RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 19/09/2026 | aceito: 26/09/2026 | publicação: 01/10/2026

Fundamentos arquitectónicos para la Internet de las Cosas Robóticas multiagente: una revisión de la literatura

Fundamentos arquitetônicos para a Internet das Coisas Robóticas multiagente: uma revisão da literatura

Architectural foundations for the multi-agent Internet of Robotic Things: a literature review

Felipe Augusto Oliveira Mota – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, felipeaomota@gmail.com
Eric Rohmer – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, rohmer@unicamp.br

Resumen:
Internet de las cosas robóticas (IoRT) integra robótica, Internet de las cosas (IoT), computación distribuida y sistemas inteligentes para permitir que entidades físicas y virtuales heterogéneas puedan percibir, comunicar, colaborar y actuar en entornos dinámicos. Sin embargo, la heterogeneidad y distribución de estas entidades presentan desafíos relacionados con la interoperabilidad, la comunicación, la representación en el contexto y la adopción de decisiones coordinadas. Este documento presenta una revisión bibliográfica de los principales conceptos y tecnologías que apoyan entornos de IoRT múltiples. La revisión analiza la evolución y las características arquitectónicas de IoRT, Edge–Fog–Cloud computing y redes de comunicación de próxima generación, así como el papel de los sistemas multiagent en la prestación de interacciones distribuidas y autónomas entre las entidades heterogéneas. Se presta especial atención a la computación contextual y la representación semántica como mecanismos para transformar los datos de sensores heterogéneos en información contextual de alto nivel que pueda apoyar el razonamiento y la acción. El estudio también examina los requisitos arquitectónicos de las plataformas de IoRT y el papel de los intermediarios y microservicios locales en la integración de dispositivos, datos y recursos computacionales distribuidos. La literatura revisada indica que la combinación de sistemas multiagentes, información contextual, representación semántica y computación distribuida proporciona una base relevante para desarrollar entornos de IoRT flexibles, escalables, interoperables y adaptables.

Palabras clave:
Internet de las Cosas Robóticas; Sistemas multiagente; Computación sensible al contexto; Representación semántica; Computación distribuida.

Resumo:
A Internet das Coisas Robóticas (IoRT) integra robótica, Internet das Coisas (IoT), computação distribuída e sistemas inteligentes para permitir que entidades físicas e virtuais heterogêneas percebam, comuniquem, colaborem e atuem em ambientes dinâmicos. No entanto, a heterogeneidade e distribuição dessas entidades introduz desafios relacionados à interoperabilidade, comunicação, representação do contexto e tomada de decisão coordenada. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica dos principais conceitos e tecnologias que sustentam ambientes de IoRT multiagentes. A revisão discute a evolução e as características arquitetônicas da IoRT, da computação Edge-Fog-Cloud e das redes de comunicação de última geração, bem como o papel dos sistemas multiagentes no fornecimento de interações distribuídas e autônomas entre entidades heterogêneas. Uma atenção especial é dada à computação consciente do contexto e à representação semântica como mecanismos para transformar dados heterogêneos de sensores em informações contextuais de alto nível que possam suportar raciocínio e ação. O estudo também examina os requisitos arquitetônicos para plataformas IoRT e o papel de middleware local e microservices na integração de dispositivos, dados e recursos computacionais distribuídos. A literatura revisada indica que a combinação de sistemas multiagentes, informações contextuais, representação semântica e computação

distribuída fornece uma base relevante para o desenvolvimento de ambientes de IoRT flexíveis, escaláveis, interoperáveis e adaptativos.

Palavras-chave:
Internet das Coisas Robóticas; Sistemas multiagente; Computação sensível ao contexto; Representação semântica; Computação distribuída.

