

Sistema de control de la producción basado en agentes: Metodología PROHA

Adolfo Cenjor Montalvo¹, Andrés García Higuera², Carlos Contreras Peinado²

¹Departamento de Ingeniería de Defensa. TecnoVe Security. Avda. Alcazar , 8 – 13640 Herencia (Ciudad Real). acenjor@tecnove-security.com.

²Área de Automática. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Camilo José Cela s/n. 13071 Ciudad Real. Spain. andres.garcia@uclm.es,

Resumen

Los nuevos métodos de control altamente distribuido para sistemas complejos han generado una serie de nuevas filosofías basadas en la negociación entre sistemas que suponen un punto de encuentro entre el ingeniero de proceso y el informático. De entre estas filosofías de control, las más implementadas en la actualidad son las basadas en agentes y holones, ocupando el hueco que antes ocupaban las basadas en objetos, aunque existen más. Este artículo presenta el planteamiento de cómo, gracias a sistemas de control altamente distribuidos y a la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID-IMS), el control negociado pasa de ser un mero planteamiento teórico a una situación tangible. Este enfoque se plasma en una nueva metodología de control llamada PROHA.

Palabras clave: Fabricación, Control Distribuido, Agentes, RFID-IMS.

1. Introducción

En la actualidad los sistemas productivos se ven sometidos a un aumento de la complejidad debido a los grandes requerimientos de flexibilidad y capacidad. Esta complejidad se hace aun más sensible en los grandes sistemas donde, no solo interviene un mayor número de elementos a controlar sino que el avance tecnológico en todos los sentidos se hace patente en la complejidad de los elementos que integran los sistemas. Estos factores hacen que una gestión del control del sistema apropiada sea esencial, ya que dicha gestión no resulta trivial.

Tradicionalmente, el control se ha realizado de forma centralizada atendiendo a las necesidades anodinas que surgían. Hoy en día, las necesidades productivas del mercado que se están afianzando como dogma en el conjunto global del mercado, hacen del control centralizado una técnica de control claramente ineficiente a causa de la gran complejidad que supone el diseño de los grandes sistemas. Esta ineficiencia emerge cuando se requiere flexibilidad y una rápida respuesta ante la demanda, ya que estos sistemas son monolíticos y la actuación sobre la información referente al entorno es muy dificultosa. Para afrontar la problemática de la creciente complejidad se considera fundamental 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 interaccionan entre sí (estas interacciones se rigen, en función de los elementos en los que se base el control, i.e., agentes, holones, etc). Estos sistemas permiten realizar una gestión de la información instantánea.

Para que la gestión de la información sea factible es obvia la necesidad de una infraestructura para obtener la información que se desea y cuando se desea. En este artículo, se plantea la utilización de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) como medio que soporte la gestión de la información, lo que se nomina como RFID-IMS (*Radio Frequency Identification – Information Management System*).

El presente artículo se estructura en cinco apartados además del introductorio. En el segundo apartado se lleva a cabo una revisión de las metodologías de control de la producción más relevantes desde el inicio de la aparición de éstas, centrandó el análisis en las orientadas a objetos, las orientadas al control de la producción y las orientadas a agentes. En el tercer apartado se introduce el concepto de agente, mostrando una clasificación funcional de agentes y analizando las estructuras de agentes deliberativos tipo BDI. El apartado 4 se centra en la tecnología RFID-IMS, sentando sus bases y aplicándola a los sistemas multiagentes. En el siguiente apartado se presenta detalladamente la metodología PROHA. Por último, el apartado sexto muestra las conclusiones obtenidas de este enfoque en forma de ventajas y beneficios aportados en el intento de solventar la problemática instalada en los mercados.

2. Estado actual del control en los sistemas de fabricación

2.1. Tendencias de fabricación

Los sistemas tradicionales de fabricación, a pesar de haber incrementado la fiabilidad y de haber conseguido una notable reducción de los costes de la producción, continúan teniendo el problema de la escasa flexibilidad que aportan al conjunto del sistema productivo, hecho que genera problemas de robustez cuando se dan perturbaciones en el entorno (García, 2003).

