Llopis, J. A., Fernández García, A. J., Criado, J., Iribarne, L.: Un sistema multiagente para el descubrimiento federado en la WoT. In: Cetina, C. (ed.) Actas de las XXX Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2026). Sistedes (2026). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2026/43

Un sistema multiagente para el descubrimiento federado en la Web de las Cosas

Juan Alberto Llopis[1], Antonio Jesús Fernández-García[1], Javier Criado[1], Luis Iribarne[1]

Grupo de Informática Aplicada, TIC-211, Universidad de Almería, Almería, España
{jalbertollopis, ajfernandez, javi.criado, luis.iribarne}@ual.es

Resumen La búsqueda de sistemas ciberfísicos ha evolucionado desde enfoques centralizados hacia entornos distribuidos con múltiples nodos de descubrimiento. Sin embargo, las soluciones actuales presentan limitaciones en escenarios federados, especialmente en la adaptación dinámica entre dominios y en la integración de consultas en lenguaje natural orientadas al usuario. En este trabajo se propone un sistema multiagente para el descubrimiento federado en la Web de las Cosas, donde cada nodo puede incorporar un agente propio o conectarse a servicios de agentes externos. Estos agentes proporcionan soporte a consultas en lenguaje natural y mejoran progresivamente su comportamiento mediante aprendizaje a partir de las interacciones. Además, los agentes se coordinan entre los distintos nodos de la federación para optimizar la resolución de consultas, recomendando los nodos más relevantes y reduciendo el recorrido de las peticiones. Finalmente, el sistema será evaluado mediante métricas de rendimiento y comparado con propuestas existentes en la Web de las Cosas basadas en modelos de deep learning.

Keywords: Sistema multiagente · Federación · Servicio de descubrimiento · Web de las Cosas

1. Introducción

En los últimos años, la evolución de la Web de las Cosas (WoT) ha impulsado la integración de dispositivos heterogéneos en entornos distribuidos mediante estándares web, concretamente mediante las recomendaciones del World Wide Web Consortium (W3C). Este enfoque ha permitido que los dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) puedan ser descritos, descubiertos y utilizados mediante tecnologías web basadas en interfaces RESTful, favoreciendo la creación de ecosistemas interconectados y escalables en ámbitos como las ciudades inteligentes, los hogares inteligentes, los invernaderos automatizados o la industria 4.0. No obstante, los mecanismos actuales de descubrimiento en la WoT presentan limitaciones en arquitecturas distribuidas o federadas en las que coexisten múltiples dominios con distintos métodos de interacción. Además, el usuario desempeña un papel activo en el proceso de consulta y toma de decisiones, siguiendo el enfoque Human-in-the-Loop (HITL).

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional”.

Las soluciones más avanzadas en el campo de la WoT incluyen sistemas de búsqueda sintáctica orientados a un bajo consumo de recursos computacionales [6,1] y sistemas de búsqueda semántica basados en RDF [3]. Estas propuestas abordan el descubrimiento de dispositivos WoT en entornos centralizados y, en algunos casos, como WoTHive [3], permiten el descubrimiento entre dos nodos. Sin embargo, no existen soluciones federadas capaces de adaptarse dinámicamente a múltiples dominios. Además, los sistemas actuales no incorporan de forma nativa la interacción con el usuario como parte del proceso de descubrimiento.

En resultados de investigación anteriores se propuso una solución parcial a estas limitaciones mediante WoTtrader [5], un servicio de descubrimiento federado para la WoT con capacidad para resolver consultas en lenguaje natural mediante modelos de inteligencia artificial (IA) basados en el algoritmo Transformer. No obstante, WoTtrader carece de mecanismos adaptativos que le permitan adaptarse a distintos entornos inteligentes. Esto dificulta la integración de múltiples dominios, como campus inteligente y salud inteligente, en un mismo escenario.

Para superar estas limitaciones, la presente propuesta introduce una arquitectura basada en agentes de IA orientada al descubrimiento adaptativo de dispositivos WoT en entornos inteligentes federados, con capacidad de procesamiento de lenguaje natural y de aprendizaje continuo.

