

Jornadas de Automática

Estrategias de Comunicación para Sistemas Multi-Robot Sociales basados en ROS

Arrojo, Guillermo Arturo*, Carrasco-Martínez, Sara, Castillo, José Carlos, Malfaz, María Ángeles

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid. Calle de Butarque, 15. Leganés, 29811. Madrid, España.

To cite this article: Arrojo, G.A., Carrasco-Martínez, S., Castillo, J.C., Malfaz, M.A. 2025. Communication Strategies for Social Multi-Robot Systems Using ROS. Jornadas de Automática, 46
<https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12212>

Resumen

En sistemas multi-robot, la comunicación es la base para una correcta interacción. Coordinar varios robots sociales en un mismo entorno requiere una comunicación efectiva. Sin embargo, las arquitecturas multi-robot suelen enfrentar problemas de sincronización, escalabilidad y dificultad para identificar quién envía cada mensaje. Este artículo analiza cuatro estrategias de comunicación multi-robot basadas en ROS e implementadas en el robot social Mini. Nuestra contribución aborda como opciones: (i) un espacio de nombres compartido que garantiza sincronía pero limita la independencia, (ii) espacios de nombres aislados con comunicación punto a punto, sencillo pero poco escalable, (iii) un espacio de nombres global con tópicos etiquetados por emisor, que permite adaptación dinámica y conocimiento del origen a costa de complejidad en los receptores y (iv) una versión simplificada que usa un único tópico global y un canal adicional para identificar al emisor, reduciendo la complejidad pero exigiendo mecanismos de coherencia.

Palabras clave: Robótica Social, Interacción Robot-Robot, Multi-Robot, ROS, Mensajes, Estrategia de comunicación

Communication Strategies for Social Multi-Robot Systems Using ROS

Abstract

In multi-robot systems, communication is the foundation for a successful interaction. Coordinating multiple social robots in a shared environment requires effective interaction. However, multi-robot architectures often face issues with synchronization, scalability, and identifying the source of each message. This paper analyzes four multi-robot communication strategies based on ROS and implemented on the social robot Mini. Our contribution explores the following options: (i) a shared namespace that ensures synchronization but limits individual autonomy; (ii) isolated namespaces with point-to-point messaging—simple to implement but poorly scalable; (iii) a global namespace where topics are tagged by sender, enabling dynamic adaptation and sender identification at the cost of increased receiver complexity; and (iv) a simplified variant using a single global topic plus an auxiliary channel for sender ID, which reduces complexity but requires coherence mechanisms. Through quantitative and qualitative evaluation, we find that strategy (iii), thanks to its flexibility and automatic adaptation to changing groups, is particularly well suited to dynamic social-robotics environments.

Keywords: Social Robotics, Robot–Robot Interaction, Multi-Robot, ROS, Topics, Communication Strategy

1. Introducción

En muchos entornos de la robótica la capacidad de múltiples robots para interactuar entre sí se ha convertido en un factor clave, ya que permite coordinar comportamientos, enri-

quecer la experiencia del usuario y afrontar tareas que un solo robot no podría realizar de forma efectiva. Esta interacción no se limita al reparto de carga computacional, sino que requiere mecanismos de comunicación que permitan compartir información, sincronizar acciones y adaptarse dinámicamente a los

*Autor para correspondencia: garrojo@ing.uc3m.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

cambios tanto del entorno como del grupo. Por ejemplo, podemos observar este tipo de soluciones en el ensamblaje de piezas identificados por Marvel et al. (2018), al posicionamiento cooperativo de vehículos propuesta por Brambilla et al. (2020) o sistemas de múltiples vehículos aéreos no tripulados (UAV) como revisa Skorobogatov et al. (2020) donde la navegación conjunta implica la coordinación entre las máquinas implicadas. Incluso podemos observarlo en sistemas de domótica basados en arquitectura IoT (Internet de las Cosas) como el propuesto por Abdulrahman et al. (2016) donde un controlador central se comunica con dispositivos independientes.