Las tendencias actuales del mercado se basan en la producción a medida, siguiendo los requerimientos del cliente. En los entornos complejos de producción se plantea la necesidad de que el sistema de gestión permita la actuación automática sobre los datos generados, lo cual se traduce en un alto grado de flexibilidad (Van Brussel *et al.*, 1998).

La estrategia para afrontar la complejidad que se asienta en los mercados es la utilización de sistemas de control altamente distribuidos basados en métodos negociados (Frayret *et al.*, 2004). En lugar de diseñar sistemas de control monolíticos que deben ser programados para asegurar un comportamiento determinado, se divide el sistema en distintos componentes (Caridi y Cavalieri, 2004), como son los holones. Un holón es un ente unitario autónomo y completo en sí mismo. Las propiedades principales de los holones son, pues, la autonomía, como ya se ha indicado, y la cooperación, ya que un conjunto de holones pueden desarrollar planes y llevarlos a cabo, conjuntamente (Suda, 1989). El conjunto de holones que cooperan para la obtención de un fin común conforman una *holarquía*, que es una organización de carácter jerárquico. Otra forma de dividir el sistema consiste en hacerlo por agentes. Los agentes también son subsistemas responsables de controlar y gestionar partes del dominio del sistema total. Las propiedades más importantes de los agentes son, análogamente, la autonomía y la cooperación. La diferencia sustancial que existe con los holones, es que las estructuras de agentes se pueden organizar tanto jerárquica como heterárquicamente (Bussman *et al.*, 2004), lo cual, les confiere la capacidad de incluir entre sus interacciones con otros agentes procesos de negociación.

3. Agentes

3.1. Naturaleza de los agentes

Los agentes son entes del sistema informático que representan a todos y cada uno de los elementos del sistema considerados como individuales, funcionalmente hablando. Los agentes son capaces de acometer acciones autónomas de forma flexible. La flexibilidad implica que estos agentes están dotados de un carácter reactivo, ya que pueden responder de forma instantánea a los cambios, y también de un carácter pro-activo, ya que su comportamiento está dirigido a lograr los objetivos mediante la toma de iniciativas. Por la otra parte, la autonomía reside en su capacidad de controlar y modificar su estado interno y su comportamiento, pudiendo tomar decisiones de forma unilateral. Además de su autonomía, los agentes cuentan con habilidades sociales ya que son capaces de interactuar entre sí planteando procesos de negociación y coordinación para alcanzar los objetivos (Wooldridge y Jennings, 1995). Por tanto, las propiedades principales de los agentes se pueden resumir en cuatro: autonomía, habilidad social, reactividad y proactividad.

3.2. Tipología de agentes

Existen diversos tipos de agentes. La clasificación se realiza en función del comportamiento de cada uno de estos agentes. Existen una variedad importante de agentes ya que cada autor realiza su propia clasificación. No obstante son clasificaciones solapadas o análogas. En este artículo se efectúa una clasificación esencial y que, por ello, resulta de gran peso específico.

En primer lugar, se hallan los agentes *reactivos*. Estos agentes reciben información del entorno mediante sensores y, una vez que analizan la información recibida, actúan en consecuencia para garantizar la consecución de objetivos. Durante la ejecución de las acciones, el agente solo necesita tomar repetidas tomas del sensor y compararlas con las condiciones en ese instante para ejecutar las acciones pertinentes. El problema aparece si más de una condición del estado del sistema coincide con el mismo input sensorial. Para afrontar este problema se propusieron las arquitecturas de inclusiones (Brooks, 1986) (Figura 1). Cada condición está asociada con una lista de condiciones de menor ponderación a las cuales inhibe. Por lo tanto, una acción solo se ejecuta si no existen otras condiciones que inhiban la condición que la produce. Estas arquitecturas de agentes aseguran la reactividad del agente. La mayor desventaja de estas arquitecturas se aprecia en la dificultad de implementar comportamientos proactivos o dirigidos a satisfacer los objetivos. Las arquitecturas reactivas solo observan la situación actual y carecen de medios para iniciar cualquier otro tipo de comportamiento.

