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

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

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.

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.

1. Introdução

A Internet das Coisas Robóticas (IoRT) é um paradigma tecnológico emergente. IoRT reúne robótica, Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem. IoRT é um ecossistema de dispositivos inteligentes capazes de monitorar eventos, coletar e analisar dados de diferentes fontes, trocar informações, utilizar inteligência local e distribuída para determinar uma sequência ótima de ações e atuar ou sentir o ambiente físico enquanto se move fisicamente no local [1], [2]. À medida que os novos dispositivos e actividades estão integrados, estas relações devem adaptar-se para garantir uma gestão eficiente dos dados e a interoperabilidade. Na integração de múltiplas entidades numa solução de IoRT, a interoperabilidade é um aspecto crucial, essencial para a criação de serviços interdomínios que apoiem o movimento dinâmico dos dispositivos físicos e o intercâmbio, armazenamento e processamento de informações entre eles [3]. Outro fator importante no apoio à interoperabilidade é o contexto.

A computação consciente do contexto é essencial para atender às necessidades personalizadas do ambiente [4]. A percepção na IoRT depende do contexto, que caracteriza situações de entidades, incluindo localização, status, tempo e identidade [3], [1]. A aplicação de sistemas multiagentes (MAS) em tais ambientes é promissora devido à diversidade de dispositivos e interações envolvidas. A implementação do MAS envolve agentes estrategicamente organizados que percebem o ambiente e agem com base em objetivos definidos [5], [6]. A conectividade busca uma sinergia entre colaboração, comunicação e cognição em sistemas verticais complexos que reúnam tecnologias de vários domínios [7], [8]. Conceitos derivados de 5G e 6G guiam a pesquisa atual em telecomunicações. Isso estabelece um framework de comunicação IoRT em três domínios: Edge, Nevoeiro e Cloud. O Edge processa dados mais próximos dos dispositivos, enquanto o Nevoeiro lida com processamento de dados mais robusto abaixo da nuvem [9].

2. Internet das Coisas Robóticas

O tema é particularmente multidisciplinar, exigindo a integração de diversos conhecimentos para desenvolver uma solução eficaz. Como observado por [10], a alta heterogeneidade dos componentes desses sistemas requer expertise em várias áreas. Além disso, [3] destaca que, com o avanço das tecnologias, surgem novos conceitos, refletindo tanto a evolução das aplicações quanto a necessidade constante de inovação. Este cenário requer uma base teórica bem estruturada e um desenvolvimento faseado, proporcionando uma organização sólida e coerente para o projeto. As transformações tecnológicas têm impulsionado a criação de serviços inteligentes, essenciais para o avanço social e científico, visando melhorar a qualidade de vida com soluções digitais personalizadas [11]. Na década de 1990, a robótica em rede surgiu para integrar robôs em uma rede, expandindo suas funcionalidades.

Com o tempo, suas limitações levaram ao desenvolvimento da robótica em nuvem, permitindo a distribuição de sensores, processamento e memória, sem a necessidade de que estivessem em um único sistema [2]. No entanto, os desafios permanecem na interoperabilidade, heterogeneidade, latência, segurança, gerenciamento de robôs, infraestrutura, QoS e padronização, características que são o foco do trabalho na IoT. Os avanços na IoT permitiram o surgimento de sistemas ciberfísicos (SCP), nos quais robôs, software e sensores cooperam para alcançar objetivos comuns [10]. A IoRT emerge nesse contexto, ampliando o que a IoT já alcançou, com dispositivos inteligentes, móveis e autônomos, interagindo em diferentes setores [3]. Este cenário de IoRT permite que robôs

modernos compartilhem grandes volumes de dados e conhecimentos, melhorando mutuamente as habilidades e superando limitações da robótica tradicional [11].