Sin embargo, en robótica social la interacción preferente es uno a uno, como el caso del robot foca Paro (Takayanagi et al., 2014) o el robot doméstico Jibo (Rane et al., 2014). Este enfoque se debe a la baja disponibilidad de estos robots, los altos costes asociados a estas plataformas y la poca frecuencia con la que pueden encontrarse dos o más de estas máquinas en un mismo entorno, especialmente si se trata de unidades idénticas o compatibles entre sí. No obstante, la creciente robustez de los sistemas, la reducción de costes y la simplificación tecnológica están abriendo el camino hacia entornos donde la presencia de múltiples robots sociales será cada vez más común.

En este contexto, no es difícil prever el uso de sistemas distribuidos aplicados a robótica social. Desde un punto de vista plenamente teórico, la mayoría de iteraciones sociales individuales pueden extrapolarse a un concepto de grupo simplemente añadiendo un tercer actor/agente (usuario o robot). Una vez se dispone de varios robots, el principal objetivo a batir es la comunicación entre ellos. Este artículo pretende plantear y comparar varias estrategias de comunicación entre robots sociales.

La comunicación entre robots puede parecer algo simple de implementar, tan sencillo como incorporar un protocolo *ssh* para acceso remoto (Lonvick and Ylonen, 2006), un cliente-servidor, donde los robots utilizan un servidor central (Berson, 1992), o conexiones mediante *socket*, usados como puntos de comunicación (Kalita, 2014) entre otros. Pero estos protocolos solo abarcan los conceptos de canal (medio por el cual se transmite la información), matemáticamente definido por Shannon (1948), y temporalidad (cuando está accesible la información), formalizado por Innis (1949). Si solo tenemos en cuenta la comunicación de un único robot a otro, podríamos dar por resueltas algunas incógnitas asociadas a la comunicación, puesto que conceptos como el emisor (quien da la información), el receptor (quien recibe la información) claves en el modelo de Lasswell (1948) y la privacidad (quien tiene acceso a la información) como establece Habermas (1991), podrían obviarse. El verdadero reto aparece cuando incorporamos un tercer robot, y sucesivos, a la comunicación, ya que en estos casos se requiere de una estrategia que gestione el protocolo de comunicación y permita deducir el resto de conceptos.

Por ejemplo, en la comunicación oral entre más de dos personas existen datos no implícitos que nos permiten establecer quién es el emisor (el tono de voz, quién mueve los labios, la dirección del sonido, etc.), quién es el receptor (quien está al alcance de nuestra voz o prestando atención), incluso la privacidad (determinada por las personas colindantes). Cualquier estrategia de comunicación entre robots que pretenda imitar un comportamiento natural deberá incluir métodos para de-

ducir esta información. Este artículo presenta un análisis de cuatro estrategias multi-robot desarrolladas en el robot social Mini.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se revisan los fundamentos de ROS (Robot Operating System) y los mecanismos de comunicación entre nodos. En la sección 3 se presentan las cuatro estrategias implementadas en el robot Mini, describiendo para cada una su diagrama, funcionamiento y análisis de ventajas y desventajas. En la sección 4 se realiza un análisis comparativo de las estrategias evaluadas, haciendo especial énfasis en su aplicación a entornos multi-robot sociales. Finalmente, en la sección 5 se exponen las principales conclusiones y trabajos futuros.

2. Marco Teórico

En esta sección se presenta el robot social Mini como plataforma de investigación. A continuación se revisan los fundamentos de ROS (*Robot Operating System*) y los mecanismos que permiten la comunicación entre nodos, se describen los conceptos básicos de *topics* y *namespace*, esenciales para el intercambio de mensajes. Finalmente se explora el concepto multi-robot y sus escenarios.

2.1. Robot Social Mini

Mini (Salichs et al., 2020), representado en la figura 1, es un robot social de sobremesa con apariencia de torso humanoide, diseñado en la Universidad Carlos III de Madrid para asistir y acompañar a personas mayores tanto en su hogar como en residencias. Mini posee una pantalla táctil, múltiples sensores (cámaras de profundidad, micrófonos y sensores de tacto) y actuadores (altavoces, pantallas de cristal líquido (LCD) y motores con hasta cinco grados de libertad) que permiten una interacción multimodal.