Abstract:
The Internet of Robotic Things (IoRT) integrates robotics, Internet of Things (IoT), distributed computing, and intelligent systems to enable heterogeneous physical and virtual entities to perceive, communicate, collaborate, and act in dynamic environments. However, the heterogeneity and distribution of these entities introduce challenges related to interoperability, communication, context representation, and coordinated decision-making. This paper presents a literature review of the main concepts and technologies supporting multi-agent IoRT environments. The review discusses the evolution and architectural characteristics of IoRT, Edge–Fog–Cloud computing and next-generation communication networks, as well as the role of multi-agent systems in providing distributed and autonomous interactions among heterogeneous entities. Particular attention is given to context-aware computing and semantic representation as mechanisms for transforming heterogeneous sensor data into higher-level contextual information that can support reasoning and action. The study also examines architectural requirements for IoRT platforms and the role of local middleware and microservices in integrating devices, data, and distributed computational resources. The reviewed literature indicates that the combination of multi-agent systems, contextual information, semantic representation, and distributed computing provides a relevant foundation for developing flexible, scalable, interoperable, and adaptive IoRT environments.

Keywords:
Internet of Robotic Things; Multi-agent systems; Context-aware computing; Semantic representation; Distributed computing.

1. Introducción

Internet de las cosas robóticas (IoRT) es un paradigma tecnológico emergente. IoRT reúne robótica, Internet de las cosas (IoT) y cloud computing. IoRT es un ecosistema de dispositivos inteligentes capaces de monitorear eventos, recopilar y analizar datos de diferentes fuentes, intercambiar información, utilizar inteligencia local y distribuida para determinar una secuencia óptima de acciones, y actuar o sensibilizar el entorno físico mientras se mueve físicamente en la ubicación [1], [2]. A medida que se integran nuevos dispositivos y actividades, estas relaciones deben adaptarse para asegurar una gestión eficiente de datos e interoperabilidad. En la integración de múltiples entidades en una solución IoRT, la interoperabilidad es un aspecto crucial, esencial para crear servicios interdominios que apoyen el movimiento dinámico de dispositivos físicos y el intercambio, almacenamiento y procesamiento de información entre ellos [3]. Otro factor importante para apoyar la interoperabilidad es el contexto.

La informática contexto es esencial para satisfacer las necesidades personalizadas del medio ambiente [4]. La percepción en IoRT depende del contexto, que caracteriza situaciones de entidades, incluyendo ubicación, estado, tiempo e identidad [3], [1]. La aplicación de sistemas multiagentes (MAS) en tales entornos es prometedora debido a la diversidad de dispositivos e interacciones implicados. La implementación del MAS implica agentes estratégicamente organizados que perciben el medio ambiente y actúan basados en objetivos definidos [5], [6]. La conectividad busca una sinergia entre la colaboración, la comunicación y la cognición en sistemas verticales complejos que reúnen tecnologías de diversos dominios [7], [8]. Conceptos derivados de 5G y 6G guían la investigación actual de telecomunicaciones. Esto establece un marco de comunicación IoRT en tres dominios: Edge, Fog y Cloud. El Edge procesa datos más cercanos a los dispositivos, mientras que el Fog maneja un procesamiento de datos más robusto debajo de la nube [9].

2. Internet de las Cosas Robóticas

El tema es particularmente multidisciplinario, exigiendo la integración de diversos conocimientos para desarrollar una solución eficaz. Como señala [10], la alta heterogeneidad de los componentes de estos sistemas requiere experiencia en varias esferas. Además, [3] destaca que, con el avance de las tecnologías, emergen nuevos conceptos, reflejando tanto la evolución de las aplicaciones como la necesidad constante de innovación. Este escenario requiere una base teórica bien estructurada y un desarrollo gradual, proporcionando una organización sólida y coherente para el proyecto. Las transformaciones tecnológicas han impulsado la creación de servicios inteligentes, que son esenciales para los avances sociales y científicos, con el objetivo de mejorar la calidad de vida con soluciones digitales personalizadas [11]. En la década de 1990, la robótica en red surgió para integrar robots en una red, ampliando sus funcionalidades.