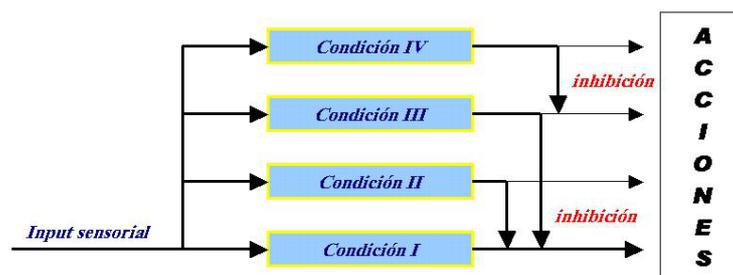


Figura 1. Arquitectura de inclusiones.

3.3. Agentes deliberativos BDI

La arquitectura BDI (*Beliefs-Desires-Intentions*) tiene sus raíces en el razonamiento práctico (Rao y Georgeff, 1992). El razonamiento práctico involucra dos procesos importantes como son la decisión de qué objetivos perseguir y cómo hacerlo. El primer proceso se denomina deliberación y el segundo, razonamiento ejecutivo. El proceso de decisión comienza con la identificación de las *opciones* de ejecución que se plantean. Tras identificar el conjunto de alternativas posibles, se debe escoger algunas de ellas y acometerlas. Estas opciones elegidas se convierten en *intenciones*, las cuales determinan las acciones de los agentes. Por tanto, las intenciones deben realimentar las condiciones futuras del razonamiento práctico para poder alcanzar los objetivos. Las intenciones juegan un papel crucial en el proceso de razonamiento práctico, ya que las intenciones tienen tendencia a liderar la ejecución de las acciones. Además cuando se ha adoptado una intención, el hecho de tomar dicha intención restringe en gran medida el razonamiento práctico futuro. Otro rasgo interesante es que las intenciones persisten, como cualquiera que tiene intención de lograr un objetivo, pero si la razón que motiva la intención desaparece, existe un punto racional para cesar en el empeño. Por último, las intenciones están estrechamente ligadas a las creencias a cerca del futuro, i.e., si existe una intención debe existir la creencia de que se conseguirá el objetivo de esa intención.

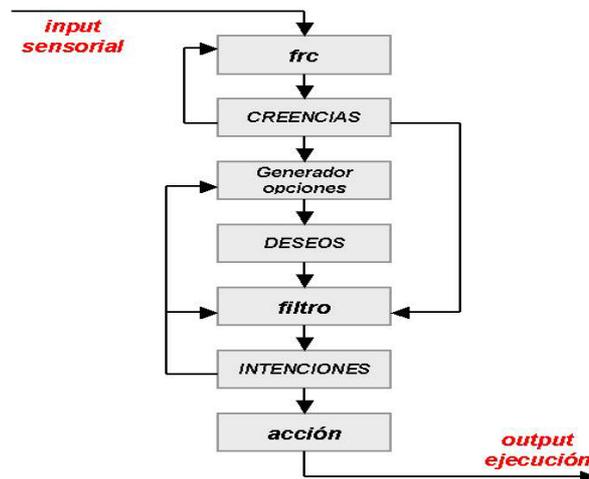


Figura 2. Razonamiento práctico de los agentes BDI.

