

## TOLERANCIA A FALLOS EN SISTEMA DE FABRICACION FLEXIBLE BASADO EN MAS

M. López\*, J. Martín\*, U. Gangoiti\*, A. Armentia\*, E. Estévez\*\*, M. Marcos\*

\*Dept. Ingeniería de Sistemas y Automática, UPV/EHU, España

e-mail: lopeziglesiasmikel@outlook.com, jon.martingarechana@th-nuernberg.de, {unai.gangoiti, aintzane.armentia, marga.marcos}@ehu.eus

\*\*Dept. Ingeniería Electrónica y Automática EPS de Jaén, España

e-mail: eestevez@ujaen.es

### Resumen

*La fabricación orientada al producto está completamente alineada con una de las tendencias de la Industria 4.0 que consiste en la integración de todos los sistemas de producción. Esto implica una transición desde un punto de vista tradicional de los procesos, centrados en líneas de producción con el objetivo de reducir costes, a uno más flexible capaz de producir productos personalizados. Por otra parte, los Sistema Multi Agente se caracterizan por su carácter inteligente y distribuido, así como por su capacidad de negociación para conseguir sus objetivos y se han aplicado ampliamente en entornos de fabricación. Los trabajos relacionados demuestran su aplicabilidad en entornos flexibles. Por ello, son candidatos muy adecuados para implementar planes de fabricación cambiantes y personalizados. Sin embargo, un aspecto clave es ofrecer metodologías y herramientas que soporten la implementación de dichos sistemas. En este artículo se presenta una arquitectura multi-agente para fabricación inteligente y se ilustra su flexibilidad para el caso de fallos de recursos de fabricación, dando pautas y plantillas para la implementación de aplicaciones concretas.*

**Palabras clave:** fabricación orientada al producto, sistemas multi agente, ingeniería basada en modelos.

### 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de fabricación orientados al producto (Product Oriented Manufacturing, POM) se componen de células y recursos de fabricación interconectados, que a su vez, y de forma coordinada, resuelven la fabricación de un producto o una serie de productos similares, incluyendo el trabajo de ensamblado necesario [21].

El concepto de POM está directamente relacionado con una de las tendencias de la Industria 4.0 consistente en la integración de todos los sistemas de

producción con el objetivo de evolucionar desde lotes grandes, dirigidos a reducir el coste, a una producción más flexible capaz de producir productos personalizados. En otras palabras, las iniciativas basadas en la Industria 4.0 persiguen la integración, reutilización, flexibilidad y optimización de los procesos de fabricación mediante la implementación de características de última tecnología basadas en el uso de equipamientos y sistemas inteligentes y adaptativos [2]. Las fábricas inteligentes no sólo van a controlar los procesos de fabricación de productos, sino que también estarán conectadas con el mercado, proveedores y clientes. El modelo de fabricación altamente automatizada de la Industria 4.0 tiene las siguientes características principales: (1) flexibilidad entendida como cantidad y tiempo de producción; (2) reconfiguración como la capacidad de adaptarse rápida y económicamente a cambios en el producto; y (3) digitalización de procesos conectando e integrando las distintas fases del proceso de producción.

Por otra parte, a medida que surgen nuevos retos, y con el objetivo de convertir el concepto en una realidad, son altamente demandadas plataformas que soporten en tiempo de ejecución sistemas POM. En este sentido, la tecnología de agentes se ha validado como un modo natural de cumplir con los requisitos en múltiples ámbitos industriales [9],[10] y [17]. De hecho, el concepto de agente industrial está relacionado con la aplicación de la tecnología de sistemas multi-agente (Multi-Agent System, MAS) para resolver problemas industriales complejos, tal y como se recoge [11] y [19]. En resumen, los agentes industriales normalmente se desarrollan para: (1) Implementar recursos físicos de fabricación como máquinas, robots, robots autoguiados (Automated Guided Vehicle, AGV), operadores; o agrupaciones de recursos (por ejemplo, células, líneas de producción y plantas de fabricación) así como productos y operaciones [7], [13], [18], [20], [22] y [23]. Esta tecnología claramente contribuye a reducir el tiempo de respuesta a las demandas del mercado y por ello, a incrementar la competitividad de las empresas de producción; (2) Encapsular las

actividades de fabricación a través de un enfoque de descomposición funcional. En este caso no hay relación explícita entre agentes y entidades físicas, por ejemplo: adquisición de pedido, planificación de procesos [1], [4], [5], [8] y [15]. Este enfoque facilita la integración plug-and-play; (3) Representar a los distintos negociadores con el fin de facilitar la colaboración empresarial [6] y [14].