2. Propuesta

La propuesta presentada en este artículo es una continuación de WoTtrader [5]. Su arquitectura se muestra en la Figura 1, que amplía la propuesta original de WoTtrader incorporando un sistema multiagente con capacidades de aprendizaje y adaptación distribuidas. Los agentes, basados en modelos de lenguaje, actúan como entidades autónomas y colaborativas que interpretan consultas, recomiendan dispositivos y coordinan la interacción entre nodos. Aprenden del contexto y optimizan las estrategias de búsqueda tanto dentro de un nodo como entre múltiples nodos federados. A medida que reciben y resuelven consultas, amplían su base de conocimiento para adaptarse a los usuarios; por ejemplo, marcando como correctas aquellas consultas resueltas que no vuelven a repetirse en mensajes posteriores. Además, pueden operar sin depender del resto de agentes desplegados. Esta autonomía permite que el sistema de descubrimiento funcione de manera independiente, incluso cuando algún agente no está activo.

Su capacidad de colaboración posibilita la especialización en tareas concretas y el intercambio de resultados, lo que puede aumentar la eficiencia global de los procesos de consulta. Asimismo, los agentes pueden analizar patrones de consulta e inferir relaciones semánticas entre dispositivos y nodos. También pueden priorizar nodos según métricas como disponibilidad, latencia o relevancia contextual. De este modo, se introduce una capa de inteligencia distribuida sobre los mecanismos tradicionales de descubrimiento. De esta manera, los agentes no solo ayudan en el descubrimiento de dispositivos en un nodo, sino que también apoyan al sistema de delegación de consultas en la elección de nodos durante el envío de peticiones en la federación.

Llopis, J. A., Fernández García, A. J., Criado, J., Iribarne, L.: Un sistema multiagente para el descubrimiento federado en la WoT. In: Cetina, C. (ed.) Actas de las XXX Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2026). Sistedes (2026). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2026/43

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional”.

La propuesta se divide en dos tipos de sistema: (a) sistemas con un único nodo de descubrimiento y (b) sistemas federados de descubrimiento con múltiples nodos. La primera parte de la propuesta está formada por un único nodo de descubrimiento conectado a un agente desplegado en un nodo de procesamiento local, como una estación de trabajo para IA. Esta arquitectura permite estudiar el rendimiento y la precisión del uso de agentes en el descubrimiento de dispositivos, comparándolo con enfoques basados en consultas sintácticas, semánticas y de procesamiento del lenguaje natural mediante modelos de deep learning. Además, se permite la conexión del servicio de descubrimiento con servicios de agentes de IA externos al sistema, basados en modelos de lenguaje (LLM), como GPT, Gemini o Grok. El soporte a sistemas de agentes locales y a sistemas de agentes externos facilita el uso de esta propuesta en escenarios donde la privacidad es un factor determinante y en escenarios donde no se disponen de recursos para el despliegue de agentes locales.

La segunda parte de la propuesta amplía la arquitectura incorporando la coreografía de agentes en el descubrimiento de dispositivos. Los agentes pueden estar desplegados de manera distribuida, utilizando nodos de procesamiento locales por cada nodo de descubrimiento, o de manera centralizada, haciendo uso del mismo sistema de agentes para todos los nodos. En esta segunda arquitectura, los agentes recomiendan dispositivos de su propio directorio. Si no encuentran una solución adecuada, facilitan la delegación de consultas a otros nodos de la federación. La delegación mediante agentes se basa en recomendar nodos de la federación que puedan albergar el dispositivo solicitado; para ello, los agentes disponen de la capacidad de coordinarse entre sí. Esto supone el uso de roles en el sistema de agentes, donde exista un coordinador o agente principal que gestione la comunicación y el envío de información entre los agentes. Sin embargo, durante el desarrollo de esta arquitectura hay que tener en consideración situaciones como el fallo del agente principal, el uso de nodos de terceros o el uso de nodos con información restringida por la privacidad de los datos.

