

Estudio del flexible manufacturing system (FMS) en la automatización de procesos

Andrés Holguín Restrepo
Ingeniería Mecatrónica
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
aholguinr@unal.edu.co

I. RESUMEN

En este paper se discuten diferentes aspectos relacionados con los sistemas de fabricación flexible (FMS, por sus siglas en inglés). En primer lugar, se destaca la importancia de implementar herramientas de seguimiento en tiempo real para mejorar la planificación, control e inspección de los productos finales, y se propone el uso de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) como una solución viable y eficiente para este propósito.

El artículo describe una simulación de un sistema de seguimiento en tiempo real utilizando tecnología RFID, que permitiría el seguimiento de la calidad y las actividades de inspección en los FMS mediante el método de Redes de Petri Coloreadas (CPN). El uso de etiquetas RFID en la base que lleva las piezas a procesar en lugar de en las propias piezas sugiere como una forma de reducir los costos de fabricación. La simulación muestra que las partes pueden ser rastreadas exitosamente y proporciona mejoras en la producción.

Por otro lado, se presenta una solución de celda de ensamble automático (FAA, por sus siglas en inglés) flexible que ha sido desarrollada por el Instituto Real de Tecnología-IVF. En este caso, se destaca la necesidad de extender y mejorar los conceptos de flexibilidad sin aumentar la complejidad, mediante la creación de sistemas de ensamble modular con interfaces basadas en estándares abiertos. El objetivo es que sea posible adoptar equipos de diferentes proveedores en el sistema, y se describe el proyecto SHARE (Ensamblaje Híbrido Estándar Reactivo) como una iniciativa que busca desarrollar un concepto de sistema que pueda adaptarse a una amplia gama de productos y fluctuaciones de volumen.

II. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de manufactura flexible (FMS, por sus siglas en inglés) son una tecnología avanzada que ha revolucionado la forma en que se produce y se ensambla en la industria manufacturera. Un FMS es un conjunto integrado de equipos de producción automatizados, software de control y sistemas de gestión de materiales que se utilizan para producir un amplio rango de productos con mínima intervención humana. Estos sistemas ofrecen una variedad de ventajas, incluyendo una mayor eficiencia en la producción, una mayor capacidad de adaptación a cambios en la demanda y la posibilidad de fabricar productos personalizados en pequeñas cantidades.

Los FMS se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde la producción en masa de productos electrónicos y automotrices hasta la fabricación de dispositivos médicos y productos de consumo. Estos sistemas son particularmente útiles en entornos de producción que requieren una alta flexibilidad y capacidad de respuesta para satisfacer las demandas de un mercado en constante cambio. Los FMS están diseñados para permitir que los fabricantes produzcan una variedad de productos diferentes en la misma línea de producción, lo que reduce los costos de producción y mejora la eficiencia de la línea.

Un FMS típico consta de una serie de equipos automatizados, como robots, sistemas de manipulación de materiales y máquinas herramienta, que están conectados por un sistema de transporte de materiales. El software de control del sistema se utiliza para programar y coordinar la producción de los diferentes componentes en la línea de producción. Los FMS también incluyen sistemas de gestión de materiales, como sistemas de almacenamiento y transporte, que se utilizan para llevar los materiales a los diferentes puntos de la línea de producción.

Una de las principales ventajas de los FMS es su capacidad para adaptarse rápidamente a los cambios en la demanda del mercado. Los fabricantes pueden cambiar fácilmente la producción de un producto a otro en la misma línea de producción sin tener que reconfigurar todo el sistema. Además, los FMS permiten a los fabricantes producir pequeñas cantidades de productos personalizados, lo que les permite satisfacer las demandas de los clientes de manera más eficiente.

III. DESARROLLO DE FLXIBLE AUTOMATIC ASSEMBY (FAA) CON ENFOQUE ORIENTADO AL PROCESO

El artículo "Process-Oriented Assembly System Concepts - The MarkIV Approach -" habla sobre los sistemas de ensamble flexible automático (FAA) desarrollados por la Unidad de Sistemas de Ensamblaje del Real Instituto de Tecnología-IVF. A lo largo de los años, han desarrollado varias soluciones de celda FAA innovadoras y flexibles, como Mark II, MarkIIF y Mark III, que cumplen con varios requisitos, como permitir la automatización paso a paso, la coexistencia de operaciones manuales y automáticas, la capacidad de manejar una gran variedad de productos/variantes, permitir diferentes soluciones de alimentación y tener una capacidad tan grande como sea

posible. Además, estas soluciones de celda FAA se desarrollaron aún más en lo que se conoció como una máquina de ensamblaje estándar.