Se puede decir, por lo tanto, que las aproximaciones basadas en MAS son buenas soluciones para proporcionar soporte en tiempo de ejecución en sistemas industriales dinámicos [3]. Sin embargo, hay pocas metodologías y falta de herramientas para el desarrollo de dichas plataformas. En este contexto, el uso de ingeniería basada en modelos (Model-Driven Engineering, MDE) se ha validado como adecuada para guiar y ayudar en el diseño, desarrollo e implementación de sistemas complejos [16].

Por todo ello, este trabajo extiende la arquitectura basada en agentes presentada en [12], dando pautas de implementación y dotándola de los mecanismos necesarios para detectar y solucionar fallos de recursos de fabricación. Todo ello haciendo uso de modelos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: el apartado 2 presenta brevemente los componentes de la arquitectura propuesta en [12] y los roles de cada componente. Estos componentes gestionan la información relativa al plan de fabricación en ejecución, cuya representación en modelos formales se describe en el apartado 3. En el apartado 4 se proponen plantillas para la implementación de los agentes y en el apartado 5 se presenta un caso de estudio que incide en el comportamiento e interacción entre agentes para asegurar la tolerancia a fallos de recursos de fabricación. Por último, se presentan las principales conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

## 2 ARQUITECTURA MAS PARA FABRICACIÓN PERSONALIZADA

En este apartado se resumen los componentes de la arquitectura preliminar presentada en [12] y que representan tanto los conceptos necesarios de fabricación en planta, como la supervisión del sistema.

Como se puede ver en la Figura 1, la arquitectura de agentes propuesta distingue entre tres tipos de agentes que serán definidos por sus correspondientes plantillas: (1) los agentes recurso (Agente Máquina –MA- y Agente Transporte –TA-), (2) los agentes de producción (Agente de Pedido en inglés Order Agent

–OA- y Agente Lote, en inglés Batch Agent –BA-) y (3) agentes de supervisión (Agente Supervisor –SA- y Agente Monitor –MoA-). Por una parte, los agentes recurso ofrecen servicios de procesado y transporte, por otra, los agentes de producción se encargan del seguimiento de la producción de los pedidos.

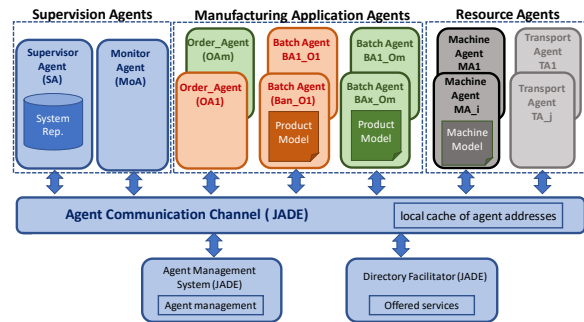


Figura 1. Arquitectura de agentes propuesta

El Agente Supervisor, único en el sistema, se encarga de mantener el estado de todo el sistema (recursos disponibles en operación, servicios ofrecidos, estado de recursos, pedidos en producción...), actualizando dicha información cada vez que se produzca algún cambio.

El Agente Monitor es el encargado de recolectar la información del sistema MAS con el objetivo de poder visualizarla en un panel de operador. A su vez, el monitor es capaz de realizar peticiones de información a través de las cuales puede conseguir el estado de los pedidos y lotes.

El Agente de Pedido (OA) se encarga de gestionar sus correspondientes Agentes Lote (BA). El BA realiza el seguimiento de los pasos que se dan en la fabricación de un producto. En el momento de su creación recibe el modelo de producto y el número de ítems que tiene que gestionar. Los BA esperan mensajes de máquina informando del comienzo y fin de operaciones, realizando así la trazabilidad del producto. Si una máquina quiere operar sobre un subproducto que se encuentra en otro punto de la planta el BA es capaz de lanzar negociaciones entre transporte. Cuando un BA termina la fabricación de sus productos manda la información al correspondiente OA, que la almacena hasta que todos sus BA finalicen. En ese momento, el OA guarda toda la información de trazabilidad en un repositorio y desaparecen.

El Agente Máquina se registra en el repositorio junto con las operaciones que es capaz de realizar. Las máquinas son las encargadas de realizar las operaciones sobre los subproductos. A su vez, se encargan de la gestión interna de sus propios almacenes.

