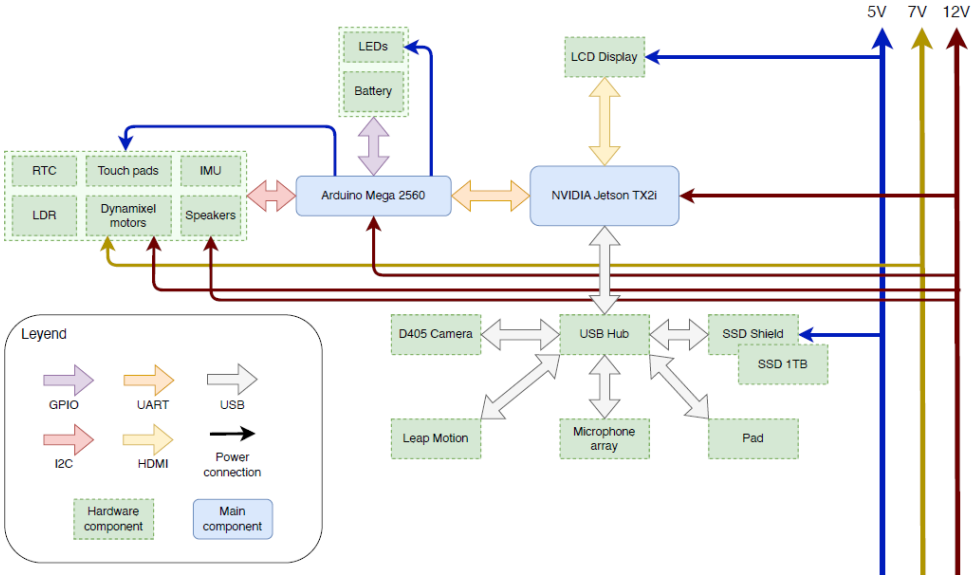


Figura 2: Interconexión de los principales componentes de hardware de la plataforma Ray.

3. Arquitectura software distribuida

Uno de los principales desafíos en robótica social consiste en integrar percepción multimodal, interacción emocional y control reactivo dentro de una arquitectura capaz de mantener comportamiento estable en tiempo real. A diferencia de aplicaciones robóticas industriales tradicionales, los robots sociales deben gestionar simultáneamente procesamiento cognitivo, generación de comportamiento expresivo, sincronización multimodal y control físico seguro durante interacciones continuadas con usuarios humanos (Fong et al., 2003). Esta elevada heterogeneidad funcional introduce importantes requisitos de modularidad, escalabilidad y tolerancia a fallos.

Las arquitecturas monolíticas tradicionales dificultan la integración dinámica de nuevos módulos cognitivos y generan fuertes dependencias entre percepción, control e interacción. Como consecuencia, numerosos trabajos recientes han

apostado por aproximaciones distribuidas basadas en microservicios y desacoplamiento funcional para sistemas robóticos complejos (Sotelo et al., 2024). En este contexto, la plataforma Ray implementa una arquitectura jerárquica distribuida compuesta por dos niveles claramente diferenciados: micro-RayOS, encargado del control embebido de bajo nivel, y RayOS, responsable de la gestión cognitiva y de interacción de alto nivel.

3.1. micro-RayOS

El firmware micro-RayOS constituye la capa de control embebido orientada a mantener comportamiento temporal determinista, estabilidad reactiva y control mecatrónico seguro. Esta capa opera directamente sobre los dispositivos hardware del robot, gestionando sensores, actuadores y sistemas de control en tiempo real. La arquitectura implementa una máquina de estados tolerante a fallos orientada a mantener comportamiento seguro incluso ante errores de comunicación o sobrecarga computacional en módulos superiores.

La separación explícita entre control de bajo nivel y procesamiento cognitivo permite desacoplar los requisitos temporales críticos del sistema de las tareas de mayor complejidad computacional. Esta aproximación resulta especialmente relevante en escenarios de interacción humano-robot social, donde la interacción física cercana exige mantener estabilidad reactiva continua y comportamiento seguro del robot.

Además, micro-RayOS permite coordinar de forma sincronizada diferentes mecanismos expresivos del robot, incluyendo iluminación LED, movimientos reactivos y control facial básico. Esta capacidad constituye un elemento esencial para mantener coherencia multimodal durante la interacción emocional.