Figura 1: Robots sociales Mini.

Todo el software corre sobre un equipo con Ubuntu (Linux) y ROS como framework. La arquitectura de software de Mini se articula en módulos especializados que dotan de habilidades al robot, gestionados a través de un Sistema de Toma de Decisiones (DMS) según el estado interno y el contexto. Incorpora un subsistema de percepción encargado de organizar y tratar la información obtenida a través de los múltiples sensores. Finalmente, un sistema de Interacción Humano-Robot

(HRI) permite una comunicación natural y fluida con el usuario.

2.2. ROS

ROS¹ es uno de los *frameworks* más extendidos en robótica, y como se ha mencionado previamente la base de la arquitectura software de Mini. Su principal ventaja es la capacidad de abstraer el hardware, permitiendo el desarrollo de aplicaciones independientes de la plataforma física, lo que facilita su adaptación a diferentes dispositivos y su reutilización en distintos proyectos.

En el ámbito de la robótica social, donde múltiples robots pueden necesitar compartir información sensorial, estados internos o eventos de interacción con humanos, ROS ofrece una infraestructura eficiente para la comunicación mediante una arquitectura de publicadores y suscriptores.

1. **Tópicos (Topics):** Un tópico es un canal de comunicación utilizado para intercambiar mensajes entre nodos en un sistema robótico. Los nodos pueden publicar mensajes en un tópico o suscribirse a él para recibir datos. Esta arquitectura basada en tópicos permite la comunicación asíncrona y desacoplada entre diferentes componentes del sistema, facilitando la modularidad y flexibilidad en el desarrollo de aplicaciones. Los tópicos son ideales para transmitir información continua o en tiempo real, como datos de sensores, imágenes o estados de robots, ya que permiten una transmisión eficiente y sin necesidad de establecer una conexión directa entre los nodos involucrados.
2. **Espacio de nombres (Namespace):** Un espacio de nombres² es una forma de organizar y agrupar los nombres de tópicos, servicios, parámetros y otros recursos dentro de un sistema robótico. Los espacios de nombres permiten evitar conflictos de nombres y proporcionar una estructura jerárquica que facilita la organización del sistema, especialmente cuando se tienen múltiples robots o subsistemas operando simultáneamente.

2.3. Sistemas Multi-robot

Un sistema multi-robot (multi-robot system, MRS) hace referencia a un conjunto de robots que interactúan entre sí para cumplir tareas de manera conjunta, distribuida o colaborativa. Estos sistemas pueden estar compuestos tanto por robots idénticos como por robots distintos entre sí en términos de arquitectura, sensores, capacidades de procesamiento, comportamiento o rol dentro del grupo. Esta definición es coherente con la perspectiva presentada por Cao et al. (1997), quienes caracterizan los MRS como colectivos de robots móviles con potencial para realizar tareas de forma cooperativa, o estudios como el de Yan et al. (2013), que destacan la importancia de la coordinación, cooperación entre los robots.

El concepto de escenario multi-robot hace referencia al entorno (físico o virtual) en el que múltiples robots coexisten e interactúan. No implica necesariamente que los robots tengan un objetivo común o una misión cooperativa; puede abarcar

desde situaciones completamente distribuidas —donde cada robot actúa de forma autónoma, pero comparte espacio o información— hasta configuraciones altamente coordinadas en las que los robots deben sincronizar sus acciones en tiempo real. Como ejemplo se pueden observar investigaciones como la de Burgard et al. (2005), con un escenario de exploración coordinada.

3. Estrategias de sincronización multi-robot en Mini

En esta sección se presentan las cuatro estrategias de comunicación multi-robot implementadas en el robot Mini. Cabe destacar que, dentro de la arquitectura de Mini, estas estrategias se han implantado en paralelo al sistema HRI, formando la base de un sistema de interacción entre robots, denominado “Robot–Robot Interaction” (RRI).