A pesar de ganar premios, ninguna de estas soluciones llegó a una aplicación industrial generalizada. La falta de respuesta de la industria llevó al equipo de investigación a revisar los factores que influían en esta situación. La perspectiva industrial señaló que las demandas cada vez mayores de flexibilidad extrema de capacidad y expandibilidad paso a paso plantean ciertas limitaciones en el concepto de celda fija y enfoque de ensamblaje en línea. Teóricamente hablando, el proceso de ensamblaje en sí no ha sido lo suficientemente estructurado y estandarizado. La falta de conocimiento del proceso de ensamblaje y el equipo inadecuado han llevado a soluciones que no pueden manejar modificaciones de productos y procesos. Las soluciones propuestas y aplicadas han sido específicas del producto, lo que resulta en soluciones que no son fácilmente expandibles ni verdaderamente flexibles.

El artículo también señala que la columna vertebral de la industria de cualquier país está compuesta por empresas pequeñas y medianas, que a menudo son subcontratistas de grandes corporaciones. Dado que el mercado exige respuestas rápidas de tiempo al mercado, ciclos de vida cortos de los productos y variantes de productos orientados al cliente cada vez mayores, estas pequeñas y medianas empresas (PYMES) inevitablemente deberán cumplir con estos requisitos. Esto implica que las empresas deben ser capaces de manejar fluctuaciones de capacidad, ciclos de vida cortos de productos, un alto número de variantes de productos y entregas Just-in-Time. Estos problemas subrayan la necesidad de flexibilidad de capacidad y expandibilidad paso a paso.

Además, estas empresas a menudo tienen bajos niveles de inversión y competencia en el ensamblaje automático, lo que acentúa aún más los problemas. En resumen, el artículo destaca la necesidad de soluciones de ensamblaje flexibles y estandarizadas que permitan a las empresas pequeñas y medianas cumplir con los requisitos de capacidad flexible y expandibilidad paso a paso.

III-1. Estandarización: Con base en lo anterior, El artículo presenta la propuesta de un grupo de investigación para consolidar la idea de que la clave para tener sistemas de la Administración Federal de Aviación (FAA) verdaderamente flexibles, económicos y fáciles de usar radica en la creación de un conjunto de componentes simples y estandarizados, orientados al proceso de ensamblaje. El objetivo de esta propuesta es presentar soluciones concretas a problemas específicos de ensamblaje, ofreciendo herramientas y operaciones especiales para casos particulares. La estandarización debería permitir la integración de cualquier equipo de ensamblaje en cualquier otro equipo de ensamblaje, y para ello se deben estandarizar interfaces mecánicas, eléctricas, neumáticas, electrónicas y de software, y hacerlo en diferentes niveles. Además, es necesario estandarizar el control de los sistemas, el equipo y las interfaces entre el equipo y las herramientas. La propuesta sugiere que los beneficios de la estandarización incluyen tiempos de instalación más cortos, menores costos de inversión,

reconfiguraciones más simples y rápidas, y la creación de un mercado de equipos de segunda mano. La aplicación de interfaces estándar es un factor clave en esta propuesta, y se espera que, al hacerlo, se reduzca significativamente el tiempo entre la decisión de una empresa de invertir en el ensamblaje automático y el inicio real de la producción. Sin embargo, el diseño de los productos también podría verse afectado por la estandarización propuesta. La complejidad del problema exige la colaboración de distintos actores, incluidos proveedores, desarrolladores de software y fabricantes de equipos. La propuesta sugiere la necesidad de estandarizar los equipos en muchos campos, como la programación, la interfaz mecánica y eléctrica, y las subinterfaces entre las máquinas y sus equipos auxiliares, de modo que diferentes equipos puedan realizar diferentes operaciones. La propuesta también sugiere que la estandarización debe realizarse en diferentes niveles, desde la comunicación entre el sistema de ensamblaje y el sistema empresarial de la empresa hasta el nivel del equipo. El artículo también proporciona un ejemplo de una organización que ha adoptado esta estrategia, el S.T.E.P, que consiste en 17 empresas europeas que suministran sistemas de ensamblaje al mercado. Sin embargo, debido a la falta de conocimiento conciso y aplicado sobre los procesos de ensamblaje, aún pueden existir obstáculos para la reutilización de equipos en aplicaciones similares sin modificaciones importantes.