3.2. RayOS

Sobre la capa embebida se sitúa RayOS, un middleware distribuido orientado a integrar percepción multimodal, procesamiento cognitivo e interacción humano-robot emocional. La arquitectura sigue un paradigma basado en microservicios desacoplados comunicados mediante mensajería asíncrona AMQP, permitiendo distribuir dinámicamente las distintas tareas del sistema entre múltiples procesos y dispositivos computacionales.

El uso de comunicación asíncrona facilita reducir dependencias temporales entre módulos y mejorar la tolerancia a fallos del sistema. Del mismo modo, la modularidad de la arquitectura permite incorporar nuevos componentes perceptivos o cognitivos sin modificar el núcleo de control embebido del robot. Esta capacidad de extensibilidad resulta especialmente importante en entornos de investigación en robótica social, donde la integración continua de nuevos algoritmos y sensores constituye un requisito habitual.

La arquitectura implementa módulos independientes encargados de percepción visual, gestión emocional, síntesis de comportamiento, control conversacional y sincronización multimodal. Cada componente puede ejecutarse localmente o distribuirse sobre servidores externos dependiendo de la carga computacional requerida. Esta filosofía desacoplada facilita además la reutilización de componentes software y simplifica el mantenimiento global de la plataforma.

3.3. Interacción emocional multimodal

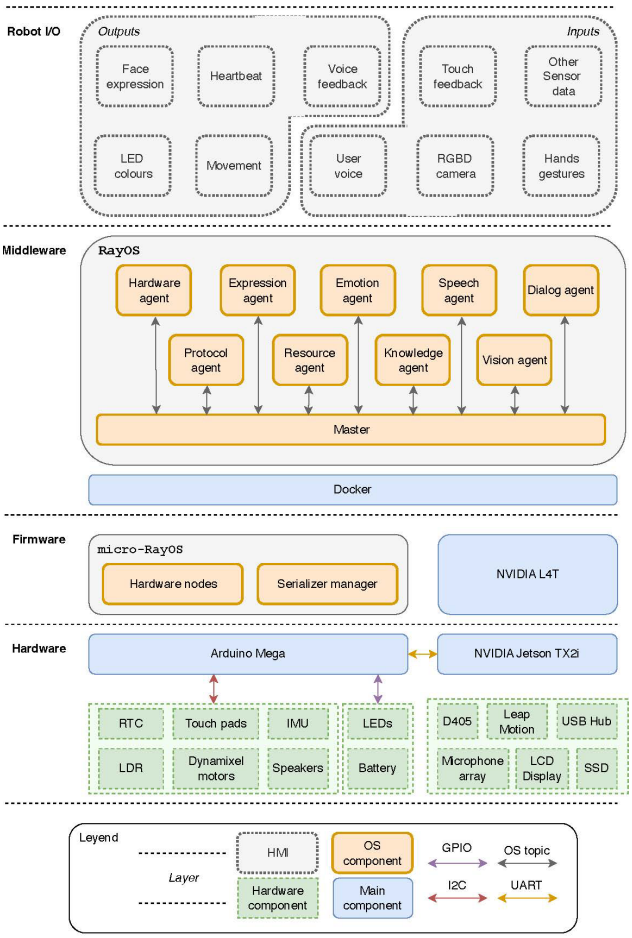


Figura 3: Arquitectura general de la plataforma distribuida *RayOS/micro-RayOS* y la distribución funcional entre módulos embebidos, servicios cognitivos y sistemas externos de procesamiento.

La interacción emocional constituye uno de los elementos centrales de la plataforma *Ray*. Para lograr comportamientos socialmente coherentes, el sistema debe sincronizar múltiples canales expresivos de forma consistente. Estudios previos han demostrado que la percepción de naturalidad y empatía en interacción humano-robot depende significativamente de la coherencia temporal entre voz, expresión facial, movimiento y comportamiento reactivo (Bartneck and Forlizzi, 2004).