3.1. Estrategia 1: Espacio de nombres compartido

Como se observa en la figura 2, esta estrategia consiste en utilizar un solo espacio de nombres (*namespace*) común con el conjunto de robots dentro de éste. Los tópicos (*topics*) se encuentran dentro del espacio de nombres compartido por todos los robots. En esta estrategia, los robots no se comunican como entes aislados, sino que la comunicación se asemeja a la de un mecanismo centralizado

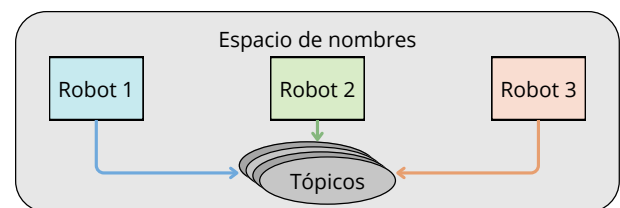


Figura 2: Diagrama de comunicación de 3 robots siguiendo la estrategia “Estrategia 1: Espacio de nombres compartido”.

Esta estrategia permite sincronizar varios robots dentro de un mismo espacio de nombres, haciendo que se comporten como una sola máquina. Esto puede resultar útil en escenarios donde los robots deben actuar de forma completamente coordinada. Sin embargo, presenta limitaciones importantes: al compartir los mismos tópicos, no es posible distinguir los mensajes propios de cada robot. En escenarios donde los robots tienen arquitecturas idénticas (con nombres de tópicos iguales), los mensajes se entremezclan, lo que provoca un comportamiento en espejo entre los robots.

3.2. Estrategia 2: Espacios de nombres aislados con comunicación punto a punto

En la figura 3, se observa el diagrama de una estrategia punto a punto donde cada robot tiene un espacio de nombres independiente, permitiéndoles un funcionamiento aislado del resto. En esta estrategia, cada robot debe conocer a sus receptores al publicar un tópico y debe publicar un tópico específico para cada receptor. Esta estrategia se asemejaría a una comunicación postal, donde el emisor debe conocer la dirección del receptor.

¹<http://www.ros.org>

²<http://wiki.ros.org/Names>

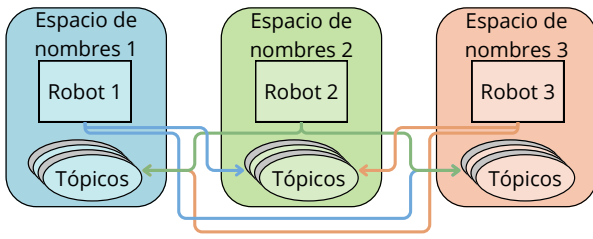


Figura 3: Diagrama de comunicación de 3 robots siguiendo la estrategia “Estrategia 2: Espacios de nombres aislados con comunicación punto a punto”.

Esta estrategia resulta útil en escenarios donde el número de robots es reducido y constante. Al establecer comunicaciones uno a uno, permite que cada robot funcione de manera independiente, manteniendo la privacidad de los mensajes y una clara distinción entre emisor y receptor. Sin embargo, presenta problemas de escalabilidad: a medida que el número de robots crece, la complejidad de las conexiones aumenta significativamente. Además, requiere mantenimiento respecto a los cambios en el escenario, siendo muy difícil de implementar en escenarios con un número variable de robots.

3.3. Estrategia 3: Espacio de nombres global con tópicos etiquetados por emisor

La estrategia reflejada en la figura 4 diferencia entre dos niveles de espacios de nombres: uno local, donde cada robot tiene sus tópicos, y otro global, usado como canal de comunicación. Requiere de un módulo en el emisor encargado de configurar los nombres de los tópicos publicados en el espacio de nombres global, encabezados por el nombre de cada robot seguido por el nombre del propio tópico. Por ejemplo, de esta forma, el tópico “saludo” en el espacio de nombres local del robot1 se vería como “/robot1/saludo” dentro del espacio de nombres global. Paralelamente, se requiere de un módulo más complejo en el receptor: este módulo debe filtrar los tópicos que se encuentran dentro del espacio de nombres global, agruparlos por su nombre y redirigir la información a los tópicos de su propio espacio de nombres local; de esta forma, “/robot1/saludo” y “/robot2/saludo” deberían recibirse como “saludo/recibido”. Este módulo también se encarga de gestionar la información sobre el emisor;