El problema que aparece en el proceso de diseño del razonamiento práctico es la consecución de un sistema con una buena distribución de propiedades. Parece especialmente claro que un agente en ocasiones debe cejar en ciertas intenciones cuando no crea poder lograrlas, pero igualmente claro parece el hecho de que resulta beneficioso que en ocasiones el agente se detenga a reconsiderar sus intenciones. Este proceso, que en primera instancia representa un sistema de gran dinamismo, supone un dilema. Por una parte, un agente que no se detiene lo suficiente a reconsiderar sus intenciones seguirá intentando lograrlas incluso después de que resulte claro el hecho de su incapacidad para alcanzarlas. Por la otra parte, un agente que constantemente reconsidera sus intenciones puede malgastar un tiempo necesario para satisfacerlas, y se corre el riesgo de no llegar a satisfacerlas nunca. Por tanto, este dilema se puede resumir en la siguiente pregunta: ¿Hasta qué punto conviene reconsiderar las intenciones? Este dilema es el problema del balance entre el comportamiento proactivo y el comportamiento reactivo; es análogo a la situación de los agentes híbridos, pero desde la perspectiva de que se es reactivo siempre y cuando no se pueda ser proactivo. Para resolver este dilema se instauró el *ratio de cambio del entorno* (γ), que determina que actitud tomar en cada situación. (Wooldridge *et al.*, 2000).

El proceso de razonamiento práctico se estructura gracias a siete componentes principales que interactúan para ejecutar dicho proceso (Figura 2):

1. *Función de revisión de creencias (frc)*, la cual toma un input sensorial y las creencias actuales del agente, y en base a ello, determina un nuevo conjunto de creencias.
2. *Conjunto de creencias actuales*, representando la información que el agente reúne acerca del entorno actual.
3. *Función generadora de opciones*, que determina las opciones viables para el agente (i.e., sus deseos) a partir de las creencias y de las intenciones actuales.
4. *Conjunto de opciones actuales (deseos)*, representando los posibles sentidos de acciones válidas para el agente.
5. *Función filtro*, representa el proceso de deliberación de los agentes y determinan sus intenciones en base a las creencias, deseos e intenciones actuales.
6. *Conjunto de intenciones actuales*, representa aquellos estados del sistema los cuales los agentes se han comprometido a conseguir.
7. *Función selectiva de acciones*, que determina que acción se llevará a cabo atendiendo las intenciones actuales.

Las funciones que determinan la deliberación del agente se pueden separar en cuatro:

1. Función de revisión de creencias (*brf*), con la que establecer el nuevo conjunto de creencias actualizado con respecto al entorno.

$$frc: \{creencias\}_0 \times \{percepciones\} = \{creencias\}_1 \quad (1)$$

2. Función de generación de opciones (*options*), con la que se precisan las distintas posibilidades de actuación, lo que deriva en los deseos (*Desires*), a raíz de las creencias y las intenciones.

$$opciones: \{creencias\} \times \{intenciones\} = \{deseos\} \quad (2)$$

3. Función filtro (*filter*), que representa el proceso de deliberación y que determina las intenciones del agente derivadas de las creencias, los deseos y las intenciones, de forma que se actualizan las intenciones a realizar.

$$filtro: \{creencias\} \times \{deseos\} \times \{intenciones\}_0 = \{intenciones\}_1 \quad (3)$$

4. Función de ejecución de intención (*execute*), que precisa la ejecución de las intenciones.

$$ejecucion: \{intenciones\} \quad (4)$$

A partir de las expresiones (1), (2), (3) y (4), se puede determinar la función de acción de un agente siguiendo el pseudocódigo de la Figura 3.

```

function acción (p:P):A
begin
    C:= frc (C,p);
    D:= opciones(C,I);
    I:= filtro (C, D, I);
    return ejecucion (I)
end function acción
    
```

Figura 3. Pseudocódigo de un agente BDI.

4. Tecnología RFID-IMS

4.1. Bases de la tecnología

Esta tecnología responde a las siglas inglesas *Radio Frequency Identification – Information Management System*. Se trata de una tecnología que fue concebida con el objetivo de soportar todo el tratamiento de la información que se genera en los sistemas de gran dinamismo y proporcionar dicha información al sistema para poder realizar la toma de decisiones de forma instantánea. Es decir, es un sistema que permite flexibilizar el acceso a la información.