La arquitectura desarrollada integra un modelo de interacción multimodal capaz de coordinar simultáneamente expresiones faciales dinámicas, iluminación LED emocional, síntesis de voz y comportamiento motor reactivo. El estado emocional interno del robot modula continuamente estos canales expresivos, permitiendo generar comportamientos más naturales y adaptativos durante la interacción.

En línea con trabajos recientes sobre arquitecturas emocionales para robótica asistencial, el sistema utiliza

modelos explícitos y desacoplados de representación emocional, favoreciendo interpretabilidad y control del comportamiento generado (Fernández-Blanco Martín et al., 2023). Esta aproximación resulta especialmente relevante en aplicaciones asistenciales y clínicas, donde la predictibilidad y consistencia del comportamiento del robot constituyen requisitos fundamentales.

3.4. Distribución Edge-Server

La ejecución simultánea de módulos perceptivos, cognitivos y conversacionales genera una elevada carga computacional, especialmente en escenarios de interacción prolongada. Para abordar esta limitación, *RayOS* permite distribuir dinámicamente diferentes procesos entre el sistema embarcado y servidores externos mediante estrategias *Edge-Server offloading*.

Este desacoplamiento facilita ejecutar algoritmos complejos de percepción y razonamiento sin comprometer la capacidad reactiva del robot. Asimismo, permite mejorar escalabilidad, mantenimiento y actualización de módulos cognitivos sin afectar directamente al firmware de control embebido.

4. Validación experimental

Con el objetivo de evaluar la viabilidad de la arquitectura propuesta, la plataforma Ray fue evaluada mediante un despliegue experimental de interacción humano-robot afectiva. La evaluación se centró principalmente en analizar la estabilidad temporal del sistema, la sincronización multimodal, el comportamiento bajo elevada carga computacional y la capacidad de mantener interacción reactiva continua durante sesiones prolongadas de funcionamiento.

La validación experimental de arquitecturas de robótica social presenta desafíos significativamente distintos a los existentes en robótica industrial tradicional. En este contexto, no resulta suficiente evaluar únicamente precisión geométrica o rendimiento cinemático, sino que es necesario analizar simultáneamente estabilidad computacional, coherencia multimodal y robustez de interacción (Bartneck and Forlizzi, 2004). Estas necesidades adquieren especial relevancia en escenarios de interacción social humano-robot, donde interrupciones, bloqueos o inconsistencias expresivas pueden afectar a la percepción de seguridad y aceptación por parte del usuario (Sawik et al., 2023).

4.1. Escenario experimental

La validación experimental de la plataforma *Ray* se realizó mediante un despliegue real de interacción humano-robot afectiva en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), evaluando la estabilidad de la arquitectura durante sesiones continuadas de funcionamiento con 66 participantes humanos. Durante las pruebas, el robot ejecutó simultáneamente tareas de percepción visual, interacción conversacional, sincronización emocional y control reactivo de actuadores y sistemas expresivos.

La arquitectura distribuida permitió desacoplar los módulos cognitivos y perceptivos del control embebido, distribuyendo dinámicamente la carga computacional entre el sistema embarcado y servidores externos mediante estrategias *Edge-Server offloading*. Durante las sesiones permanecieron activos de forma concurrente los módulos de percepción multimodal, síntesis conversacional, control facial LCD, iluminación LED emocional y sincronización mecatrónica distribuida.

Asimismo, el sistema fue sometido a funcionamiento autónomo continuado con el objetivo de evaluar estabilidad temporal, comportamiento ante sobrecarga y tolerancia a fallos durante interacción emocional prolongada.

4.2. Evaluación computacional

La evaluación cuantitativa del firmware *micro-RayOS* se realizó mediante pruebas automatizadas *Software-in-the-Loop* utilizando el *framework* Unity dentro del ecosistema *PlatformIO*. Para validar el determinismo temporal de la arquitectura, el lazo principal de control fue ejecutado durante 1000 iteraciones consecutivas bajo carga simulada compuesta por 10 subsistemas sensoriales concurrentes.

Los resultados obtenidos muestran una elevada estabilidad temporal del sistema embebido. El tiempo de ejecución del lazo principal presentó un valor mínimo de 500 µs y un máximo de 506 µs, resultando en un *jitter* absoluto de únicamente 6 µs. Estos resultados validan el funcionamiento de la barrera de sincronización implementada en *micro-RayOS*, evitando deriva temporal incluso bajo elevada carga computacional.