Esta estrategia también nos permite incluir subcanales, de forma que un tópico quedaría formado por el nombre del robot, el subcanal y, por último, el nombre del tópico: “/robot1/canalA/saludo”. El módulo de recepción puede filtrar por canal, ignorando aquellos que no sean de su interés. Esto es una ventaja al trabajar en un entorno multi-robot grande donde varios grupos reducidos de robots ejecutan la misma acción de forma independiente; como ejemplo, si hay dos grupos de robots jugando al mismo juego (Arrojo Fuentes et al., 2023) pero en partidas ajenas.

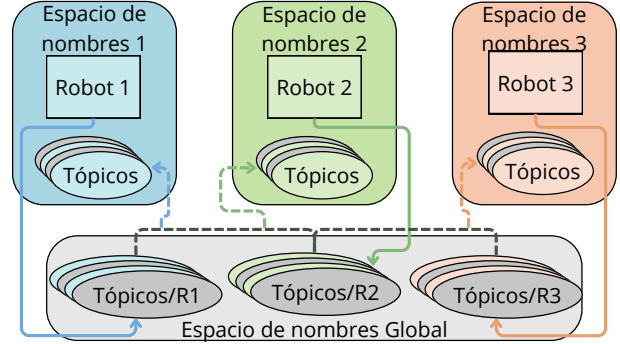


Figura 4: Diagrama de comunicación de 3 robots siguiendo la estrategia “Estrategia 3: Espacio de nombres global con tópicos etiquetados por emisor”.

Esta estrategia permite a cada emisor compartir información sin saber quiénes son los receptores, adaptándose a escenarios donde el número de robots no es constante. El mayor inconveniente, es la complejidad de la implementación en el receptor, requiriendo un sistema de filtrado dinámico, cuya complejidad se incrementa exponencialmente con el número de robots presentes en el escenario.

3.4. Estrategia 4: Espacio de nombres global con tópicos unificados

La última estrategia se puede observar en la figura 5, es una versión reducida de la estrategia descrita en la sección 3.3, La funcionalidad es muy similar en ambas estrategias, mantiene dos niveles de espacios de nombres, pero esta no requiere configurar los nombres de los tópicos a partir del nombre del emisor, todos los robots publican en el mismo tópico dentro del espacio de nombres global. Esta versión no requiere de un módulo de recepción; cada acción interna del robot puede suscribirse directamente a aquellos tópicos que necesita, incluyéndolos en su propio espacio de nombres local. Esto reduce la complejidad en el receptor, pues no requiere filtrar los tópicos.

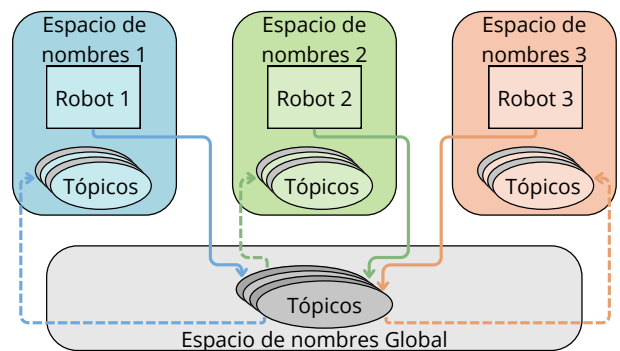


Figura 5: Diagrama de comunicación de 3 robots siguiendo la estrategia “Estrategia 4: Espacio de nombres global con tópicos unificados”.

Este sistema mantiene la independencia de los robots; no requiere que el emisor conozca al receptor y escala linealmente con el número de robots. Su implementación es simple tanto en el receptor como en el emisor.