Por un lado, *RFID* es la tecnología de identificación por radiofrecuencia. Esta tecnología se basa en tarjetas de radiofrecuencia (Figura 4) y antenas o sensores RF de lectura y/o escritura (según se precise). Las tarjetas son elementos, habitualmente planos, que van unidos a los elementos que se desean identificar y están formados por una antena receptora y emisora, un bobinado y un chip (Figura 5). En el chip pueden incluirse gran cantidad de información, según el tipo. Algunas de ellas solo permiten almacenar un código de 96 ó 128 bits, mientras que otras, además de la codificación de la pieza, permiten guardar otra información añadida, ya que tienen de 512 bits en adelante.



Figura 4. Tarjetas RF.

Los sensores RF son aparatos capaces de crear campos electromagnéticos a diferentes frecuencias y en distintos áreas en función de su potencia. Son los encargados de obtener la información incluida en las tarjetas y de escribir en ellas los datos que procedan en cada momento.

El funcionamiento es sencillo. Cuando una tarjeta entra en el campo de acción de un sensor RF, se induce una corriente eléctrica en el bobinado gracias a la radiación electromagnética. Dicha corriente alimenta el chip y hace que éste emita la información que se desea obtener. En las tarjetas de alta capacidad se accede a los distintos fragmentos de la memoria del chip variando la señal electromagnética de excitación.

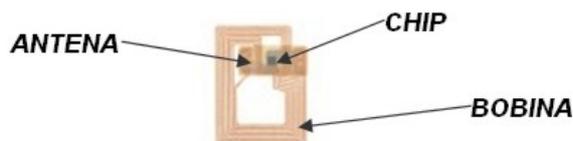


Figura 5. Parte de una tarjeta RF.

IMS es un sistema de gestión de la información; en este caso, de la información que almacenan las tarjetas. Toda la información se gestiona mediante bases de datos. Se puede

gestionar la información mediante un computador y un servidor local que aloje la base de datos cuando los usuarios de la información sean de carácter local. Cuando los usuarios potenciales adquieren un carácter global hay que facilitar un servidor global (e.g. Internet) y en las ubicaciones donde se encuentren los usuarios se requiere de un servidor local conectado al global, además del computador, como la tecnología Auto-ID (McFarlane, 2002).

4.2. Sistema RFID-IMS / MAS

Este punto se centra en la aplicación de la tecnología RFID-IMS, que fue pensada para la gestión de la información en sistemas logísticos, a entornos productivos controlados por sistemas multiagentes (MAS). En esta nueva aplicación, la utilidad funcional más relevante que aporta es la posibilidad de conseguir que los productos sean *inteligentes*. Un producto inteligente es aquel que sabe exactamente por qué línea del proceso debe ir en cada momento. El sistema multiagente que controla la producción es capaz de saber en cada momento toda la información relativa al producto mediante las tarjetas RF adheridas a cada producto. A partir de esto, el MAS define el paso siguiente de este producto, atendiendo a las directrices de diseño, a pesar de que haya contratiempos. Estos sistemas permiten decidir de forma instantánea las acciones a ejecutar, en contraposición con los sistemas centralizados en los que la definición de itinerarios se efectúa al inicio del proceso siendo inamovible en el transcurso. La forma de obtener la información pasa por la utilización de un sistema RFID-IMS, de forma que se puede decir que el producto autogestiona sus movimientos; de ahí viene la idea de producto inteligente.

Por tanto, se puede globalizar que estos sistemas RFID-IMS aplicados a MAS's suponen una producción inteligente y flexible. El MAS controla el sistema de forma instantánea. El ser humano solo tiene que determinar las características del diseño y la implementación.