Del mismo modo, la arquitectura distribuida basada en comunicación asíncrona permitió desacoplar eficazmente los módulos cognitivos y perceptivos del control mecatrónico embebido. Durante las sesiones de interacción afectiva no se observaron bloqueos globales ni interrupciones perceptibles del comportamiento reactivo del robot durante la ejecución simultánea de percepción multimodal, actualización continua de servomotores y sincronización emocional distribuida.

4.3. Sincronización multimodal e interacción emocional

Uno de los principales objetivos de la validación experimental consistió en analizar la coherencia multimodal durante interacción emocional continuada. Para ello, se evaluó la sincronización temporal entre expresiones faciales LCD, iluminación LED emocional, comportamiento motor reactivo y generación conversacional distribuida.

Durante las sesiones experimentales, el sistema mantuvo sincronización multimodal continua entre los distintos canales expresivos del robot sin introducir latencias perceptibles para los participantes. La topología asíncrona basada en publicación/suscripción evitó bloqueos monolíticos incluso bajo elevada frecuencia de comunicaciones UART destinadas a actualizar continuamente servomotores y matrices LED desde los módulos cognitivos superiores.

La barrera de sincronización implementada en *micro-RayOS* evitó desbordamientos del búfer UART, manteniendo una tasa del 0 % de pérdida de comandos mecatrónicos durante las sesiones reales de interacción afectiva. Esto permitió mantener actualización continua de expresiones faciales, indicadores emocionales LED y comportamiento motor reactivo sin degradación perceptible de la interacción.

Trabajos previos han señalado que inconsistencias temporales entre voz, movimiento y expresión facial pueden afectar negativamente a la percepción de naturalidad y empatía en interacción humano-robot (Bartneck and Forlizzi, 2004). En contraste, la arquitectura desarrollada mantuvo coherencia temporal entre comportamiento físico y diálogo semántico incluso durante escenarios de elevada actividad perceptiva y computacional.

Además, la separación jerárquica entre *RayOS* y *micro-RayOS* permitió aislar completamente el control reactivo embebido de posibles sobrecargas asociadas al procesamiento cognitivo de alto nivel. Como resultado, el sistema mantuvo continuidad expresiva y estabilidad reactiva durante todas las sesiones experimentales realizadas con participantes humanos.

Estos resultados validan la viabilidad de arquitecturas distribuidas basadas en microservicios para aplicaciones de robótica social emocional, donde sincronización multimodal, tolerancia a fallos y estabilidad temporal constituyen requisitos fundamentales para garantizar interacción humano-robot natural y segura.

5. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo ha presentado Ray, una plataforma modular de robótica social diseñada para interacción humano-robot emocional en entornos asistenciales. La propuesta integra una arquitectura software distribuida basada en RayOS y micro-RayOS, orientada a desacoplar los procesos de control embebido en tiempo real de los módulos cognitivos y de interacción multimodal de alto nivel.

La arquitectura desarrollada permite integrar percepción multimodal, sincronización emocional y control reactivo dentro de un sistema escalable y tolerante a fallos. El uso de una estructura basada en microservicios y comunicación asíncrona mediante AMQP facilita el desacoplamiento funcional entre módulos, mejorando la extensibilidad y simplificando la incorporación de nuevos componentes perceptivos y cognitivos. Asimismo, la separación jerárquica entre firmware embebido y middleware distribuido garantiza estabilidad temporal y comportamiento seguro incluso bajo elevada carga computacional.

La validación experimental realizada mediante interacción humano-robot afectiva demuestra la viabilidad de la plataforma para aplicaciones de robótica social asistencial. Los resultados obtenidos muestran que el sistema mantiene sincronización multimodal coherente, estabilidad reactiva y capacidad de procesamiento distribuido durante sesiones prolongadas de funcionamiento. Del mismo modo, la arquitectura permite distribuir dinámicamente tareas cognitivas complejas sobre infraestructura externa sin comprometer el control local del robot.

