

Sistemas multiagente: componentes, frameworks y flujo de trabajo

1st Bryan Mendoza

Facultad de Ingeniería

Universidad de Cuenca

Cuenca, Ecuador

bsteven.mendoza7@ucuenca.edu.ec

Abstract—Este artículo ofrece una revisión completa de los principales componentes, la estructura funcional y el flujo de trabajo operativo de los Sistemas Multiagentes (MAS), proponiendo el modelo FC-MAS como un framework que permite unificar y simplificar el diseño de arquitecturas MAS. El modelo identifica cinco capas abstractas, que en conjunto permiten el diseño y operación sistemática de MAS en diversos dominios. Además, se presenta un flujo de trabajo para guiar la implementación de estos sistemas y se analizan dos casos de aplicación, un sistema multirrobot para transporte de carga y el control de frecuencia en sistemas eléctricos de potencia. Además, plantea líneas futuras de investigación como mejorar la estandarización, robustez y resiliencia de los MAS.

Keywords—Multi-Agent Systems, MAS, framework, componentes, workflow, flujo de trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

El avance acelerado de tecnologías como la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT), el aprendizaje automático y los sistemas ciberfísicos ha propiciado una creciente necesidad de coordinar múltiples componentes dentro de sistemas cada vez más complejos. En este escenario, los Sistemas Multiagente (MAS) emergen como una solución poderosa, capaz de integrar agentes autónomos que colaboran entre sí para alcanzar objetivos comunes.

A pesar de los beneficios, la implementación de MAS representa un desafío, en parte debido a la falta de frameworks estandarizados que permitan organizar y clasificar adecuadamente sus componentes. En respuesta a esta necesidad, el artículo revisado propone el modelo FC-MAS, que organiza los elementos funcionales de un MAS en cinco capas jerárquicas, facilitando su análisis, diseño e implementación. Además, se sugiere un flujo de trabajo para guiar paso a paso la construcción y operación efectiva de estos sistemas.

II. DESARROLLO

Un agente es una entidad autónoma, con capacidades sensoriales y de actuación, que toma decisiones basadas en objetivos locales y/o globales. La interacción entre los agentes se da dentro de un entorno definido, que puede ser físico o lógico, y cuyas condiciones influyen en las decisiones y comportamientos de los agentes. El artículo hace una distinción entre los objetivos globales del sistema, que definen su propósito general, y los objetivos locales de cada agente, que, si bien

son independientes, deben alinearse para contribuir al éxito del sistema.

Los autores identifican una necesidad de taxonomías comunes que permitan integrar conocimientos de diversas disciplinas. Se presentan términos clave como organización (centralizada, descentralizada, jerárquica), tipos de algoritmos (consenso, IA, enjambre, teoría de juegos, aprendizaje automático), comunicación (frecuencia, retardo, lenguaje), y entornos de simulación (JADE, ROS, MATLAB, GAMA), todos ellos esenciales en el análisis de MAS.

III. FC-MAS (FRAMEWORK-COMPONENTS IN MULTI-AGENT SYSTEM)

El framework FC-MAS propuesto divide la estructura funcional de un MAS en cinco capas.

- 1) **Red física:** Incluye los nodos (agentes) y los enlaces de interacción.
- 2) **Sincronización:** Abarca el intercambio de información, formación de coaliciones, asignación de tareas y mecanismos de consenso.
- 3) **Controlador de red:** Regula el comportamiento de los agentes (nodos), algoritmos de control y arquitecturas de decisión (centralizada, distribuida o híbrida).
- 4) **Evaluación:** Se encarga del análisis de datos, monitoreo del cumplimiento de objetivos, detección de desviaciones y toma de decisiones.
- 5) **Tolerancia a fallos:** Incluye robustez, detección de fallas y resiliencia para mantener el sistema operativo ante eventos adversos.

A. Validación del framework

Para validar la aplicabilidad del modelo, se analiza dos casos de estudio.

El primero acerca de un sistema multirrobot terrestre utilizado para el transporte de cargas, en donde el conjunto de robots coopera para transportar las cargas. Utilizan sensores, algoritmos de consenso y arquitectura de control distribuido. La detección de fallos y la capacidad de reasignación de tareas garantizan la eficiencia del sistema. Se detalla a profundidad cómo cada componente del FC-MAS se adapta a las necesidades de este sistema.

El segundo caso de estudio es el sistema de control de frecuencia en sistemas eléctricos de potencia (PS), donde el control primario es distribuido y el secundario es centralizado, formando una arquitectura híbrida, reflejando la complejidad de integrar MAS en sistemas críticos. Se utilizan enlaces físicos (líneas de transmisión) y lógicos (comunicaciones). El modelo FC-MAS permite entender cómo se sincronizan las acciones de los generadores y se detectan y corrigen desequilibrios de potencia.

En ambos casos, el modelo FC-MAS sirve para identificar los elementos esenciales y estructurar su implementación de forma ordenada.

IV. FLUJO DE TRABAJO

En cuanto al flujo de trabajo, se propone una metodología secuencial para implementar un MAS, adaptable a arquitecturas centralizadas o distribuidas. Y tiene las siguientes etapas:

- **Fase de Inicialización:** Esta etapa establece los fundamentos operativos del sistema. Comienza con un inventario de recursos, donde se catalogan agentes disponibles (número, tipo, capacidades), infraestructura de comunicación (ancho de banda, protocolos), recursos computacionales (potencia de procesamiento local/central), y restricciones energéticas (autonomía de baterías en robots o generadores). Posteriormente, se realiza la configuración de agentes, inicializando parámetros locales y estableciendo conexiones seguras mediante handshakes criptográficos. Finalmente, se define el objetivo global mediante especificaciones formales: en sistemas de transporte multi-robot podría ser "optimizar rutas para mover 100 kg de carga en menos de 10 minutos con un 95% de confiabilidad", mientras en redes eléctricas sería "mantener frecuencia en 60 Hz $\pm 0.05\%$ ante fluctuaciones de carga del 15%". Esta fase es crítica en arquitecturas distribuidas, donde cada agente debe autocalibrarse según su rol.
- **Fase de Supervisión:** Funciona como el sistema nervioso central del MAS, combinando monitoreo jerárquico y toma de decisiones adaptativa. En el monitoreo en tiempo real, sensores embebidos (GPS, LIDAR, PMUs) capturan variables locales como posición, temperatura, frecuencia eléctrica, que se agregan en dashboards globales mediante herramientas como SCADA o Apache Kafka. Aquí, los algoritmos de análisis de streaming detectan anomalías. Simultáneamente, la toma de decisiones evalúa escenarios mediante funciones costo-beneficio, si un robot falla durante transporte, un módulo basado en teoría de juegos calcula en milisegundos si es óptimo redistribuir su carga entre vecinos o activar un agente de reserva. En arquitecturas centralizadas, esta fase la gestiona un maestro; en distribuidas, algoritmos como consenso de promedio ponderado permiten a los agentes auto-organizar respuestas.
- **Fase de Control:** Transforma decisiones en acciones físicas mediante tres subprocesos encadenados.

- La generación de órdenes, en sistemas centralizados, un centro de control calcula setpoints de generación resolviendo ecuaciones de despacho económico; en sistemas distribuidos, agentes negocian órdenes mediante contratos inteligentes basados en blockchain.
- La ejecución distribuida, donde actuadores convierten señales digitales en acciones físicas, válvulas proporcionales regulan flujo de vapor en turbinas, motores BLDC ajustan velocidad en ruedas de robots, o inversores modulan potencia en fuentes renovables.
- El cierre del ciclo mediante retroalimentación, donde los sensores validan que las acciones ejecutadas alineen el sistema con sus objetivos. Si se detectan desviaciones mayores a un umbral configurable, el flujo retorna a la fase de supervisión para reoptimización.

Finalmente, se plantea varios temas futuros de investigación como: una mayor exploración de componentes esenciales, estandarización de terminología en distintas disciplinas, y la validación del modelo FC-MAS en contextos más amplios. El trabajo resulta valioso para investigadores y profesionales de la ingeniería interesados en diseñar sistemas complejos, ya que proporciona tanto una base teórica sólida como herramientas prácticas para el análisis, diseño e implementación de sistemas multiagente.

V. CONCLUSIÓN

El artículo ofrece una visión integral de los MAS, resaltando la importancia de estructurarlos mediante componentes claramente definidos. La propuesta del modelo FC-MAS representa una importante contribución al campo, ya que permite estandarizar y facilitar el diseño de estos sistemas para aplicaciones en ingeniería, robótica, sistemas eléctricos, salud, transporte, entre otros.

Debido a su organización jerárquica y modular, el modelo permite describir desde sistemas simples hasta arquitecturas altamente complejas, promoviendo así la reutilización de conceptos y la escalabilidad. El flujo de trabajo propuesto añade un enfoque práctico para guiar la implementación y operación eficiente de MAS.

REFERENCES

- [1] D. Maldonado, E. Cruz, J. Abad Torres, P. J. Cruz, and S. d. P. Gamboa Benitez, "Multi-agent systems: A survey about its components, framework and workflow," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 80950–80975, 2024.