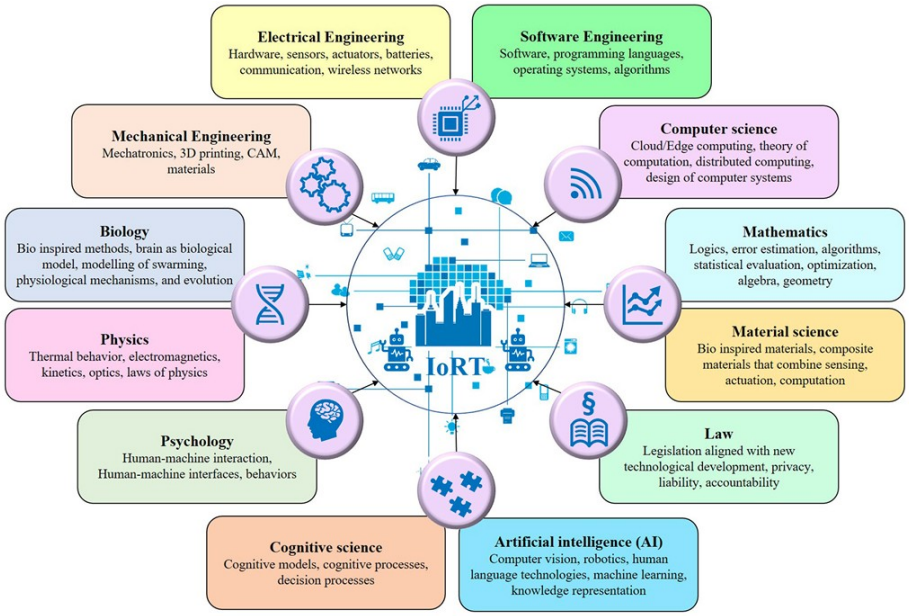

Figura 1. IoRT - campo interdisciplinar. Fonte: [3].

O avanço da inteligência artificial permitiu que as coisas robóticas operassem com algoritmos de aprendizagem e tomada de decisão cognitiva, além da integração da IoRT com diversos campos científicos, como ilustrado na Figura 1 [3]. Os sistemas IoRT estão a tornar-se essenciais em sectores como a indústria, os cuidados de saúde e a educação, bem como em domínios como o entretenimento e o turismo [11]. A expansão da IoT para IoRT envolve a virtualização da computação em nuvem e o design flexível de robôs, sendo central a convergência tecnológica, trazendo desafios e oportunidades [12], [3]. A cooperação e a confiabilidade entre dispositivos robóticos são fundamentais para sua operação eficiente. A IoRT requer uma abordagem arquitetural multidimensional para gerenciar suas diversas tarefas, com características como sensoriamento, atuação, controle e cognição [2]. As capacidades de IoRT incluem sensoriamento, localização, pensamento, conexão, colaboração, aprendizagem e atuação [3].

A arquitetura IoRT pode ser modelada de diferentes formas, como a arquitetura de 4 camadas proposta por [13], que inclui elementos físicos, redes e infraestrutura, aplicações e serviços e processos de negócios. Em sua modelagem, [1] destaca aspectos como atuar como serviço, percepção combinada com modelagem de conhecimento e cognição distribuída. As principais funções da IoRT incluem os Serviços de Interação Robótica (Robótica Interaction Services) e a Interação Homem-Robot (HRI) [1]. A interação entre dispositivos robóticos e sociais é reforçada pela rede de interação entre eles, criando novas soluções inovadoras [14]. A

presença maciça de dispositivos IoRT traz desafios de atualização e manutenção, e o uso de Gêmeos Digitais tem se mostrado útil para melhorar os dispositivos em ambientes virtuais, como descrito por [15], [11]. O Digital Twin conecta módulos físicos às suas versões virtuais, exigindo uma estrutura de rede robusta para o seu funcionamento [16].

Espera-se que a IoRT forneça redes robóticas mais inteligentes, colaborativas, heterogêneas, eficientes, autoadaptativas, conscientes do contexto e ainda mais baratas. Com base na evolução apresentada, as características da IoRT aumentam a relação entre robótica, internet das coisas e computação em nuvem. Isto permite dividir o trabalho em três áreas [3]:

O primeiro é sobre robótica, que é aplicada na borda (rede local) e define requisitos como movimento, interação e manipulação.

A segunda área é sobre a internet das coisas e define todas as conexões entre os dispositivos locais além do raciocínio semântico sobre os dados.