III-2. HFAA & SHARC: Con todo y lo anterior, se generaron dos proyectos principales que tratan de solucionar este problema de los FAA.

El proyecto HFAA (3 Hyper Flexible Automatic Assembly) fue iniciado para satisfacer las demandas futuras de ensamblaje planteadas por la industria en general. Las soluciones de ensamblaje predominantes adoptadas hoy en día tienden a ser específicas del producto, generalmente manuales y principalmente en línea. El proyecto HFAA pretende modificar este escenario, y para ello, se centra en un enfoque estructurado del proceso de ensamblaje en sí mismo. El proyecto está siendo llevado a cabo por el Real Instituto de Tecnología (KTH), el Instituto de Tecnología de Linköping (LiTH) y el Instituto Sueco de Investigación en Ingeniería de Producción (IVF), con financiamiento parcial de PROPER (Programa de Investigación en Ingeniería de Producción) y la industria. El proyecto HFAA abordará cuatro áreas de proyecto distintas: el análisis del proceso de ensamblaje y sus interacciones con el diseño del producto y los equipos de ensamblaje; el análisis de los requisitos de mini-ensamblaje y sus necesidades en términos de equipos específicos; el estudio de las fábricas de ensamblaje relacionadas con la producción de modelos mixtos y la personalización en masa; y el desarrollo de un concepto de sistema de ensamblaje híbrido, modular y estandarizado.

El objetivo final es crear un concepto de sistema HFAA modular que conste de componentes de sistema de ensamblaje estandarizados. Se pondrá un énfasis particular en el análisis y estandarización del proceso de ensamblaje. El sistema real, el Mark IV detallado en este documento, solo debe considerarse como una plataforma de ingeniería para la evaluación de un conjunto dado de ideas y conceptos.

El proyecto SHARC (Standardised Hybrid Assembly with Reactive Capacity) se centra en el desarrollo de un concepto HFAA modular, comercialmente disponible, basado en un conjunto de componentes estandarizados, orientados a procesos y de bajo costo. El proyecto SHARC está en proceso de ser reconocido por la Comisión Europea y está compuesto por usuarios finales, proveedores de sistemas, desarrolladores de software y de sistemas de investigación y desarrollo. Los socios incluyen a MCA OY (proveedor de sistemas y coordinador del proyecto), A.CS GmbH (plataforma genérica de controlador de robot), Autic AB (desarrollo de software), CRS Robotics Nordics AB (proveedor de robots), Easy Living AB (PYME/usuario final), la Universidad Tecnológica de Delft (investigación y desarrollo) y el IVF Estocolmo y KTH (investigación y desarrollo).

Este grupo de investigación tiene la intención de aplicar los resultados de HFAA en una verdadera aplicación industrial. El objetivo final es crear un concepto de sistema HFAA modular, comercialmente disponible. Los objetivos técnicos del proyecto SHARC están incluidos en lo que se espera que el concepto HFAA exhiba. Los requisitos estándar de cambios automáticos, manipulación automática de materiales y ensamblaje automático están incluidos en el HFAA/SHARC. La solución HFAA/SHARC también pretende adoptar resultados de investigaciones anteriores, como el principio de sublotes.

III-A. MARK IV

Ya habiendo explicado los proyectos HFAA y SHARC, cabe la pena mencionar acerca del Mark IV, la cual se está construyendo para permitir a los usuarios pasar de estaciones de ensamblaje manuales individuales a células seriadas FAA y, con el tiempo, a un sistema de ensamblaje de robots a gran escala. La idea es crear componentes estándar que permitan adaptar fácilmente el sistema a una amplia gama de productos, variantes y fluctuaciones de volumen. Se apoya en la idea de un enfoque inicial de ensamblaje puramente manual que se puede actualizar a una configuración de celda de robot individual, una configuración de celda mixta manual-FAA y/o una línea de ensamblaje totalmente automatizada.

La instalación Mark IV se construye con una capacidad sobrante para ofrecer flexibilidad y facilidad de ampliación en el futuro. Se espera que la alta capacidad no sea demasiado costosa gracias a la estandarización de los componentes, lo que reducirá los costos. La idea es construir sistemas de ensamblaje con altos niveles de capacidad y diseñarlos para que esta capacidad no sea irrazonablemente costosa.