5. Metodología PROHA

En este apartado se presenta y evalúa la metodología PROHA para el diseño de sistemas basados en agentes para el control de la producción. PROHA son las siglas de Product, Resource, Order Heterarchical Architecture. Es un modelo construido a partir de PROSA (Van Brussel et al., 1998), del cual se toma como referencia el proceso de agentificación de los productos, recursos y órdenes del sistema. El proceso de diseño se basa en el planteamiento de un sistema heterárquico de agentes deliberativos, en concreto, de agentes BDI. Esta metodología se adapta a los sistemas de grandes dimensiones y alta complejidad ya que permite crear sistemas software que representan cada uno de los elementos que configuran el sistema productivo a fin de facilitar su gestión y control. Estos agentes interactúan de forma heterárquica a pesar de estar en sistemas multinivel. Esta circunstancia hace que los procesos de toma de decisiones sean más efectivos que en otras metodologías, ya que los procesos de coordinación y negociación de iniciativas pueden ser llevados a cabo por cualquier tipo de agente, sin tener en cuenta su peso específico real. La metodología de PROHA se centra principalmente en tres procesos, (i) la agentificación o identificación de agentes, (ii) la definición de los agentes y de las características de diseño y (iii) la definición de los protocolos de interacción.

5.1. Agentificación

El *proceso de agentificación*, responde a un proceso estructurado en cuatro pasos. En primer lugar, se realiza la *identificación y determinación de las clases*. Este proceso requiere de un

alto grado de abstracción para ser eficaz. Consiste en observar el sistema productivo de forma global y en pleno funcionamiento, reconocer los distintos elementos que lo forman e intentar agrupar los elementos en conjuntos funcionales básicos, que serán las clases. Una vez hechas las agrupaciones que representan a las clases, se ha de definir semánticamente cada agrupación, i.e., determinar las características estructurales y funcionales de ese grupo dentro del sistema productivo.

En segundo término se procede a la *identificación de los agentes que integran cada clase*. Una vez identificadas y definidas las clases, se procede a la identificación de los agentes del sistema mediante la asociación a los elementos físicos que lo integran. Así pues, hay que atender a los elementos que, por sus funciones u objetivos, puedan integrarse dentro de las clases ya determinadas. Una vez identificados, se les asocia al sistema como agentes. Se puede identificar un agente asociado a una determinada máquina, como una unidad, o se puede desglosar esa máquina en un conjunto de agentes. Lo idóneo es tratar como agente a todo aquel elemento que sea significativo en el proceso productivo, funcionalmente hablando.

El siguiente paso es la *creación de la taxonomía de agentes*. Definidas las clases e identificados los agentes pertenecientes a cada clase, hay que catalogarlos según sea su condición en tres grupos bien diferenciados: productos, recursos y órdenes. Los productos son todos los elementos que sean insumos en bruto o semielaborados, y más en general, todo aquel fragmento de material que se encuentre dentro del sistema (o en espera) y que sea susceptible de sufrir alguna operación de transformación. Se considera recurso a todo elemento que pueda ofrecer algún tipo de servicio a los productos o ayudar a que otros recursos puedan ofrecer sus servicios, es decir, que pueden asistir tanto a productos como a otros recursos. Por último, toma carácter de orden todo aquel elemento que se integre en la burocracia del sistema y que determine cuales son las condiciones y los pormenores con los que debe trabajar el sistema.

Por último, la *definición de la estructura*. Todos los agentes dentro del sistema se encontrarán en un mismo nivel, de forma que todos pueden interactuar con todos. Por tanto, se trata de una jerarquía ausente, o lo que se introduce en este Proyecto Fin de Carrera como heterarquía. El funcionamiento de las interacciones en un sistema mono-nivel es análogo a un sistema jerárquico con la diferencia de que los agentes recurso son solicitados por todo el resto de agentes al mismo nivel. Se podría decir que su funcionamiento es paralelo a un sistema económico de competencia perfecta donde la oferta es de conocimiento libre y quien más esté dispuesto a pagar es el primero que accede al servicio.

El grado de abstracción para llevar a cabo una identificación de clases y agentes adecuada debe fijarse atendiendo a las tomas de decisiones. Toda tarea de fabricación proviene de otras tareas de toma de decisiones. Cuando se ha de tomar una decisión, considerando la consecuente acción física, deben intervenir en ella una serie de elementos del sistema y, por tanto, de agentes. Pues bien, el grado de abstracción debe ser tal, que se considere como agente todo elemento significativo del entorno que se estime con entidad propia a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de proceso en dicho entorno.