A terceira área é a computação em nuvem. Define serviços remotos, possibilitando virtualização de recursos, elasticidade e multilotação. Na IoRT, robôs cooperam em sistemas multi-robôs, que integram vários agentes que operam no mesmo ambiente. Os dispositivos utilizados podem ser classificados como sistemas ciberfísicos (SCP). Este tipo de aplicação caracteriza-se pela integração de dispositivos locais (físicos) com a internet (cyber). O CPS ajuda a melhorar com o trabalho de IoT. Tecnologias robóticas modernas são fundidas com computação em nuvem e redes, integrando protocolos CPS e IoT para desenvolver novas tecnologias. Dispositivos inteligentes podem monitorar eventos, mesclar dados de sensores de várias fontes e usar inteligência local e distribuída para determinar o melhor curso de ação. O crescimento exponencial no domínio semicondutor resultou em uma expansão de padrões para o uso de sistemas de processadores baseados em sensores. Esses sistemas habilitados com tecnologias de comunicação avançadas (Bluetooth, Wi-Fi, 4G, 5G, etc.) convergem na tecnologia IoT.

A IoT é incrivelmente abrangente, o que torna a integração com computação em nuvem importante devido à quantidade de dados que podem ser gerados e à necessidade de usar recursos virtuais e capacidade de armazenamento. Assim, é possível obter vários usos com os dados gerados pela IoT e desenvolver diversas aplicações inteligentes para usuários. Ao otimizar os serviços de rede, a relação IoT-Cloud permite um modelo avançado de serviços, para um sistema multi-robô, que pode ser rapidamente fornecido e lançado com o mínimo esforço de gestão. Isso diminui os problemas de conectividade de dispositivos heterogêneos centrados no usuário, pois permite uma interação fácil com os provedores de serviços. A IoT é composta por objetos físicos como sensores, software, eletrônicos e uma conexão de rede que

permite coletar e referenciar dados. Dentre suas características e exigências gerais, destaca-se a heterogeneidade e escalabilidade, dada a imposição de que é um sistema complexo e dinâmico.

Na computação em nuvem, existem dois conceitos muito importantes: escalabilidade e virtualização. Caracteriza-se como um tipo de computação que se baseia na internet e fornece recursos de compartilhamento e processamento de dados para computadores e outros dispositivos sob demanda.

3. Conexão remota e cenário além do 5G

A evolução da IoRT envolve robôs autônomos colaborando em redes inteligentes, realizando funções como sensoriamento, manipulação e comunicação, exigindo redes robustas e interoperáveis capazes de suportar dispositivos heterogêneos com diferentes níveis de inteligência [3]. A IoRT opera nas regiões de comunicação Edge, Fog e Cloud, com os dados de processamento da Edge mais próximos dos dispositivos, enquanto a Fog processa dados mais robustos abaixo da nuvem [9], [17]. A computação de nevoeiro estende as capacidades da nuvem até a borda, permitindo que as aplicações IoRT lidem com grandes conjuntos de dados [3]. 5G expande a conectividade e a capacidade de recursos distribuídos, permitindo sistemas verticais de ponta a ponta, como destacado por [17], [7], e [18]. 5G é organizado em três cenários principais: eMBB (banda larga móvel melhorada), mMTC (comunicações de tipo de máquina massiva) e URLLC (Ultra Confiável Comunicações de baixa latência), cada um com diferentes capacidades e focos de latência [19], [20].

A pesquisa 6G visa alcançar velocidades extremamente elevadas de dados e transferência instantânea, bem como melhorar a cognição e colaboração através da inteligência artificial [8]. As redes 6G serão baseadas em bordas para apoiar aplicações emergentes e exigirão adaptação autônoma [16]. A IoRT também enfrenta desafios de conectividade em modelos de implantação distribuídos, exigindo o desenvolvimento de novos métodos de orquestração para distribuir a carga energética e reduzir os requisitos de energia [3]. A computação osmótica, como descrito por [21], surgiu para servir ambientes distribuídos, possibilitando a implantação automática de microserviços interligados na borda e na nuvem, o que facilita a escalabilidade de soluções tecnológicas [22].