El Agente Transporte, del mismo modo que el MA, se registra en el sistema junto a las operaciones que es capaz de realizar. Los TA, uno por robot móvil, dan solución a los problemas de transporte de la planta realizando, principalmente, el transporte de pallets a las máquinas.

### 3 MODELADO DEL PLAN DE FABRICACIÓN

En este apartado se van a presentar los modelos de información del sistema. Para ello, se propone un lenguaje mediante el cual se definen los distintos elementos del sistema para que se pueda operar con ellos. La gran ventaja del uso de modelos es que se pueden añadir y retirar de forma dinámica, solucionando de este modo uno de los problemas para conseguir una planta flexible.

La arquitectura de agentes debe gestionar información relacionada con la definición de producto, recursos disponibles y plan de fabricación evitando información redundante. Por lo tanto, los modelos de información van a ser gestionados por los diferentes agentes. Como se ha comentado anteriormente, los modelos de información tienen que ser lo suficientemente generales como para poder ser utilizados en diferentes plantas de fabricación.

En primer lugar, el *Plan de Fabricación* es el elemento esencial desde el que se comienza el proceso de fabricación. Se asume que es definido por una entidad externa (un sistema de ejecución de la fabricación, en inglés Manufacturing Execution System – MES -) o manualmente por el usuario. Con el objetivo de poder introducir el plan en la plataforma de agentes, se propone el lenguaje para el modelado de plan de fabricación que se muestra en la Figura 2. De esta manera, se consigue un procesamiento más rápido y la total integración en el sistema MAS propuesto.

Por lo tanto, el plan de fabricación se define como una serie de pedidos y su correspondiente plan. Se asume que los pedidos se planifican como una serie de lotes que contienen un número concreto de productos del mismo tipo. El plan se define como una serie de operaciones planificadas con los siguientes parámetros: subproducto(s), operación, ID de máquina, estación, fecha de comienzo planificada y fecha de finalización planificada.

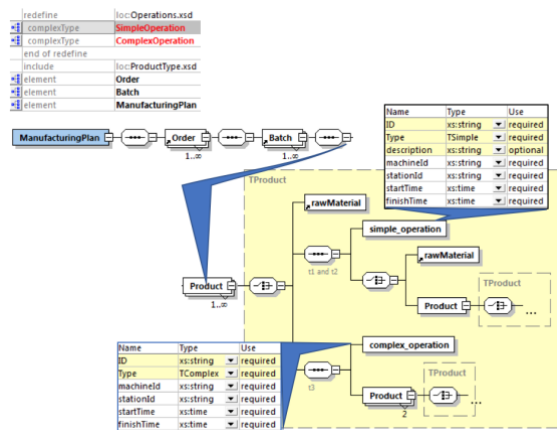


Figura 2. Lenguaje de modelado para el plan de fabricación

Por otro lado, el *Plan de Máquina* se define como un conjunto de operaciones planificadas que hay que realizar. Está completamente relacionado con el plan de fabricación, ya que el plan de máquina es el conjunto de operaciones del plan de fabricación que se corresponden a una misma máquina ordenado por tiempo de inicio de operación.

De la misma forma se definen modelos para otros elementos del sistema: (1) producto, (2) máquina y (3) trazabilidad, correspondiente a información que gestionan los agentes BA y MA. Estos modelos de información se detallan en [12].

### 4 ASPECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA

Se ha desarrollado una implementación prototipo en JADE. Este framework cumple con la normativa FIPA y está íntegramente desarrollado en el lenguaje de programación Java. Un framework que cumpla plenamente con FIPA debe soportar la gestión de agentes. En particular, como muestra la Figura 1: el Directory Facilitator (DF), el Sistema de Gestión de Agentes (Agent Management System, AMS), y el Canal de Comunicación de Agentes (Agent Communication Channel, ACC). Según la especificación FIPA, tiene que haber al menos un DF en la plataforma, que ofrece los servicios de páginas amarillas donde los agentes pueden registrar sus servicios o buscar aquellos que requieren. EL AMS gestiona la creación, migración y eliminación de agentes. El ACC soporta la interoperabilidad dentro de una misma plataforma o entre diferentes plataformas.