La propuesta desarrollada constituye una base robusta para futuras aplicaciones relacionadas con acompañamiento social, asistencia sanitaria e interacción emocional multimodal. Como líneas futuras de trabajo, se plantea ampliar las capacidades cognitivas del sistema mediante integración de modelos avanzados de razonamiento espacial y percepción geométrica exacta, así como incorporar mecanismos de adaptación proxémica contextual basados en información semántica y percepción multimodal del entorno. Asimismo, se prevé profundizar en la integración de algoritmos de optimización combinatoria y percepción tridimensional dentro de la arquitectura distribuida *RayOS/micro-RayOS*, permitiendo desarrollar sistemas de interacción humano-robot más autónomos, contextualmente adaptativos y robustos en escenarios asistenciales reales.

Agradecimientos

Este trabajo es fruto de la subvención PID2024-155948OB-C54 (proyecto BRAINS: Building Real-world Applications with Intelligent, Neural, and Sustainable approaches), financiada por el MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y el FEDER/UE. También ha sido financiado a través del programa de actividades de I+D con referencia TEC-2024/TEC-62 y acrónimo iRoboCity2030-CM, concedido por la Comunidad de Madrid a través de la Dirección General de Investigación e Innovación Tecnológica mediante la Orden 5696/2024.

Referencias

Abe, Y., T. Nakamura, T. Nozawa y H. Kawasaki (2021). “ABENICS: Active Ball Joint Mechanism with Three-Degree-of-Freedom”. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(4), pp. 7617–7624.

Ali, A., M. A. M. H. Shoukat, M. Bilal y H. A. Habib (2024). “Recent trends and advances in socially assistive robots”. *Robotics and Autonomous Systems*, 181, p. 104808.

Bartneck, C. and J. Forlizzi (2004). “A design-centred framework for social human-robot interaction”. In: *Proceedings of the 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 591–594.

Bartneck, C., D. Kulić, E. Croft y S. Zoghbi (2009). “Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots”. *International Journal of Social Robotics*, 1(1), pp. 71–81.

Bellekens, M., Q. J. H. M. van den Boom, M. Weyn y R. Berkvens (2015). “Indoor positioning using a network of low-cost 3D cameras”. *Sensors*, 15(12), pp. 31054–31081.

De Graaf, M. M. A., S. B. Allouch y J. A. G. M. van Dijk (2016). “Long-term evaluation of a social robot in real homes”. *Interaction Studies*, 17(3), pp. 462–491.

Eyssel, F., D. Kuchenbrandt, S. Bobinger, L. de Ruiter y F. Hegel (2012). “‘If you sound like me, you must be more human’: On the interplay of robot and user features on human-robot acceptance and anthropomorphism”. In: *Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 125–126.

Fernández-Blanco Martín, G., F. Matía, L. García Gómez-Escalonilla, D. Galán, M. G. Sánchez-Escribano, P. De La Puente y M. Rodríguez-Cantelar (2023). “An Emotional Model Based on Fuzzy Logic and Social Psychology for a Personal Assistant Robot”. *Applied Sciences*, 13(5), p. 3284. doi:10.3390/app13053284.

Fong, T., I. Nourbakhsh y K. Dautenhahn (2003). “A survey of socially interactive robots”. *Robotics and Autonomous Systems*, 42(3–4), pp. 143–166.

Hanon, M. M., M. Zsidai y Q. Ma (2020). “Accuracy investigation of 3D printed PLA with various process parameters and different colors”. *Materials Today: Proceedings*, 42, pp. 3089–3096.

Mori, M., K. F. MacDorman y N. Kageki (2012). “The uncanny valley [from the field]”. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(2), pp. 98–100.

Sawik, B., S. Tobis, E. Baum, A. Suwalska, S. Kropińska, K. Stachnik, E. Pérez-Bernabeu, M. Cildoz, A. Agustin y K. Wieczorowska-Tobis (2023). “Robots for Elderly Care: Review, Multi-Criteria Optimization Model and Qualitative Case Study”. *Healthcare*, 11(9), p. 1286.

Sotelo, D., J. Laserna, D. Galan y F. Matia (2024). “A New Emotional Social Robotic Platform”. In: *Iberian Robotics Conference (ROBOT)*, pp. 1–6. doi:10.1109/ROBOT61475.2024.10796936.