5.2. Definición de agentes

Esta es la *fase de diseño* donde se establecen la estructura de los agentes y sus características de diseño. En función del tipo de agente, las características de diseño varían en mayor o menor medida, pero la estructura es la misma para todos ellos. Como se ha indicado al

introducir el modelo PROHA, los agentes que lo componen son de tipo deliberativo, más sucintamente, agentes BDI. Por tanto, la estructura del diseño de cada uno de estos agentes se divide en cuatro partes: tres de ellas dedicadas a la definición de los deseos, creencias e intenciones, y la última dedicada al análisis de las percepciones obtenidas del entorno por medio de los sensores. Estas cuatro facetas del diseño de los agentes deben ser claramente definidas en la programación de estos sistemas software.

Las *creencias* determinan la base de conocimientos del agente. Dentro de las características de diseño, las creencias es la información que debe tener fija cada agente para poder realizar la toma de iniciativas, mediante procesos de negociación y coordinación. Las creencias se determinan a partir de la actualización de dichas creencias en un instante anterior, mediante la percepción del entorno. Los *deseos*, como su propio nombre indica, define cuales son las pretensiones que tienen los agentes dentro del sistema productivo. El hecho de que tengan esas pretensiones no quiere decir que siempre se pueda conseguir satisfacerlas. Estos deseos determinan las posibilidades de actuación, mediante las creencias y las intenciones. Las *intenciones* representan aquellos estados del sistema a los que los agentes se comprometen a conseguir. Las intenciones se actualizan constantemente gracias a los deseos, creencias y las propias intenciones en un instante anterior, con el fin de determinar hasta que punto pueden ser ejecutadas. Se actualizan para determinar la factibilidad de alcanzar los objetivos. Existen ocasiones en las que, a pesar de las intenciones, no se pueden conseguir los objetivos, por lo que el agente debe saber determinar cuando se encuentra en esa situación para abortar el intento, Si no se abortase conllevaría una pérdida de tiempo necesario. No obstante, en sí mismos son persistentes, ya que no pueden perder las directrices de actuación. En definitiva, las intenciones son persistentes, se pueda, o no, lograr materializar dichas intenciones. Las *percepciones* son toda la información que define el estado instantáneo de un sistema. Dicha información se obtiene mediante sensores de varios tipos. Se establece un flujo de información continuo para poder actualizar el sistema de creencias, deseos e intenciones. Todo este proceso se apoya en la tecnología RFID-IMS, anteriormente definida.

5.3. Modelos de interacción de PROHA

La *coordinación* es el proceso mediante el cual los agentes se aseguran que la sociedad de agentes que forman actúa correctamente (Jennings, 1996). Mientras que el proceso de coordinación resulta inapreciable, la ausencia de dicho proceso se convierte en inmediatamente aparente. Tanto en PROHA como en el resto de MASs (*MultiAgent System*), la coordinación no es una propiedad implícita al sistema sino a los agentes; en los MASs la coordinación se torna especialmente compleja ya que no existe un control centralizado sino que los agentes están distribuidos por lo que cada agente puede escoger las acciones a realizar de forma autónoma. En el establecimiento de la coordinación, la dificultad viene, en primer lugar, porque las acciones de los agentes se pueden interferir unas con otras; en segundo lugar, porque puede haber restricciones globales que acoten el diseño; y finalmente, porque un solo agente no es capaz de alcanzar los objetivos del sistema sino que necesita de otros agentes (Bussmann *et al.*, 2004). Para definir la coordinación se requiere de la definición de las posibles dependencias existentes entre los agentes. Se puede tomar la coordinación como la gestión de las dependencias entre agente de forma que si no existen dependencias no hay nada que coordinar (Malone y Crowston, 1994): (i) *Dependencia Unilateral*, cuando un agente depende de otro pero no al contrario; (ii) *Dependencia Mutua*, cuando dos agentes dependen el uno del otro para alcanzar el mismo objetivo; y (iii) *Dependencia Recíproca*, cuando dos agentes dependen el uno del otro para obtener objetivos distintos.