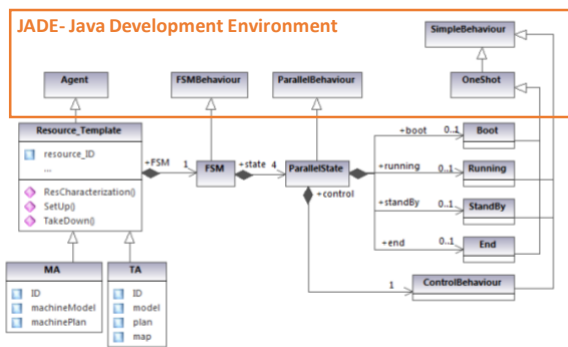


Figura 3. Plantilla del agente recurso

Los agentes recurso, MA y TA, pueden ser definidos por una plantilla genérica que se puede caracterizar. En la Figura 3 se representa la estructura general de la plantilla del Agente Recurso (que tanto máquinas como transportes utilizarán) en un diagrama de clases UML que se implementa como un FSM (Finite State Machine) Composite Behaviour de JADE. La FSM ofrece métodos para la creación de sub-comportamientos por estado en los que el MA puede operar, así como las transiciones entre ellos. En este prototipo, que soporta tanto operación normal como fallos, se definen 4 estados: (1) Boot, estado de inicialización del agente; (2) Running, estado de operación normal del agente; (3) Stanby, estado de espera en el que se encuentra un recurso con algún fallo físico; y, por último, (4) End, para la finalización controlada del agente. Además, la caracterización del MA comprende tres nuevos parámetros: ID, modelo de máquina y plan de máquina. Mientras que la del TA también añade el mapa.

La funcionalidad de cada uno de ellos se implementa como dos Simple Behaviour de JADE. Uno de ellos se encarga de realizar las operaciones propias de la funcionalidad concreta del agente, y por lo tanto depende del estado en el se encuentre. El otro, ControlBeheaviour se encarga de gestionar las peticiones de operación de control, entre las que se encuentran: peticiones de información, cambio de estado, negociación...

## 5 CASO DE ESTUDIO: COMPORTAMIENTO A FALLOS DE RECURSOS DE FABRICACIÓN

Con el objetivo de validar la implementación de la metodología propuesta por medio de modelos de información y una arquitectura basada en MAS, se escoge un caso de estudio industrial simplificado, pero aún así complejo: la fabricación de faros halógenos de automóvil. Las diferentes operaciones

del proceso de fabricación se dividen en tres grupos: procesado, ensamblado e inspección. Del mismo modo, los diferentes componentes del sistema se dividen en los siguientes grupos: (1) materia prima, componentes que varían según el modelo de producto; (2) subproducto, materia prima sobre la que se ha realizado una serie de operaciones (al menos una operación); y por último, (3) material, componentes genéricos cuyo diseño no cambia con el modelo de producto.

Este apartado presenta los mecanismos de sistema para la detección, aviso y confirmación de fallos, así como el proceso de recuperación para el caso de fallo de recurso. Los fallos en un sistema de fabricación son muy variados, pero se pueden agrupar en tres grupos diferenciados por su nivel de criticidad. A medida que el nivel de criticidad de un fallo aumenta, más rápida tiene que ser su recuperación para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Los tres niveles que se definen en este trabajo, ordenados de menor a mayor nivel de criticidad son: (1) A nivel de producto, donde se tienen en cuenta posibles rechazos que se produzcan por las estaciones de inspección a lo largo del proceso de producción. (2) A nivel de recurso donde uno de los MA o TA falle y por lo tanto no pueda continuar realizando la tarea que tenía programada para ese momento. (3) A nivel de agente, donde ya sea por fallo del propio agente o del nodo que lo contiene, el agente falla y desaparece del sistema. En este artículo se va a profundizar en los fallos a nivel de recurso.

### 5.1 A NIVEL DE RECURSOS

Se produce cuando alguno de los recursos de sistema, máquina o transporte, sufren algún tipo de fallo (caída del controlador, fallo mecánico de alguno de los elementos del recurso...) que le imposibilitan llevar a cabo la operación planificada en ese momento.

La detección de este tipo de fallos se realiza por uno de los siguientes mecanismos: (1) Si el propio recurso detecta algún fallo al realizar el autodiagnóstico. (2) Si un mensaje no se puede entregar al recurso. (3) Cuando se sobrepasa el tiempo estimado para la realización de una operación. En la Tabla 1 se puede ver en resumen los agentes encargados de la detección de fallos de recurso.

Una vez detectados los fallos (de forma distribuida), y debido a que un fallo en un recurso puede afectar a varios elementos del sistema, se centraliza el aviso y la confirmación en el Agente Supervisor, evitando así gestionar distintos avisos de fallo con una misma causa.