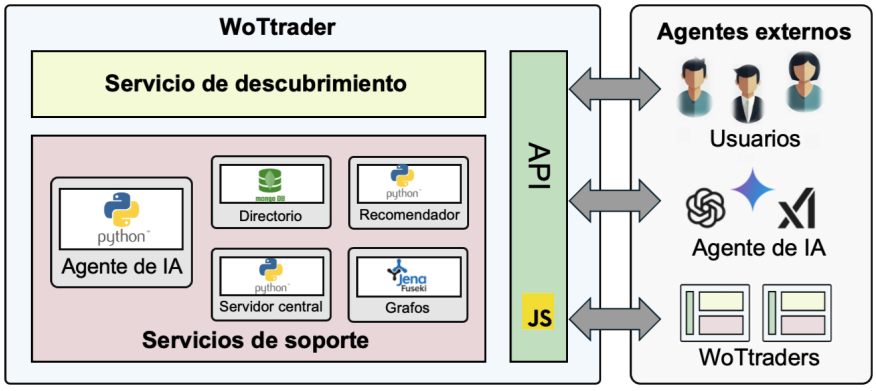

Figura 1. Arquitectura de WoTtrader.

Llopis, J. A., Fernández García, A. J., Criado, J., Iribarne, L.: Un sistema multiagente para el descubrimiento federado en la WoT. In: Cetina, C. (ed.) Actas de las XXX Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2026). Sistedes (2026). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2026/43

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional”.

3. Conclusiones

En este trabajo se presenta una federación de servicios de descubrimiento para la Web de las Cosas apoyada por agentes de IA. Los agentes ayudan en el descubrimiento de dispositivos en el directorio, dando soporte a consultas sintácticas, semánticas y mediante lenguaje natural. Además, los agentes pueden coordinarse con otros servicios de descubrimiento para apoyar el sistema de delegación de consultas entre los nodos de una federación.

Desde la perspectiva del estado del arte, la aplicación de técnicas de inteligencia artificial multiagente distribuida al descubrimiento federado de dispositivos IoT constituye una línea de investigación emergente y poco explorada. Aunque la literatura presenta aproximaciones iniciales para la integración de agentes en sistemas IoT, su aplicación directa al descubrimiento semántico y federado en el contexto de la WoT sigue siendo un reto [2,4]. Esta propuesta se diferencia al proponer una federación multiagente de servicios de descubrimiento, en la que los agentes pueden comunicarse para compartir conocimiento sobre la semántica de los nodos y dispositivos WoT disponibles, así como mejorar progresivamente sus estrategias mediante técnicas de aprendizaje por refuerzo.

Como parte de la planificación de esta propuesta, se pretende desplegar un agente de IA como soporte para el descubrimiento en un solo nodo. Finalmente, se desplegará la arquitectura federada y se evaluará en distintas topologías mediante métricas como precisión, tiempo de respuesta y nodos visitados.

Agradecimientos Proyecto PID2021-124124OB-I00 financiado por el Gobierno de España MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y "ERDF A way of making Europe".

Referencias

1. Aguzzi, C., Gigli, L., Zyrianoff, I., Roffia, L.: ZION: A Scalable W3C Web of Things Directory. In: IEEE 21st Consumer Communications & Networking Conference (CCNC). pp. 1–6 (2024). https://doi.org/10.1109/CCNC51664.2024.10454685
2. Binkert, R., Salama, F., Korkan, E., Käbisch, S., Steinhorst, S.: Interoperable Cyber-Physical Multi-Agent Systems Through Web of Things. In: Web Engineering: 25th International Conference (ICWE). pp. 312–326. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (2025). https://doi.org/10.1007/978-3-031-97207-2_24
3. Cimmino, A., García-Castro, R.: Wothive: enabling syntactic and semantic discovery in the web of things. Open Journal of Internet Of Things (OJIOT) **8**(1), 54–65 (2022)
4. Harrabi, Ameni and Hassen, Hamdi and Alsulbi, Khlil Ahmad and Zouai, Meftah: IoT Environment Based on Multi Agent System in Smart Home. In: 38th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). pp. 415–426. Springer Nature Switzerland (2024). https://doi.org/10.1007/978-3-031-57931-8_40
5. Llopis, J.A., Iribarne, L., Criado, J., Ayala, R.: WoTtrader: A trading service for the Web of Things. Internet of Things **34**, 101784 (2025). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101784
6. Tavakolizadeh, F., Devasya, S.: Thing Directory: Simple and lightweight registry of IoT device metadata. Journal of Open Source Software **6**(60), 3075 (2021). https://doi.org/10.21105/joss.03075

Llopis, J. A., Fernández García, A. J., Criado, J., Iribarne, L.: Un sistema multiagente para el descubrimiento federado en la WoT. In: Cetina, C. (ed.) Actas de las XXX Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2026). Sistedes (2026). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2026/43

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons "Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional".