

## **Aplicación de Agentes en Sistemas de Automatización de la Fabricación**

**Antonio José Calderón Godoy<sup>1</sup>, Andrés García Higuera<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06071 Badajoz (Extremadura). [ajcalde@unex.es](mailto:ajcalde@unex.es)

<sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Castilla-La Mancha, 13071 Ciudad Real (Castilla-La Mancha). [Andres.Garcia@uclm.es](mailto:Andres.Garcia@uclm.es)

### **Resumen**

*En este trabajo se aborda la aplicación de las soluciones orientadas a agentes en la integración de los sistemas de automatización de plantas industriales. Por un lado se señalan las ventajas que trae consigo la aplicación de los Sistemas Multi-Agente (MAS) en los sistemas de fabricación actuales y cuáles son las metodologías orientadas a agentes en desarrollo más importantes. Por otro lado se trata el proceso de agentificación de los sistemas de automatización de plantas industriales sin perder de vista el componente tecnológico donde se implementará el agente, por lo general un Autómata Programable Industrial (API) o Controlador Lógico Programable (PLC).*

**Palabras clave:** Fabricación basada en agentes, sistemas de automatización, agentes tecnológicos

### **1. Fabricación basada en agentes**

En la actualidad, los sistemas productivos se ven sometidos a un aumento de la complejidad, debido a los grandes requerimientos de flexibilidad y capacidad. Aunque la mecanización y la automatización han hecho mucho para mejorar la eficiencia, aumentar la fiabilidad y reducir costes de producción, los sistemas tradicionales de fabricación tienden a ser poco flexibles, presentando graves problemas de robustez cuando son sometidos a perturbaciones en el entorno. Además, los conceptos de software para sistemas de automatización existentes con funcionalidad y arquitecturas estáticas no satisfacen estos requerimientos.

Durante los últimos años, los paradigmas en la ingeniería de la fabricación han ido cambiando hacia los sistemas de fabricación basados en agentes. La fabricación basada en agentes no es un campo de investigación con una visión única. Es más bien una colección de trabajos que propone mejorar el control existente en la infraestructura de las industrias con la ayuda de técnicas orientadas a agentes. Muchos trabajos, por ejemplo, se centran en el control de un sistema de fabricación flexible con el objetivo de alcanzar un sistema de control inteligente de fabricación.

Un sistema multiagente (MAS) está compuesto por múltiples componentes software interactuando entre sí, denominados agentes, que son capaces de cooperar para resolver problemas que van más allá de las capacidades de cada miembro individualmente. Estos subsistemas (agentes) se comunican unos con otros y reaccionan apropiadamente de acuerdo con esta información. Las dos propiedades básicas de un agente son la autonomía y la cooperación.

Los agentes pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes tipos: deliberativos, reactivos e híbridos, Wooldridge (1995). Los agentes deliberativos están caracterizados por su comportamiento orientado al objetivo final, representación del conocimiento y un modelo de razonamiento que le proporciona capacidad de anticipación. Los agentes reactivos no poseen esta representación interna del conocimiento y operan de manera estímulo-respuesta, teniendo como finalidad producir acciones robustas en contraste con los agentes deliberativos, cuyo objetivo es producir acciones óptimas. Los agentes híbridos combinan las mejores características de ambos, alcanzando respuestas rápidas y la generación de secuencias óptimas de acciones. En otras clasificaciones, a los agentes deliberativos se les denomina también agentes cognitivos.

Un tipo de agente cognitivo bien conocido es el basado en la arquitectura BDI (Belief-Desire-Intention), cuyo origen reside en la teoría del razonamiento práctico humano. Los componentes básicos de los agentes BDI son las estructuras de datos, que representan las creencias, deseos e intenciones del agente, y las funciones, que representan el proceso de deliberación, determinando que intención es la que se va a llevar a cabo y con qué medios, lo que aporta a estos agentes la capacidad de negociar e interactuar con otros agentes. Debido a estas características, este será el modelo utilizado para llevar a la práctica cada agente.

En un sistema multiagente, los agentes han de comunicarse unos con otros. Se hace, pues, necesaria la intervención de un lenguaje de Comunicación entre Agentes cuya finalidad sea hacer transparente el intercambio de datos entre agentes distribuidos. Un requisito básico es la estandarización de los mensajes utilizados durante la comunicación. Los dos lenguajes de comunicación más utilizados actualmente son: KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) y FIPA-ACL (Foundation for Intelligent Physical Agents – Agent Communication Language). FIPA es una organización formada en 1996 para producir estándares software, siendo FIPA-ACL el lenguaje de comunicación entre agentes especificado en esta organización. Ambos lenguajes son casi idénticos en cuanto a los conceptos y teoría de base, pero utilizan nombres diferentes para representar el tipo de comunicación y otras cuestiones. En los sistemas multiagente, la comunicación entre agentes cooperativos requiere un entendimiento común de los conceptos de su dominio de conocimiento. En este contexto se define el término ontología, como el vocabulario que se utilizará en la comunicación entre agentes, y el conocimiento relativo a estos términos. Este conocimiento incluye la definición de los conceptos, sus atributos, relaciones entre conceptos y restricciones.

Dentro de las metodologías que pueden utilizarse para definir los agentes en un sistema de fabricación, cabe destacar la metodología PROSA (Product, Resource, Order Staff Architecture) como una metodología enfocada a tales sistemas, Van Brussel (1998). El sistema PROSA consiste en identificar productos, recursos y órdenes de fabricación como agentes, que han de negociar entre sí a fin de obtener una solución satisfactoria para todos, englobándolos en distintos niveles de agentes o en el mismo, según proceda en cada caso. El primer paso de esta metodología consiste en la identificación de agentes y de sus responsabilidades en dicha aplicación específica. Después, vienen otros pasos como son la determinación del diseño del agente, su implementación y la operatividad del sistema.

## **2. Sistemas de control de la fabricación**

Un factor clave en los sistemas de producción automatizados es el control, siendo este término referido a dos estadios diferentes: alto nivel y bajo nivel. El bajo nivel se refiere a los dispositivos de automatización, tales como: PLC's, robots industriales, máquinas de control

numérico (CNC), vehículos autoguiados (AGV), en tanto que el control de alto nivel corresponde a la coordinación de los recursos de fabricación disponibles con el objetivo de producir o fabricar los productos deseados. El control de bajo nivel trata con el problema de la monitorización del progreso que sigue la producción del producto, cómo está siendo procesado, cómo es ensamblado, transportado e inspeccionado en la factoría. Es en éste último ámbito, donde se encuadra nuestro trabajo.

Los sistemas de fabricación son, típicamente, entornos heterogéneos, comprendiendo aplicaciones, tanto hardware como software, también heterogéneas. En estos entornos, en los tanto el conocimiento como las operaciones son distribuidas, los sistemas de fabricación deberían ser capaces de actuar cooperativamente para alcanzar objetivos comunes. Estos sistemas de fabricación deberían estar basados en componentes autónomos para hacer más fácil su organización en estructuras distribuidas, cooperativas y dinámicas. Además debiera ser expandible, mediante la adición de componentes, y reconfigurables, adaptándose dinámicamente a los cambios de configuración sin paradas en el proceso productivo.

El sistema de control de la fabricación deberá también proveer los mecanismos para integrar los distintos dispositivos utilizados en la automatización (PLC's, CNC, robots, etc).

En definitiva, dada la diversidad de productos y la volatilidad del mercado, se requiere un sistema flexible, altamente adaptable, que proporcione la posibilidad de introducir modificaciones en los dispositivos de planta y en los objetivos programados sin necesidad de parar el sistema de fabricación.

## **2.1. Sistemas de control distribuido basados en agentes**

La estructura del sistema de control juega un papel crítico en el incremento de los parámetros de comportamiento de los sistemas de fabricación. Tradicionalmente, estos sistemas se implementaban utilizando sistemas de control centralizado altamente jerarquizado. Esta arquitectura está caracterizada por poseer un solo nodo de decisión. Presenta como ventaja fundamental una mejor gestión y optimización del control, sin embargo presenta importantes inconvenientes, en términos de velocidad de respuesta, complejidad del control, tolerancia a fallos y facilidades de expansión o ampliación.

En las arquitecturas jerárquicas, los problemas complejos se descomponen en varios, más sencillos y manejables, y el control se distribuye en varias capas. Esta arquitectura se caracteriza por la existencia de varios niveles de control, distribuidos según una estructura normalmente en forma de árbol, permitiendo la distribución de la toma de decisiones entre estos niveles jerárquicos. Las relaciones entre estos niveles jerárquicos están basadas en el concepto de maestro-esclavo. La principal característica de esta arquitectura es la robustez, la previsibilidad y la eficiencia que es mejor que en las arquitecturas centralizadas. Sin embargo, la aparición de perturbaciones en el sistema reduce significativamente su rendimiento.

Para satisfacer las demandas de los entornos de fabricación rápidamente cambiantes actuales, el control centralizado y jerarquizado tradicionalmente utilizado resulta ineficiente. Para afrontar la problemática de la creciente complejidad, se considera esencial la utilización de sistemas de control distribuidos. Estos sistemas distribuidos consisten, en esencia, en la división del sistema completo en partes o módulos autogestionados que interactúan entre sí. Se llega entonces a una arquitectura heterárquica, denominada también como propuesta de

agentes autónomos en el dominio de los agentes, caracterizada por un alto grado de autonomía y cooperación con una estructura de cliente-servidor.

La estrategia planteada es la utilización de sistemas de control altamente distribuidos basados en agentes para el control de un sistema de gestión de la fabricación adaptable de forma automática a las exigencias de los pedidos. Mediante la negociación entre los distintos agentes elaborados para la automatización del sistema de fabricación y las reglas de distribución del trabajo establecidas, se pretende atender de forma inmediata la demanda de producción exigida por los pedidos a medida que éstos se produzcan.

La tecnología de agentes introduce funcionalidades que soportan eficientemente las necesidades de los sistemas de fabricación distribuidos, tales como modularidad, descentralización y estructuras dinámicas y complejas.

Estos sistemas de control distribuido generalmente están constituidos por una red de autómatas programables (PLC) conectados entre si mediante una red de comunicación industrial. En combinación con estos PLC's, también conectados a esta red de comunicación se encuentran PC's industriales y/o de gestión encargados de las tareas de supervisión, control y coordinación de todo el proceso de fabricación. Dadas las ventajas generales expuestas de la metodología basada en agentes para los sistemas de fabricación, nuestra propuesta se centra en la aplicación de agentes para el desarrollo de ingeniería de los sistemas de automatización industrial.

En este sentido, se ha de destacar que la ingeniería de los sistemas de automatización industrial difiere notablemente de la ingeniería de sistemas en otros dominios de aplicación. Esto deriva del hecho de que los sistemas de automatización de plantas industriales tienen unas características hardware y software particulares dadas por las funciones de control para las que se han desarrollado, Wagner (2004).

### **3. Proceso de agentificación**

El proceso general para el desarrollo de agentes en un sistema de fabricación integrada consta de las siguientes fases: consideración de un método de desarrollo orientado a objeto para sistemas multi-agente tecnológicos, el proceso de agentificación, el diseño de cada agente y del sistema multi-agente, la simulación y la realización, Ritter et al. (2002).

Un problema básico es como "agentificar" el proceso de fabricación, ya sea existente o uno de nueva creación. La agentificación es el proceso de identificación y modelado de procesos y sistemas tecnológicos, por ejemplo células de fabricación, robots, sistemas de control, bases de datos o incluso operadores humanos actuando como agentes.

A la hora de la identificación de un agente tecnológico, se ha de tener en cuenta que los métodos de estructuración para fabricación están siguiendo dos filosofías:

- a) Flujo de material: La línea de control está determinada principalmente por el sistema de transporte.
- b) Flujo de trabajo: La línea de control está determinada principalmente por el proceso de fabricación.

Actualmente hay solamente métodos o procedimientos heurísticos para agentificar los agentes tecnológicos. Además, se han de tener en cuenta las características autónomas que presentan

los sistemas tecnológicos. En general, hay varias propuestas para agrupar componentes y sistemas autónomos y cooperativos como agentes:

- a) Sistemas móviles (autónomos y cooperativos) como agentes: por ejemplo agentes de transporte móvil (robots móviles).
- b) Sistemas no acoplados mecánicamente (no móviles), como por ejemplo células o líneas de transferencia, donde las estaciones no están acopladas mecánicamente.

Debido a que estas propuestas son solamente intuitivas, se requiere un nuevo concepto para generar un método de agentificación sistemático aplicado a los sistemas de automatización de plantas industriales.

### **3.1. Agentificación para sistemas de automatización de la fabricación**

Los paradigmas orientados a agentes constituyen una nueva propuesta prometedora para abordar la automatización de sistemas que son complejos, distribuidos y cambiantes. Sin embargo, no existe mucho trabajo todavía que investigue como las propuestas basadas en agentes podrían ayudar a mitigar el desequilibrio existente entre las estructuras de los sistemas de automatización comparadas con los nuevos desafíos de la ingeniería.

Como ya se ha planteado, en los dominios de automatización y fabricación, un agente puede corresponderse con un recurso o dispositivo físico (PLC, robot, CNC, AGV, etc.). Se han puesto de manifiesto las ventajas que trae consigo la aplicación de una filosofía basada en agentes para gestionar un sistema de fabricación. Sin embargo, cabe plantearse si, debido a que normalmente los agentes se implementan utilizando lenguajes de programación orientados a objetos (tales como Java o C++), los agentes constituyen una nueva propuesta o son sólo un nueva forma de denominar o enmascarar viejos conceptos. Es evidente que la metodología basada en agentes constituye una nueva propuesta para abordar tanto las fases de diseño como de implementación de procesos o plantas industriales. No obstante, el proceso de agentificación puede hacer que se pierdan o enmascaren las bondades iniciales de este paradigma. Esto es, hay que abstraerse de la asociación de agentes con objetos o con clases, elementos típicos en los lenguajes de programación orientada a objetos, como Java, quedándose con la filosofía de base para la creación y definición de los agentes.

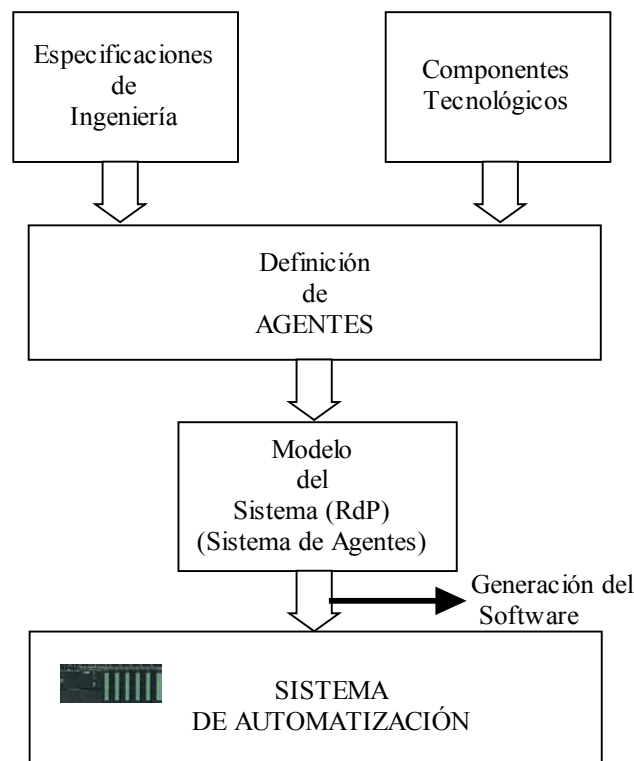
La metodología seguida para la programación de un agente debería conducir directamente de una tarea de control a un programa de agente. Para ello, el primer paso debe ser la obtención de un modelo que represente de forma sencilla y eficiente el comportamiento de cada agente individual. Para esta función, las Redes de Petri (RdP) constituyen una herramienta válida que asegura la especificación rigurosa y la validación del modelo debido a su potente fundamento matemático. Para modelar la estructura y el comportamiento de cada agente y validar la corrección del modelo, además de entender y sintetizar las especificaciones del sistema, es importante tener una metodología de modelado formal. Las RdP constituyen tal herramienta de modelado formal.

Una vez obtenida la RdP que modela cada agente, el siguiente paso consistirá en obtener el programa de control que implemente físicamente la RdP. Este último paso está tratado, si bien de manera parcial, por algunos investigadores que han desarrollado herramientas software que permiten representar y simular RdP y obtener directamente un programa de usuario que puede cargarse en un PLC. Si embargo, sólo está contemplada la codificación de la red para algunos, pocos, sistemas de automatización.

La Figura 1 muestra el esquema de principio del procedimiento a seguir para obtener una solución orientada a agentes en aplicaciones de ingeniería integrada de sistemas de automatización.

La idea básica de las nuevas propuestas para el desarrollo de sistemas de automatización consiste en modularizar los datos de ingeniería análogos a las entidades reales de la planta (descomposición física), Wagner (2004). Estas entidades son los denominados “componentes tecnológicos”. Por tanto, los componentes tecnológicos constituyen el punto de partida desde la perspectiva de la ingeniería de alto nivel del sistema de automatización de la planta.

El objetivo final se centra en el proceso de agentificación de los sistemas que intervienen en la automatización industrial. El paso crítico se encuentra en la definición del comportamiento del agente mediante la RdP. Este paso, si bien fundamental, está poco documentado. Por tanto, se pretende desarrollar un método para la agentificación sistemática de agentes tecnológicos existentes en un sistema de automatización industrial sin perder de vista el sistema ejecutor del agente.



**Figura 1.** Esquema de principio del proceso de agentificación para un sistema de automatización de una planta industrial.

#### 4. Conclusiones

Podemos concluir que en el proceso de agentificación de agentes tecnológicos se ha de tener en cuenta el sistema físico donde se va a implementar el agente a más bajo nivel. En definitiva, se trata de definir los agentes de forma que éstos puedan implantarse directamente en un PLC. Es decir, realizar el proceso de agentificación sin perder de vista el PLC como sistema ejecutor del agente. Ya que, en última instancia, cada agente debe corresponderse con un programa de PLC.

## Referencias

- Ritter, A.; Baum, W.; Höpf, M.; Westkämper, E.( 2002). Agentification for Production Systems. *INT 2002*, Grenoble
- Van Brussel, H.J.; Wyns, P.; Valckenaers, L.; Bongaerts; Peeter, P. (1998). *Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA*. *Computer in Industry*, 37, pp. 255-274.
- Wagner, T.(2004). Applying Agents for Engineering of Industrial Automation Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2831/2004, pp. 62-73.
- Wooldridge, M.; Jennings, N. (1995). Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2), pp. 115-152.