Con el tiempo, sus limitaciones llevaron al desarrollo de la robótica de la nube, permitiendo la distribución de sensores, procesamiento y memoria, sin necesidad de que estén en un solo sistema [2]. Sin embargo, persisten desafíos en la interoperabilidad, heterogeneidad, latencia, seguridad, gestión de robots, infraestructura, QoS y estandarización, características que son el foco del trabajo en IoT. Los avances en IoT han permitido el surgimiento de sistemas ciberfísicos (CPS), en los que los robots, software y sensores cooperan para alcanzar objetivos comunes [10]. IoRT emerge en este contexto, expandiendo lo que IoT ya logró, con dispositivos inteligentes, móviles y autónomos, interactuando en diferentes sectores [3]. Este escenario

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O
Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 19/09/2026 | aceito: 26/09/2026 | publicação: 01/10/2026

IoRT permite a los robots modernos compartir grandes volúmenes de datos y conocimientos, mejorando mutuamente las habilidades y superando las limitaciones de la robótica tradicional [11].

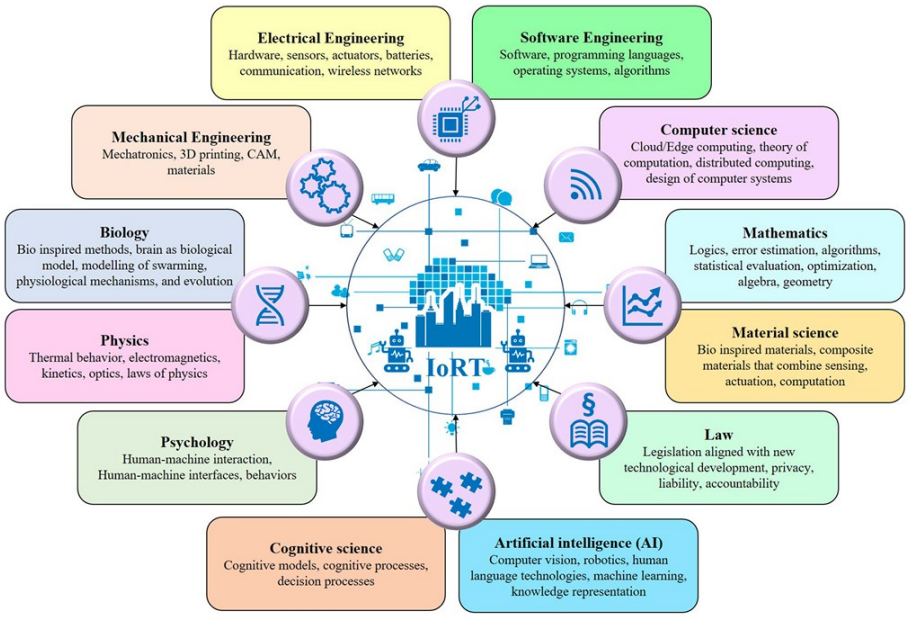

Figura 1. IoRT - campo interdisciplinario. Fuente: [3].

El avance de la inteligencia artificial ha permitido que las cosas robóticas funcionen con algoritmos de aprendizaje y toma de decisiones cognitivas, además de la integración de IoRT con diversos campos científicos, como se ilustra en la Figura 1 [3]. Los sistemas de IoRT se están volviendo esenciales en sectores como la industria, la salud y la educación, así como la influencia en áreas como el entretenimiento y el turismo [11]. La expansión de IoT a IoRT implica la virtualización de la computación en la nube y el diseño flexible de robots, con la convergencia tecnológica siendo central, aportando tanto desafíos como oportunidades [12], [3]. La cooperación y la fiabilidad entre los dispositivos robóticos son fundamentales para su funcionamiento eficiente. IoRT requiere un enfoque arquitectónico multidimensional para gestionar sus diversas tareas, con características como la detección, la actuación, el control y la cognición [2]. Las capacidades de IoRT incluyen la detección, localización, pensamiento, conexión, colaboración, aprendizaje y actuación [3].