El Mark IV se compone de tres células de ensamblaje: dos células de ensamblaje robóticas y una celda de embalaje manual con funciones de control de calidad. El sistema se construirá en tres etapas separadas, lo que permitirá que Easy-Living adquiera el conocimiento necesario para ejecutar y mantener el sistema a un ritmo gradual y evaluando la actualización escalonada de la solución. El Mark IV - Cell layout ensamblará todos los productos pero a un volumen anual considerablemente menor. La introducción de la segunda célula requerirá inversiones menores, ya que las máquinas

de ensamblaje ya están operativas. Esta disposición permite volúmenes anuales más altos y un flujo de material optimizado. Solo faltan las operaciones de empaque y prueba que se incorporarán en la etapa final: celda 3.

Sumado a esto, se enfatiza la importancia de construir sistemas de ensamblaje con alta capacidad y diseñarlos para que esta capacidad no sea irrazonablemente costosa. También subraya la importancia de la estandarización de los componentes, lo que debería llevar a una reducción de los costos, aunque es importante crear robustez en esta estandarización. El proyecto HFAA y la instalación Mark IV se realizan en colaboración con PYMEs y proveedores de sistemas de ensamblaje para lograr soluciones estandarizadas y robustas.

III-B. Conclusiones

Llegado a este punto, se puede determinar que el proyecto HFAA/SHARC se enfoca en el desarrollo de soluciones de ensamblaje automático para productos de tamaño pequeño a mediano. Se utilizan métodos como DFA2 y MFD para clasificar el equipo de ensamblaje necesario y seleccionar los módulos requeridos para el concepto HFAA. Se espera que el mercado de sistemas de manipulación de robots tenga un crecimiento anual promedio del 5,3 % hasta el año 2005, lo que hace que el desarrollo de este tipo de soluciones sea importante.

Además, se busca crear una serie de soluciones de componentes alternativos según el producto específico o la tarea relacionada con el proceso. El sistema de ensamblaje automático en sí alcanzará un nivel de complejidad dado, por lo que los componentes dentro de él no deben contribuir a aumentarlo aún más. El mantenimiento interno simple y efectivo también debe formar parte de la ecuación de flexibilidad. El proyecto HFAA se inició en 1999 y durará cuatro años, mientras que el proyecto SHARC se espera que comience en abril de 2001. La instalación Mark IV se considera como una plataforma de ingeniería y prueba para algunos de los resultados obtenidos por el proyecto HFAA/SHARC.

IV. SIMULACIÓN RFID PARA MEJORAR CALIDAD EN FMS.

Para este caso se va a hablar acerca del artículo: "Simulation of Real Time Tracking System Using RFID Technology to Enhance Quality Activities in Flexible Manufacturing System". Este artículo propone la implementación de un sistema de seguimiento en tiempo real utilizando la tecnología RFID para mejorar la calidad y las actividades de inspección en un Sistema de Manufactura Flexible (FMS), lo que resultaría en una mayor eficiencia y reducción de costos. Se utilizó el método Colored Petri Net para simular el sistema y se sugiere utilizar etiquetas RFID en las bases que transportan las partes a procesar en lugar de colocar las etiquetas en las partes mismas.

La tecnología RFID ha sido utilizada desde los años 70 en la gestión de la cadena de suministro. A partir de los años 2000, la tecnología RFID se considera una herramienta significativa para mejorar los sistemas de manipulación de materiales en el entorno de producción. El aumento del nivel

de tecnología en el área de producción puede aumentar el rendimiento y la productividad. Una de estas tecnologías es la tecnología RFID. La implementación de RFID ha pasado por cierto nivel de utilización. Se utiliza principalmente en el seguimiento de productos en la línea de producción, como en el seguimiento de paletas, cajas e ítems. El seguimiento de nivel de paleta es el más citado. RFID también se ha utilizado en la parte de seguimiento de contenedores y seguimiento del trabajo en proceso, lo que es más probable en la industria manufacturera. Aún no se utiliza RFID para el seguimiento de activos internamente, el seguimiento de activos reutilizables en la cadena de suministro y el seguimiento de empleados. Sin embargo, todavía se está considerando.