El otro tipo de interacción a detallar es la *negociación*. La negociación es el proceso mediante el cual la toma de decisiones se efectúa gracias a dos o más partes. Dichas partes primero enuncian demandas contradictorias o diferentes, cuando menos, y posteriormente, las van corrigiendo hasta un punto común mediante un proceso de concesión o de búsqueda de nuevas alternativas. Uno de los objetivos de los MASs es permitir que los agentes negocien entre ellos a fin de resolver cualquier tipo de conflicto. La negociación en PROHA se rige según el modelo GEM (*General Equilibrium Market*), capaz de optimizar la asignación de bienes y recursos entre los agentes a través de la determinación del precio de mercado, que consiste en variar el precio de mercado hasta encontrar una óptima asignación de bienes. Siendo más preciso, GEM (Sandholm, 1999) consiste en un sistema de productores y consumidores que generan o consumen bienes y servicios. Por tanto, la estructura de agentes es como un mercado de competencia perfecta (Cenfor y García, 2005). Al igual que en la vida real, es preciso, para obtener los mayores beneficios, disponer de información veraz y reciente. Esta necesidad queda cubierta ya que la tecnología RFID-IMS asume las funciones de identificación de objetos y de la gestión de la información.

Referencias

- Brooks R.A. (1986). "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, pp. 14 – 23.
- Bussmann S.; Jennings N.R.; Wooldridge M. (2004). *Multiagent Systems for Manufacturing Control. A Design Methodology*. Springer Series on Agent Technology. Springer-Verlag: Berlin, Alemania.
- Caridi M.; Cavalieri S. (2004). "Multi-Agent Systems in Production Planning and Control: An Overview", *Production Planning and Control*, Vol. 15, No. 2, pp. 106-118.
- Cenfor A.; García A. (2005). "Control Basado en Agentes Mejorados con la Tecnología Auto-ID". Aceptado en *RIAI*, Vol. 2, No. 2.
- Frayret J.M. ; D'Amours S ; Montreuil B. (2004). "Coordination and Control in Distributed and Agent-Based Manufacturing Systems", *Production, Planning & Control*, Taylor & Francis, Vol. 15, No. 1, pp. 42-54.
- García A. (2003). "Célula de Empaquetado con Arquitectura de Control basada en Holones y Tecnología de Identificación por Radiofrecuencia", *XXIV Jornadas de Automática FAE*, León, España.
- Jennings N.R. (1996). "Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence", in O'Hare G. M. P.; Jennings N.R. (Eds.). *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. pp. 187 – 210. John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- Malone T.W.; Crowston K. (1994). "The Interdisciplinary Study of Coordination", *ACM Computing Surveys*, Vol. 26, No. 1, pp. 87 – 119.
- McFarlane D. (2002). "Auto-ID based Control: An Overview", *Auto-ID Centre White Papers*. MIT.
- Rao A.S.; Georgeff M.P. (1992). "An Abstract Architecture for Rational Agents", *Third International Conference on Principles of Knowledge Representations and Reasoning (KR '92)*, pp. 439 – 449. Boston, MA, USA.
- Sandholm T.W. (1999). "Distributed Rational Decision Making", en Weiss G. (Ed.), *Multi-agent Systems*, pp. 201 – 258. MIT Press: Cambridge, MA, USA.
- Suda, H. (1989). "Future Factory Systems Formulated in Japan", *Techno Japan*, Vol. 22, pp. 15-25.
- Van Brussel H.; Wyns J.; Valckenaers P.; Bongaerts L.; Peeter P. (1998). Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA. *Computer in Industry*, 37, pp. 255-274.

Wooldridge M.; Jennings N. R. (1995). "Intelligent Agents: Theory and Practice", *Knowledge Engineering Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 115-152.

Wooldridge M.; Jennings N.R.; Kinny D. (2000). "The GAIA Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design", *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol. 3, No. 3, pp 285-312.