La arquitectura IoRT se puede modelar de diferentes maneras, como la arquitectura de 4 niveles propuesta por [13], que incluye elementos físicos, redes e infraestructura, aplicaciones y servicios, y procesos empresariales. En su modelado, [1] destaca aspectos como actuar como servicio, percepción combinada con modelado de conocimiento y cognición distribuida. Las principales funciones del IoRT son los Servicios de Interacción Robótica (RoIS) y la Interacción Human-Robot (HRI) [1]. La interacción entre dispositivos robóticos y sociales se

ve mejorada por la red de interacción entre ellos, creando nuevas soluciones innovadoras [14]. La presencia masiva de dispositivos IoRT trae retos de actualización y mantenimiento, y el uso de Digital Twins ha resultado útil para mejorar los dispositivos en entornos virtuales, como lo describe [15], [11]. El Digital Twin conecta módulos físicos a sus versiones virtuales, requiriendo una estructura de red robusta para su funcionamiento [16].

Se espera que IoRT proporcione redes robóticas más inteligentes, colaborativas, heterogéneas, eficientes, auto-adaptivas, de contexto y aún más baratas. Basado en la evolución presentada, las características de IoRT añaden a la relación entre la robótica, el Internet de las cosas y la informática en la nube. Esto permite dividir el trabajo en tres áreas [3]:

La primera es sobre la robótica, que se aplica en el borde (red local) y define los requisitos como movimiento, interacción y manipulación.

La segunda área es sobre el Internet de las cosas y define todas las conexiones entre los dispositivos locales más allá del razonamiento semántico sobre los datos.

El tercer área es la computación de nubes. Define los servicios remotos, permitiendo la virtualización de los recursos, elasticidad y multitenancia. En IoRT, los robots cooperan en sistemas multirobot, que integran varios agentes que operan en el mismo entorno. Los dispositivos utilizados pueden clasificarse como sistemas ciberfísicos (CPS). Este tipo de aplicación se caracteriza por integrar dispositivos locales (físicos) con Internet (ciber). El CPS ayuda a mejorar con el trabajo de IoT. Las tecnologías robóticas modernas se fusionan con la informática y las redes de cloud, integrando protocolos CPSs e IoT para desarrollar nuevas tecnologías. Los dispositivos inteligentes pueden monitorear eventos, combinar datos de sensores de múltiples fuentes y utilizar inteligencia local y distribuida para determinar el mejor curso de acción. El crecimiento exponencial del dominio semiconductor ha dado lugar a una expansión de estándares para el uso de sistemas de procesadores basados en sensores. Estos sistemas habilitados con tecnologías avanzadas de comunicación (Bluetooth, Wi-Fi, 4G, 5G, etc.) convergen en la tecnología IoT.

IoT es increíblemente omnipresente, lo que hace que la integración con la informática en la nube sea importante debido a la cantidad de datos que se pueden generar y al requisito de utilizar recursos virtuales y capacidad de almacenamiento. Así, es posible obtener varios usos con los datos generados por el IoT y desarrollar varias aplicaciones inteligentes para los usuarios. Al optimizar los servicios de red, la relación IoT-Cloud permite un modelo de servicios avanzado, para un sistema multi-robot, que se puede suministrar rápidamente y lanzar con un mínimo esfuerzo de gestión. Esto reduce los problemas de conectividad de los dispositivos heterogéneos centrados en el usuario, ya que permite una interacción fácil con los

proveedores de servicios. El IoT está compuesto por objetos físicos como sensores, software, electrónica y una conexión de red que permite la recogida y referencia de datos. Entre sus características y requisitos generales destaca la heterogeneidad y escalabilidad, dada la imposición de un sistema complejo y dinámico.

En Cloud Computing hay dos conceptos muy importantes: escalabilidad y virtualización. Se caracteriza como un tipo de computación que se basa en Internet y proporciona capacidades de intercambio de datos y procesamiento para ordenadores y otros dispositivos bajo demanda.