4. Sistemas multiagente

Ao abordar sistemas multiagentes, [23] define o conceito de multiagentes pela sigla PAGE, onde P = Percepções, A = Ações, G = Objetivos e E = Ambiente. Uma entidade, humana ou artificial, imersa em um ambiente físico ou virtual, caracteriza-se pela capacidade de perceber o ambiente, interagir com ele, definir metas e tomar decisões para alcançá-lo. [24] complementam, afirmando que sistemas multiagentes são compostos por agentes autônomos que interagem entre si e com o ambiente para resolver problemas de forma distribuída. Cada agente pode perceber, decidir e agir, promovendo uma estrutura descentralizada que facilita flexibilidade, escalabilidade e resiliência. Ao integrar múltiplas entidades numa solução de IoRT, a interoperabilidade é um aspecto essencial, como mencionado por [3]. Destacam que a interoperabilidade é crucial para criar serviços interdomínios que suportem o movimento dinâmico dos dispositivos físicos e o intercâmbio, armazenamento e processamento de informações entre eles.

Superar os desafios de interoperabilidade é essencial para o sucesso das soluções de IoRT, favorecendo também o desenvolvimento de estruturas de interoperabilidade federadas entre plataformas. [25] propõem uma abordagem de verificação em tempo de execução para aumentar a segurança e confiabilidade em sistemas multiagentes, especialmente em contextos com interações complexas entre outros agentes e humanos. Entre os principais desafios está a interoperabilidade. Observam que a verificação tradicional é dificultada pelo número de estados e interações possíveis, exigindo uma abordagem leve e eficiente para monitorar em tempo real. Em estudo de caso sobre alocação de leito hospitalar, a abordagem demonstrou a capacidade de monitorar mensagens e garantir que os agentes sigam rigorosos protocolos de comunicação. Finalmente, [5] definem um modelo multiagente para Ambient Assisted Living (AAL), baseado em uma infraestrutura de comunicação M2M que facilita a integração de robôs e agentes humanos.

Este modelo utiliza o conceito de "indistinguibilidade", permitindo a seleção automática de agentes com capacidades mínimas equivalentes, dependendo da tarefa ou objetivo. Eles identificam seis papéis de agentes em sistemas AAL: Agente de Contexto (obtém informações), Agente Assistivo (apoia outros agentes), Agente Verdadeiro (recebe assistência), Agente com Capacidades de Liderança (dá instruções), Agente Fonte (inicia o processo) e Agente Destino (termina o processo). Assim, a heterogeneidade dos sistemas multiagentes requer a definição de padrões de comunicação e a compreensão das capacidades dos agentes, sejam eles físicos ou virtuais, para promover a efetiva interoperabilidade. Além disso, como discutido anteriormente,

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

uma organização robusta da rede física local é crucial para garantir uma transmissão eficiente de dados em ambientes com alta densidade de dispositivos conectados.

5. Computação sensível ao contexto

Na proposta apresentada por [5], uma das funções atribuídas aos agentes é o contexto. De acordo, [3] destaca que o conceito de contexto na IoRT é fundamental, envolvendo informações que caracterizam a situação das entidades, como localização, status, tempo e identidade. Como discutido por [1], a percepção na IoRT depende diretamente do contexto. De acordo com [4], a computação consciente do contexto evoluiu rapidamente devido aos avanços em sensores de baixo custo, dispositivos de computação e redes de comunicação sem fio. Esta evolução transformou a computação consciente do contexto em uma abordagem aplicável, permitindo a criação de serviços de alto nível em ambientes inteligentes, que permitem interações multimodais e assistência personalizada com reconhecimento de atividade baseado em ontologia. A capacidade de reconhecer atividades é essencial para ambientes conscientes do contexto, pois fornece as informações necessárias para o comportamento inteligente desses ambientes, e é apoiada por modelagem de contexto específica.