A diferencia de la estrategia 3, en este caso el receptor no sabe quien es el emisor. La principal desventaja es la pérdida de información sobre el emisor; para suplir esto, es posible aplicar un segundo tópico de respaldo: de esta forma,

todo tópico publicado en el espacio de nombres global está acompañado por un tópico de respaldo que contiene información sobre el emisor; este tópico puede ser gestionado por el módulo de emisión, así el tópico “/saludo” tendría asociado un tópico llamado “/saludo/id”. Cabe destacar que esta solución no es atómica y puede producir desajustes en la sincronización de los tópicos; para asegurar la atomicidad en aquellos mensajes que sean críticos, puede aplicarse un mensaje personalizado que incluya los datos del emisor.

4. Escenario Multi-robot y comparación de las estrategias

Esta sección presenta un escenario de interacción multi-robot con varios robots Mini, junto con comparativa del desempeño de las 4 estrategias aplicadas a dicho escenario.

4.1. Escenario multi-robot

El escenario de aplicación de estas estrategias está compuesto por un número indefinido de robots Mini. De forma similar a las interacciones grupales humanas, la cantidad de robots puede variar dinámicamente durante el transcurso del escenario, ya sea por la incorporación de nuevos robots, la retirada de algunos de ellos o la sustitución de unos por otros.

En lo que respecta a los mensajes compartidos entre los robots, se plantea un entorno conversacional en el que todos los participantes actúan como interlocutores. Cuando un robot “habla”, otro intenta responder, siguiendo una dinámica secuencial. Por norma general, la frecuencia de los mensajes será de unos pocos segundos, equivalente al tiempo que tarda un robot en pronunciar una frase. De forma excepcional, los robots pueden transmitir mensajes con información complementaria, como datos para sincronizarse o para solicitar contexto dentro de la conversación.

Dado que se trata de robots con capacidad de interacción individual, la pérdida ocasional de mensajes entre ellos no compromete su funcionamiento crítico. Comportamientos como pedir que se repita la información o simplemente ignorarla pueden percibirse como naturales dentro de una conversación. Si bien conocer la identidad del emisor puede ser útil, no suele ser un dato esencial en la mayoría de las interacciones, e incluso confundir al emisor puede interpretarse como un error comprensible. Este tipo de fallos —como la pérdida de mensajes o la identificación incorrecta del emisor— son tolerables siempre que ocurran de forma esporádica. Si se vuelven demasiado frecuentes, podrían derivar en un comportamiento atípico, lo que indica que este tipo de interacción admite una ligera tolerancia al error.

La comunicación entre los robots se realiza a través de una red LAN mediante multicast, utilizando el middleware DDS (Data Distribution Service), que se basa en el protocolo RTPS (Real-Time Publish-Subscribe) sobre UDP.

4.2. Comparativa de estrategias

A continuación, se presenta una comparativa entre las cuatro estrategias descritas previamente, evaluadas bajo el escenario propuesto de interacción conversacional entre robots Mini en un entorno dinámico y tolerante al error. Se consideran dos grupos de criterios: cuantificables (relacionados con estructura

y escalabilidad) en la tabla 1 y no cuantificables (relacionados con adaptabilidad, independencia y robustez del sistema) en la tabla 2.

Criterios Cuantificables

Criterio	E1	E2	E3	E4
Nº de tópicos	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Nº total de conexiones	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Escalabilidad (por robot adicional)	Ninguno	Cuadrático	Exponencial	Lineal
Nodos intermediarios	Ninguno	Ninguno	Requiere módulos emisor y receptor	Requiere módulo emisor

Tabla 1: Comparativa de criterios cuantificables entre estrategias.

Criterios No Cuantificables

Criterio	E1	E2	E3	E4
Independencia de los robots	No	Sí	Sí	Sí
Adaptabilidad a cambios en el equipo	No	No	Sí	Sí
¿Requiere conocer a los receptores?	No	Sí	No	No
Capacidad de filtrar información innecesaria	No	Sí	Sí	Sí
Enriquecimiento (metainformación)	No	Sí (Implícito)	Sí (ID emisor + canal)	Sí (tópico de respaldo)
Información Atómica	Sí	Sí	Sí	No

Tabla 2: Comparativa de criterios cualitativos entre estrategias.