3. Conexión remota y escenario más allá de 5G

La evolución de la IoRT implica robots autónomos colaborando en redes inteligentes, desempeñando funciones tales como detección, manipulación y comunicación, requiriendo redes robustas e interoperables capaces de apoyar dispositivos heterogéneos con diferentes niveles de inteligencia [3]. IoRT opera en las regiones de comunicación Edge, Fog y Cloud, con datos de procesamiento Edge más cercanos a los dispositivos, mientras que Fog procesa datos más robustos debajo de la nube [9], [17]. La computación de Fog extiende las capacidades de la nube al borde, permitiendo a las aplicaciones de IoRT manejar grandes conjuntos de datos [3]. 5G expande la conectividad y la capacidad de recursos distribuida, permitiendo sistemas verticales de extremo a extremo, como se destaca por [17], [7] y [18]. 5G se organiza en tres escenarios principales: eMBB (enhanced Mobile Broadband), mMTC (massive Machine Type Communications) y URL19

La investigación de 6G tiene como objetivo alcanzar velocidades de datos extremadamente altas y transferencia instantánea, así como mejorar la cognición y la colaboración mediante inteligencia artificial [8]. Las redes de 6G estarán basadas en los bordes para apoyar las aplicaciones emergentes y requerirán una adaptación autónoma [16]. El IoRT también se enfrenta a retos de conectividad en los modelos de despliegue distribuidos, que requieren el desarrollo de nuevos métodos de orquestación para distribuir la carga energética y reducir los requisitos de energía [3]. El cálculo osmótico, según lo descrito por [21], surgió para servir entornos distribuidos, permitiendo el despliegue automático de microservicios interconectados en el borde y en la nube, lo que facilita la escalabilidad de soluciones tecnológicas [22].

4. Sistemas multiagente

Al abordar sistemas multiagentes, [23] define el concepto de multiagentes por la PAGE acrónimo, donde P = Percepciones, A = Acciones, G = Objetivos y E = Medio Ambiente. Una entidad, ya sea humana o artificial, inmersa en un entorno físico o virtual, se caracteriza por la capacidad de percibir el medio ambiente, interactuar con él, establecer objetivos y tomar decisiones para lograrlos. [24] complemento, indicando que los sistemas multiagentes están compuestos por agentes autónomos que interactúan entre sí y con el medio ambiente para resolver problemas de manera distribuida. Cada agente puede percibir, decidir y actuar, promoviendo una estructura descentralizada que facilite flexibilidad, escalabilidad y resiliencia. Al integrar múltiples entidades en una solución IoRT, la interoperabilidad es un aspecto esencial, como se menciona en [3]. Destacan que la interoperabilidad es crucial para crear servicios de interdominio que apoyen el movimiento dinámico de dispositivos físicos y el intercambio, almacenamiento y procesamiento de información entre ellos.

Superar los desafíos de interoperabilidad es esencial para el éxito de las soluciones de IoRT, también favoreciendo el desarrollo de estructuras de interoperabilidad federadas entre plataformas. [25] propone un enfoque de verificación de tiempo de ejecución para aumentar la seguridad y la fiabilidad en los sistemas multiagentes, especialmente en contextos con complejas interacciones entre otros agentes y humanos. Entre los principales desafíos está la interoperabilidad. Observan que la verificación tradicional se ve obstaculizada por el número de posibles estados e interacciones, lo que requiere un enfoque ligero y eficiente para supervisar en tiempo real. En un estudio de caso sobre la asignación de camas hospitalarias, el enfoque demostró la capacidad de monitorear mensajes y asegurar que los agentes sigan estrictos protocolos de comunicación. Finalmente, [5] define un modelo multiagente para Ambient Assisted Living (AAL), basado en una infraestructura de comunicación M2M que facilita la integración de robots y agentes humanos.

Este modelo utiliza el concepto de "indistinguibilidad", permitiendo la selección automática de agentes con capacidades mínimas equivalentes, dependiendo de la tarea o objetivo. Identifican seis funciones de agentes en los sistemas AAL: Context Agent (obtiene información), Assistive Agent (apoya a otros agentes), True Agent (recibir asistencia), Agente con Capacidades de Liderazgo (instrucción de consejos), Fuente Agent (inicia el proceso) y Agente de Destino (fine el proceso). Así, la heterogeneidad de los sistemas multiagentes requiere la definición de las normas de comunicación y la comprensión de las capacidades de los agentes, ya sean físicas o virtuales, para promover una interoperabilidad efectiva. Además,

como se discutió anteriormente, una organización robusta de la red física local es crucial para asegurar una transmisión eficiente de datos en entornos con una alta densidad de dispositivos conectados.