[26] propõem uma abordagem semântica para IoRT, integrando dados de sensores heterogêneos em representações simbólicas de alto nível. Essa abordagem possibilita raciocínio baseado na lógica de primeira ordem e abstrai dados de baixo nível em estruturas de conhecimento que representam o contexto. A Figura 2 resume a proposta. A arquitetura de uma plataforma IoRT semântica envolve uma Plataforma Sensor e Atuador que abstrai o acesso a sensores e atuadores. A camada Raciocínio Simbólico interpreta entidades de contexto com base em dados coletados por sensores e, a partir do domínio conhecimento representado em ontologias e regras, gera ações relevantes. Essas ações são então decodificadas para gerar comandos reais para os atuadores, permitindo uma resposta informada e contextualizada do sistema.

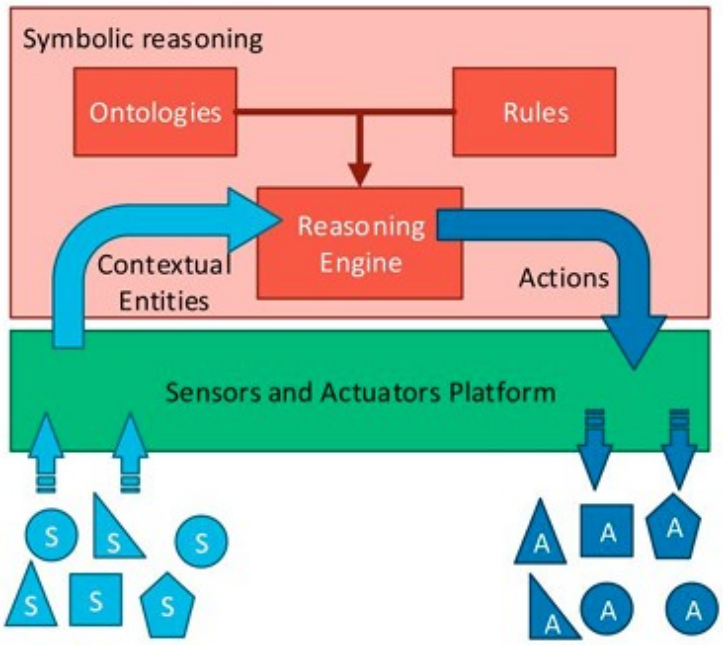

Figura 2. Arquitetura semântica de IoRT. Fonte: [26].

6. A plataforma IoRT

A concepção de uma plataforma IoRT, de acordo com [3], deve oferecer flexibilidade, escalabilidade, usabilidade, interoperabilidade e diferentes níveis de inteligência. Os elementos essenciais para a plataforma incluem: dispositivos e recursos físicos, virtualização, gerenciamento de dados, representação semântica, segurança, rede, interfaces abertas, análise de dados, aprendizado de máquina, ferramentas de desenvolvimento padronizadas e o fluxo de informações entre as camadas da arquitetura. Na solução proposta por [22], destaca-se a necessidade de um middleware local, que funciona como uma camada de abstração intermediária, conectando diferentes camadas. O middleware facilita a aquisição e processamento de dados através de APIs de alto nível. Os autores notam que middleware desenvolvido para a nuvem não lida bem com computação de borda, o que justifica a implementação de soluções locais. Eles também afirmam que o uso de microservices oferece escalabilidade, acelera o desenvolvimento e reduz o tempo para implementar inovações.

Finalmente, [27] argumentam que uma arquitetura cognitiva pode ser um sistema de controle inspirado na cognição humana e animal, funcionando tanto como um modelo teórico quanto como um quadro computacional reutilizável. Essas arquiteturas têm sido amplamente aplicadas em áreas como robótica, jogos, interação humano-máquina e processamento de linguagem natural. Além disso, os autores discutem a Teoria do Processo Duplo, que sugere a existência de dois sistemas cognitivos: o Sistema 1, rápido e automático, e o Sistema 2, que é

deliberativo e consciente, com capacidade limitada e pode inibir as respostas automáticas do Sistema 1.

7. Conclusões

No geral, a IoRT está preparada para impulsionar a inovação em ambientes autônomos e inteligentes, fornecendo soluções escaláveis, flexíveis e adaptáveis. O seu potencial para transformar as indústrias e melhorar a qualidade de vida sublinha a importância da continuação da investigação e desenvolvimento neste domínio multidisciplinar.

Referências

[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