Análisis

En el contexto del escenario descrito, donde la comunicación es frecuente pero tolerante al error, y la identidad del emisor es útil pero no crítica, las estrategias 3 y 4 ofrecen ventajas significativas. La estrategia 4 destaca por su simplicidad y escalabilidad, mientras que 3 proporciona mayor riqueza de información a costa de mayor complejidad.

Por otro lado, 1 y 2 muestran limitaciones importantes: la estrategia 1 presenta problemas de colisión de mensajes y falta de diferenciación entre emisores; estrategia 2, aunque favorece la independencia, se ve rápidamente superada en escenarios dinámicos por su pobre escalabilidad y alta dependencia de configuraciones manuales.

La elección entre las estrategias 3 y 4 dependerá del balance deseado entre simplicidad de implementación (estrategia 4) y necesidad de trazabilidad del emisor (estrategia 3).

5. Conclusiones

Tras el análisis y la implementación de las cuatro estrategias propuestas, se concluye que no existe una solución superior. Cada estrategia presenta ventajas y limitaciones que solo adquieren relevancia al ser evaluadas dentro de un contexto de aplicación concreto. Por tanto, la elección óptima debe estar guiada por las características específicas del escenario, considerando factores como los requisitos técnicos, las restricciones del entorno y los objetivos funcionales del sistema.

En el caso particular de nuestro sistema, se optó por la estrategia 3 debido a su equilibrio entre funcionalidad y simplicidad de implementación. Esta alternativa permite una integración ágil, con una carga técnica moderada, y ofrece la capacidad de adaptarse dinámicamente a variaciones en el número

de robots sin requerir reconfiguración manual. Tales propiedades la convierten en una solución especialmente adecuada para entornos dinámicos o en evolución constante.

Cabe destacar que estas estrategias de comunicación han sido implementadas en el marco del sistema de interacción entre robots *Robot–Robot Interaction* (RRI), desarrollado como parte de la arquitectura general del robot Mini. Este sistema funciona en paralelo al módulo de interacción humano-robot (HRI), ampliando las capacidades sociales del robot al permitirle participar en escenarios multirrobot de forma natural.

Como plataforma de investigación, esta flexibilidad resulta particularmente valiosa, ya que facilita la experimentación y el escalado sin comprometer la estabilidad del sistema. Frente a las alternativas analizadas, que en su mayoría imponen mayores restricciones o complejidades, la estrategia 3 se posiciona como una opción robusta y versátil para nuestros escenarios multirrobot sociales.

De cara a futuras versiones y mejoras del desarrollo presentado, se identifican los siguientes puntos clave a trabajar:

1. **Validación en escenarios dinámicos con múltiples robots:** Ampliar las pruebas a escenarios cambiantes con más de tres robots, con el fin de evaluar la escalabilidad real del sistema y su robustez en escenarios dinámicos.
2. **Aplicación en situaciones reales de interacción social:** Llevar a cabo pruebas con usuarios reales donde los robots deban interactuar entre ellos y con el usuario, para evaluar el nivel aceptación por parte del usuario.
3. **Desarrollo de funcionalidades específicas para entornos multi-robot:** Implementar habilidades diseñadas especialmente para la interacción o coordinación entre múltiples robots, como actividades cooperativas que requieran de mas de un robot para su realización.
4. **Desarrollo avanzado del sistema de interacción entre robots:** Complementar el sistema RRI, con funcionalidades globales para las habilidades, número de robots conectados, validación de mensajes recibidos, etc. Y desarrollar mecanismos de actuación ante situaciones comunes, como la pérdida o el solapamiento de datos.