5. Computación sensible al contexto

En la propuesta presentada por [5], una de las funciones atribuidas a los agentes es el contexto. De acuerdo, [3] destaca que el concepto de contexto en IoRT es fundamental, con información que caracteriza la situación de entidades, como localización, estado, tiempo e identidad. Como lo discutimos [1], la percepción en IoRT depende directamente del contexto. Según [4], la computación contextual ha evolucionado rápidamente debido a los avances en sensores de bajo costo, dispositivos informáticos y redes de comunicación inalámbricas. Esta evolución ha transformado la computación contextual en un enfoque aplicable, permitiendo la creación de servicios de alto nivel en entornos inteligentes, que permiten interacciones multimodales y asistencia personalizada con reconocimiento de actividad basado en ontología. La capacidad de reconocer las actividades es esencial para entornos conscientes del contexto, ya que proporciona la información necesaria para el comportamiento inteligente de estos entornos, y es apoyada por el modelado de contexto específico.

[26] propone un enfoque semántico para la IoRT, integrando los datos de sensores heterogéneos en representaciones simbólicas de alto nivel. Este enfoque permite un razonamiento basado en la lógica de primera orden y resume datos de bajo nivel en estructuras de conocimiento que representan el contexto. En el gráfico 2 se resume la propuesta. La arquitectura de una plataforma de IoRT semántica implica una Plataforma Sensor y Actuador que abstrae el acceso a sensores y actuadores. La capa de racionalización simbólica interpreta entidades de contexto basadas en datos recopilados por sensores y, del conocimiento de dominio representado en ontologías y reglas, genera acciones relevantes. Estas acciones se decodifican para generar comandos reales para los actuadores, permitiendo una respuesta informada y contextualizada del sistema.

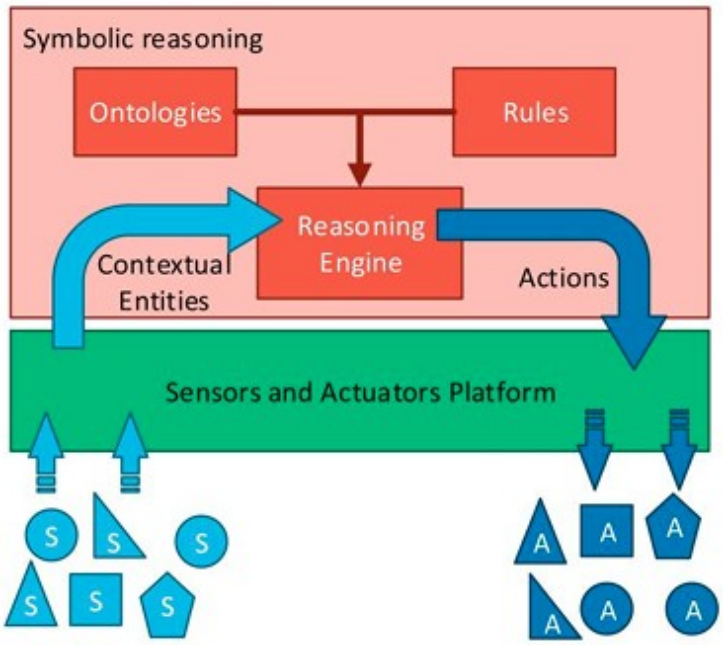

Figura 2. Arquitectura semántica de IoRT. Fuente: [26].

6. La plataforma IoRT

El diseño de una plataforma IoRT, según [3], debe ofrecer flexibilidad, escalabilidad, usabilidad, interoperabilidad y diferentes niveles de inteligencia. Los elementos esenciales de la plataforma son: dispositivos físicos y recursos, virtualización, gestión de datos, representación semántica, seguridad, redes, interfaces abiertas, análisis de datos, aprendizaje automático, herramientas de desarrollo estandarizadas y flujo de información entre las capas de la arquitectura. En la solución propuesta por [22] se destaca la necesidad de un middleware local, que funciona como capa de abstracción intermedia, conectando diferentes capas. El middleware facilita la adquisición y procesamiento de datos a través de API de alto nivel. Los autores señalan que el middleware desarrollado para la nube no maneja bien la computación del borde, lo que justifica la implementación de soluciones locales. También afirman que el uso de microservicios ofrece escalabilidad, aceleración del desarrollo y reduce el tiempo para implementar innovaciones.