Tabla 1. Detección de fallos de recurso

Agente en fallo	Detección de fallo	
	Agente	Método
MA	BA	Timeout
	BA	failedMsg
	TA	failedMsg
TA	MA	TimeOut
	MA	failedMsg
	BA	Timeout
	BA	failedMsg

La recuperación en el caso de los TA consiste en lanzar una negociación entre los restantes TA disponibles para efectuar el servicio de rescate. El rescate de transporte consiste en ir hasta la última posición conocida del robot y explorar las cercanías en busca de un patrón que depende del tipo de transporte averiado. Una vez hallado se procede a recoger la carga y finalizar la tarea que el transporte averiado estaba realizando. A diferencia de las máquinas, los transportes no tienen un plan estático que se carga en el proceso de arranque. A medida que son necesarias operaciones de transporte se negocian entre los distintos TA disponibles. Por lo tanto, los TA tienen un plan dinámico. Cuando un TA falla el plan se pierde por lo que es necesario volver a negociar todas las operaciones que tenía asignadas.

En el caso de que una máquina falle, el proceso de recuperación se centra en recuperar los pedidos que se encontraban en ese momento operando en la máquina averiada. Para ello, el BA negocia con los restantes MA capaces de realizar esas operaciones. El MA ganador será aquel que pueda realizar la operación en un menor tiempo. Es importante recordar que solo se re-planifican las operaciones que debía realizar la máquina en fallo y sólo en los huecos disponibles de las restantes máquinas, minimizando así el impacto del fallo en el sistema. Una vez se han realizado las operaciones re-planificadas se continúa la fabricación según el plan original.

Debido a que las operaciones re-planificadas puede que no se realicen seguidas en el tiempo, es necesario un mecanismo para liberar la salida de una máquina con el objetivo de que continúe realizando las operaciones que tiene planificadas. El mecanismo de liberación consiste en una petición que realiza la máquina afectada al Batch que ocupa la salida (el último sobre el que ha operado). Si el Batch se encuentra esperando a un transporte avisará de que la liberación ya está gestionada; en cambio, si no está esperándolo tendrá que gestionar su transporte a un almacén intermedio en el que esperará a la siguiente petición de operación.

## 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se ha ampliado el sistema para fabricación flexible basado en agentes presentado inicialmente en [12]. En concreto se ha hecho especial hincapié en la tolerancia a fallos. El sistema ampliado es capaz de recuperarse de cualquier situación de funcionamiento erróneo a través de diferentes procedimientos. El análisis de las situaciones de fallo se realiza atendiendo a distintos niveles: producto, recurso y agente, diferenciados entre otras cosas, por el nivel de criticidad que influye en el tiempo necesario para su recuperación, cuanto más crítico sea el fallo, más rápida debe ser su recuperación. En concreto, en este trabajo se da solución al caso de fallos de recurso.

En este sentido, el presente trabajo da respuesta a uno de los requisitos de la siguiente generación de sistemas de producción como lo es *la tolerancia a fallos* de forma lo suficientemente general como para poder ser utilizado en distintas plantas de producción.

El trabajo actual y futuro se centra en la definición de los distintos procesos de re-planificación del sistema, para posteriormente realizar la definición de un plan de pruebas para comprobar mediante simulación la respuesta del sistema. El caso de estudio será ampliado con el objetivo de realizar dichas pruebas.

### Agradecimientos

Este trabajo está financiado bajo el proyecto DPI2015-68602-R (MINECO/FEDER, UE), UPV/EHU bajo el proyecto PPGI17/56 y GV/EJ bajo el grupo de investigación reconocido IT914-16.

### English summary

## SUPPORTING PRODUCT ORIENTED MANUFACTURING: FAULT TOLERANCE

### Abstract

*Product oriented manufacturing is aligned with one of the Industry 4.0 trends consisting of integrating all production systems. This implies shifting from a traditional view of manufacturing processes, focused on production line in order to reduce costs, to a more flexible and customized product manufacturing. On the other hand, Multi Agent Systems (MAS) are characterized by their smart and distribute nature as well as their negotiation capacity in order to achieve their objectives. MAS systems have been widely used in flexible environments where related works validate*

*their use. That is why they are a suitable approach for implementing customized and dynamically changing manufacturing plans. However, a key aspect is to offer methodologies and tools for supporting the implementation of such systems. In this paper, a flexible manufacturing supporting architecture is presented and its flexibility is illustrated for the case of resource failures. Procedures and templates are also given in order to implement specific applications.*

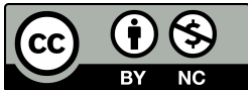
**Keywords:** product oriented manufacturing, multi agent system, model driven engineering.