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido financiación de los proyectos: Robots sociales para mitigar la soledad y el aislamiento en mayores (SoRoLi), PID2021-123941OA-I00, y Robots sociales para reducir la brecha digital de las personas mayores (SoRoGap), TED2021-132079B-I00, ambos financiados por la Agencia Estatal de Investigación (AEI) del Ministerio de Ciencia e Innovación de España. Mejora del nivel de madurez tecnológica del robot Mini (MeNiR), financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y la Unión Europea Next-GenerationEU/PRTR. Portable Social Robot with High Level of Engagement (PoSoRo), PID2022-140345OB-I00, ha sido financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y ERDF A

way of making Europe y mediante el 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 a través de la Orden 5696/2024.

Referencias

- Abdulrahman, T., Isiwepeni, O., Surajudeen-Bakinde, N., Otuoze, A., 2016. Design, specification and implementation of a distributed home automation system. *Procedia Computer Science* 94, 473–478, the 11th International Conference on Future Networks and Communications (FNC 2016) / The 13th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC 2016) / Affiliated Workshops.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.073>
- Arrojo Fuentes, G. A., Borrero, J., García Martínez, J., Castillo, J. C., Castro-González, Á., Salichs, M. Á., 2023. Integración en robot social mini del juego "veo, veo". In: XLIV Jornadas de Automática. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións, pp. 501–506.
- Berson, A., 1992. Client/server architecture. McGraw-Hill, Inc., USA.
- Brambilla, M., Nicoli, M., Soatti, G., Deflorio, F., 2020. Augmenting vehicle localization by cooperative sensing of the driving environment: Insight on data association in urban traffic scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 21 (4), 1646–1663.
DOI: 10.1109/TITS.2019.2941435
- Burgard, W., Moors, M., Stachniss, C., Schneider, F., 2005. Coordinated multi-robot exploration. *IEEE Transactions on Robotics* 21 (3), 376–386.
DOI: 10.1109/TR0.2004.839232
- Cao, Y. U., Fukunaga, A. S., Kahng, A., 1997. Cooperative mobile robotics: Antecedents and directions. *Autonomous robots* 4, 7–27.
- Habermas, J., 1991. The structural transformation of the public sphere: An inquiry into a category of bourgeois society. MIT press.
- Innis, H. A., 1949. The bias of communication. *Canadian Journal of Economics and Political Science* 15 (4), 457–476.
DOI: 10.2307/138041
- Kalita, L., 2014. Socket programming. *International Journal of Computer Science and Information Technologies* 5 (3), 4802–4807.
- Lasswell, H. D., 1948. The structure and function of communication in society. In: Bryson, L. (Ed.), *The communication of ideas*. Harper and Row, New York, pp. 37–51.
- Lonvick, C. M., Ylonen, T., Jan. 2006. The Secure Shell (SSH) Protocol Architecture. Tech. Rep. 4251, Internet Engineering Task Force.
DOI: 10.17487/RFC4251
- Marvel, J. A., Bostelman, R., Falco, J., Jan. 2018. Multi-robot assembly strategies and metrics. *ACM Comput. Surv.* 51 (1).
DOI: 10.1145/3150225
- Rane, P., Mhatre, V., Kurup, L., 2014. Study of a home robot: Jibo. *International journal of engineering research and technology* 3 (10), 490–493.
- 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., dec 2020. Mini: A New Social Robot for the Elderly. *International Journal of Social Robotics* 12 (6), 1231–1249.
DOI: 10.1007/s12369-020-00687-0
- Shannon, C. E., 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27 (3), 379–423.
DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
- Skorobogatov, G., Barrado, C., Salami, E., 2020. Multiple uav systems: A survey. *Unmanned Systems* 08 (02), 149–169.
DOI: 10.1142/S2301385020500090
- Takayanagi, K., Kirita, T., Shibata, T., sep 2014. Comparison of verbal and emotional responses of elderly people with mild/moderate dementia and those with severe dementia in responses to seal robot, PARO. *Frontiers in Aging Neuroscience* 6 (SEP), 257.
DOI: 10.3389/fnagi.2014.00257
- Yan, Z., Jouandeau, N., Cherif, A. A., 2013. A survey and analysis of multi-robot coordination. *International Journal of Advanced Robotic Systems* 10 (12), 399.
DOI: 10.5772/57313