Finalmente, [27] argumenta que una arquitectura cognitiva puede ser un sistema de control inspirado en la cognición humana y animal, funcionando tanto como un modelo teórico y como un marco computacional reutilizable. Estas arquitecturas han sido ampliamente aplicadas en áreas como robótica, juegos, interacción humana-máquina y procesamiento de lenguaje natural. Además, los autores discuten la Teoría del Proceso Dual, que sugiere la existencia de dos sistemas cognitivos: Sistema 1, que es rápido y automático, y Sistema 2, que

es deliberativo y consciente, con capacidad limitada y puede inhibir las respuestas automáticas del Sistema 1.

7. Conclusiones

En general, IoRT está preparada para impulsar la innovación en entornos autónomos e inteligentes proporcionando soluciones escalables, flexibles y adaptables. Su potencial para transformar industrias y mejorar la calidad de vida subraya la importancia de continuar la investigación y el desarrollo en este ámbito multidisciplinario.

Referencias

[1] P. P. Ray, "Internet of robotic things: Concept,technologies, and challen," IEEE Access, vol. 4, pp. 9489–9500, 2016.

[2] A. Nayyar, R. S. Batth, and A. Nagpal, "Internet of robotic things: Driving intelligent robotics of future- concept, architecture, applications and technologies," 4th International Conference on Computing Sciences, 2018.

[3] O. Vermesan, R. Bahr, M. Ottella, M. Serrano, T. Karlsen, T. Wahlstrøm, H. E. Sand, M. Ashwathnarayan, and M. Troglia Gamba, "Internet of robotic things: Intelligent connectivity and platforms," Frontiers in Robotics and AI, vol. 7, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00104

[4] S. Y. Kareem, "A cloud based architecture for smart homes and assistive robots," Master's thesis, University of Genova, Genova, Italy, September 22 2017, european Master on Advanced Robotics.

[5] M. A. Gomez, A. Chibani, Y. Amirat, and E. T. Matson, "Iort cloud survivability framework for robotic aals using harms," Robotics and Autonomous Systems, vol. 106, pp. 192–206, 2018. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889017308564

[6] A. M. T. Astudillo, "Aplicación de un algoritmo basado en consenso para un sistema multi-agente robótico simulado en coppeliasim y comandado desde matlab," 2022, monografia, Escuela Politécnica Nacional, Equador.

[7] S. C. Gupta, P. Gandotra, B. Lall, H. Saran, and K. Sabnani, "Layered architecture and virtualization for 5g slicing," IEEE 4th 5G World Forum (5GWF), 2021.

[8] S. Shahzadi, M. Iqbal, and N. R. Chaudhry, "6g vision: Toward future collaborative cognitive communication (3c) systems," IEEE Communications Standards Magazine, 2021.

[9] R. Buyya and S. N. Srirama, Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms. Wiley, 2019.

[10] R. Brouzos, K. Panayiotou, E. Tsardoulias, and A. Symeonidis, "A low-code approach for connected robots," Journal of Intelligent & Robotic Systems, vol. 108, no. 2, p. 28, Jun 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s10846-023-01861-y

[11] L. Romeo, A. Petitti, R. Marani, and A. Milella, "Internet of robotic things in smart domains: Applications and challenges," Sensors, vol. 20, no. 12, 2020. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424- 8220/20/12/3355

[12] R. Krishnamoorthy, T. Bikku, V. Priyalakshmi, M. Amina Begum, and S. Arun, A Concept of Internet of Robotic Things for Smart Automation. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 83–102. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66222-66

[13] M. Albonico, A. J. Rohling, P. J. Varela, and J. S. d. Santos, "Mining evidences of internet of robotic things (iort) softwarefrom open source projects," Simpósio Brasileiro de Componentes, Arquiteturas E Reutilização de software (SBCARS), 2021.