## Referencias

- [1] Antzoulatos, N., Castro, E., Scrimieri, D., & Ratchev, S. (2014). A multi-agent architecture for plug and produce on an industrial assembly platform. *Production Engineering*, 8(6), 773-781.
- [2] Association EF of the FR. (2012). *Factories of the Future PPP FoF 2020 Roadmap: Consultation document*. 2012.
- [3] Borangiu, T., Trentesaux, D., Thomas, A., Leitão, P., & Oliveira, J. B. (2017). Digital Transformation in Service and Computing Oriented Manufacturing. In *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing* (pp. 1-7). Springer, Cham.
- [4] Choi, H. R., Kim, H. S., Park, B. J., Park, Y. J., & Whinston, A. B. (2004). An agent for selecting optimal order set in EC marketplace. *Decision support systems*, 36(4), 371-383.
- [5] Cupek, R., Ziebinski, A., Huczala, L., & Erdogan, H. (2016). Agent-based manufacturing execution systems for short-series production scheduling. *Computers in Industry*, 82, 245-258.
- [6] Hao, Q., Shen, W., Stecca, G., & Wang, L. (2004). Towards an Internet enabled cooperative manufacturing management framework. In *Processes and Foundations for Virtual Organizations* (pp. 191-200). Springer, Boston, MA.
- [7] Kovalenko, I., Barton, K., & Tilbury, D. (2017, September). Design and implementation of an intelligent product agent architecture in manufacturing systems. In *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2017 22nd IEEE International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.
- [8] Kuo, J. Y. (2004). A document-driven agent-based approach for business processes management. *Information and Software Technology*, 46(6), 373-382.
- [9] Leitão, P. (2009). Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), 979-991.
- [10] Leitão, P., & Vrba, P. (2011, August). Recent developments and future trends of industrial agents. In *International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems* (pp. 15-28). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [11] Leitão, P., Mařík, V., & Vrba, P. (2013). Past, present, and future of industrial agent applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(4), 2360-2372.
- [12] López M., Martín J., Gangoiti U., Armentia A., Estevez E., Marcos M. (2018) Supporting Product Oriented Manufacturing: a Model Driven and Agent based Approach, aceptado en IEEE INDIN, 22-24 Julio
- [13] Lu, T. P., & Yih, Y. (2001). An agent-based production control framework for multiple-line collaborative manufacturing. *International Journal of Production Research*, 39(10), 2155-2176.
- [14] Nigro, G. L., La Diega, S. N., Perrone, G., & Renna, P. (2003). Coordination policies to support decision making in distributed production planning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(6), 521-531.
- [15] Sadeh, N. M., Hildum, D. W., & Kjenstad, D. (2003). Agent-based e-supply chain decision support. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 13(3-4), 225-241.
- [16] Selic, B. (2003). The pragmatics of model-driven development. *IEEE software*, 20(5), 19-25.
- [17] Shen, W., & Norrie, D. H. (1999). Agent-based systems for intelligent manufacturing: a state-of-the-art survey. *Knowledge and information systems*, 1(2), 129-156.
- [18] Shen, W., & Norrie, D. H. (2001). Dynamic manufacturing scheduling using both functional and resource related agents. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 8(1), 17-30.
- [19] Shen, W., Hao, Q., Yoon, H. J., & Norrie, D. H. (2006). Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review. *Advanced engineering INFORMATICS*, 20(4), 415-431.
- [20] Shen, W., Maturana, F., & Norrie, D. H. (2000). MetaMorph II: an agent-based architecture for distributed intelligent design and manufacturing. *Journal of intelligent manufacturing*, 11(3), 237-251.
- [21] Silva, S. C., & Alves, A. (2002). Design of Product Oriented Manufacturing Systems.

In Knowledge and Technology integration in production and Services (pp. 359-366). Springer, Boston, MA.

- [22] Usher, J. M. (2003). Negotiation-based routing in job shops via collaborative agents. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14(5), 485-499.
- [23] Wang, C., Shen, W., & Ghenniwa, H. (2003, October). An adaptive negotiation framework for agent based dynamic manufacturing scheduling. In *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on* (Vol. 2, pp. 1211-1216). IEEE.



© 2018 by the authors.  
Submitted for possible  
open access publication  
under the terms and  
conditions of the Creative Commons Attribution  
CC-BY-NC 3.0 license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>).