[14] B. J. Moon, S. S. Kwak, D. Kang, H. Lee, and J. Choi, "The effects of internet of robotic things on in-home social family relationships," 29th IEEE International Conference onRobot and Human Interactive Communication (RO-MAN, 2020.

[15] C. Stary, "Digital twin generation: Re-conceptualizing agent systems for behavior-centered cyber-physical system development," Sensors, vol. 21, no. 4, 2021. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/1424- 8220/21/4/1096

[16] M. C. Luizelli, F. G. Vogt, P. S. S. De Souza, A. F. Lorenzon, R. I. T. Da Costa Filho, F. D. Rossi, R. N. Calheiros, and C. E. Rothenberg, "Diginet: Scaling up provisioning of network digital twin," in 2024 IEEE 10th International Conference on Network Softwarization (NetSoft), 2024, pp. 136–144.

[17] I. A. Ridhawi, N. Mostafa, Y. Kotb, M. Aloqaily, and I. Abualhaol, "Data caching and selection in 5g networks using f2f communication," in 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2017, pp. 1–6.

[18] A. Çubukçu, A. Kavak, Çubukçu, Y. S. Sandal, and K. Küçük, "A study on slice-aware industrial edge applications for next-generation private networks," in 2023 4th International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC), 2023, pp. 1–5.

[19] S. Guo, B. Lu, M. Wen, S. Dang, and N. Saeed, "Customized 5g and beyond private networks with integrated urllc, embb, mmtc, and positioning for industrial verticals," IEEE Communications Standards Magazine, vol. 6, no. 1, pp. 52–57, 2022.

[20] A. Baratè, G. Haus, L. A. Ludovico, E. Pagani, and N. Scarabottolo, "5g technology and its applications to music education," in Proceedings of the International Conference e-Learning 2019, 2019.

[21] M. Villari, M. Fazio, S. Dustdar, O. Rana, and R. Ranjan, "Osmotic computing: A new paradigm for edge/cloud integration," IEEE Cloud Computing, vol. 3, no. 6, pp. 76–83, 2016.

[22] L. C. B. C. Ferreira, A. D. R. Borchardt, G. D. S. Cardoso, D. A. Mendes Lemes, G. R. D. R. d. Sousa, F. B. Neto, E. R. de Lima, G. Fraidenraich, P. Cardieri, and L. G. P. Meloni, "Edge computing and microservices middleware for home energy management systems," IEEE Access, vol. 10, pp. 109 663–109 676, 2022.

[23] G. Weiss, Multiagent Systems. Cambridge, MA: MIT Press, 2013.

[24] V. Stefanova-Stoyanova and I. Stankov, "Multi-agent systems (mas) in the area of iot and using a model with distributed shared memory system (dsm)," in 2020 XXIX International Scientific Conference Electronics (ET), 2020, pp. 1–4.

[25] D. C. Engelmann, A. Ferrando, A. R. Panisson, D. Ancona, R. H. Bordini, and V. Mascardi, "Rv4jaca – runtime verification for multi-agent systems," in Proceedings of the Second Workshop on Agents and Robots for reliable Engineered Autonomy, Vienna, Austria, 24th July 2022, ser. Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science, R. C. Cardoso, A. Ferrando, F. Papacchini, M. Askarpour, and L. A. Dennis, Eds., vol. 362. Open Publishing Association, 2022, pp. 23–36.

[26] L. Sabri, S. Bouznad, S. R. Fiorini, A. Chibani, E. Prestes, and Y. Amirat, "An integrated semantic framework for designing context-aware internet of robotic things systems," Integrated Computer-Aided Engineering, vol. 25, no. 2, pp. 137–156, 2018.

[27] R. Gudwin, A. Paraense, S. M. de Paula, E. Fróes, W. Gibaut, E. Castro, V. Figueiredo, and K. Raizer, "The multipurpose enhanced cognitive architecture (meca)," Biologically Inspired Cognitive Architectures, vol. 22, pp. 20–34, 2017. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212683X17301068