La aplicación de RFID se puede clasificar en cuatro tipos que son automatización, afirmación, sincronización e innovación. La automatización se aplica normalmente internamente e involucra a pocos lectores de RFID. Por lo tanto, se considera como la aplicación de RFID más simple. Permite la captura automática de la identidad del ítem. Además, la afirmación es el seguimiento de un ítem asociando la identidad con su ubicación. La información rastreada se comparte entre los socios. La sincronización consiste en mantener un registro del tiempo del evento. La más compleja es la innovación. Ocurre cuando RFID se utiliza para desarrollar una nueva forma de hacer negocios. El uso de la tecnología RFID en el entorno de producción, especialmente en líneas de fabricación complejas, ayudará a reducir esta complejidad y puede aumentar la trazabilidad de las piezas dentro de la línea de producción. Una de las líneas de fabricación más complicadas es el sistema de fabricación flexible (FMS). Existen muchos tipos de flexibilidad en el sistema de fabricación, como la flexibilidad de la máquina, la flexibilidad de producción, la flexibilidad de mezcla, la flexibilidad de producto, la flexibilidad de enrutamiento, la flexibilidad de volumen y la flexibilidad de expansión. La flexibilidad de fabricación puede tener un significado diferente. Zhang et al. definen la flexibilidad de fabricación como la capacidad de una máquina para realizar diferentes procesos y ser económica. Parker y Wirth indican que la flexibilidad de fabricación es la capacidad del sistema de fabricación para producir un conjunto de tipos de piezas. La flexibilidad de mezcla es la capacidad de producir piezas específicas utilizando diferentes materiales (Browne et al., 1984). La flexibilidad de mezcla también conocida como flexibilidad de proceso, es conforme a los cambios en la mezcla de productos debido al uso de recursos compartidos y actúa como un escudo para proteger el producto contra la variabilidad del mercado. Los desafíos para la adquisición de FMS son que requiere una inversión de alto costo, por lo que se requiere una utilización máxima de los recursos y un tiempo y costo de producción más elevados.

IV-1. Formulación del problema: Con todo y lo anterior, se plantea la siguiente formulación del problema: Se utilizó RFID en equipo AGV para evitar conflictos de lectura. Se simuló la línea de producción con CPN y se usaron tags RFID en el equipo en lugar de en los productos individuales. Se sugiere que futuras investigaciones cubran cada parte

individual en el sistema de fabricación con tecnología RFID más avanzada.

IV-2. Caso de estudio: De este modo, se presenta un estudio de caso con tres estaciones de fabricación y una estación de inspección de calidad que utiliza etiquetas RFID. El modelo CPN utilizado asume cuatro tokens diferentes que representan las partes en la estación de origen, cuatro tokens en la estación base con etiquetas y cuatro tokens en la estación RFID para las referencias a escribir en las etiquetas. Las partes se transfieren de la estación base con etiquetas a las máquinas y luego a la estación de inspección de calidad. Una vez que se completa el proceso, la estación base con etiquetas se reutiliza.

A partir de esto, se define una red coloreada de petri (CPN) vista en la figura 1.

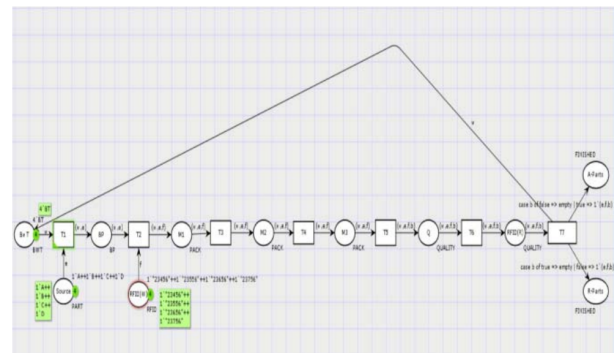


Figura 1.

De esta red, se asume lo siguiente:

- Cuatro fichas diferentes representan las partes A, B, C y D en el lugar de Origen.
- Cuatro fichas (BT) en el lugar BwT hacen referencia a Bases con Etiquetas.
- Cuatro fichas (23456, 23556, 23656 y 23756) en el lugar RFID (W) hacen referencia a las referencias que serán escritas en las Etiquetas.

De este modo, se logran definir la interpretación de lugares y de transiciones en la CPN vistas en la tabla I y II.

Tabla I
INTERPRETACIÓN DE LUGARES EN LA CPN

Place	Interpretation
BwT	Base with Tag
Source	Source for parts to be processed
RFID(W)	RFID Writer
BP	Base with Tag contains part from source
M1	Machine 1
M2	Machine 2
M3	Machine 3
Q	Quality and Inspection
RFID(R)	RFID Reader
A-Parts	Accepted Parts
R-Parts	Rejected Parts

Con todo y lo anterior, se logran realizar las simulaciones de la CPN que permite monitorear las etapas de estados y

Tabla II
INTERPRETACIÓN DE TRANSICIONES DE LA CPN

Transition	Interpretation
T1	Immediate transition of part to Base with Tag
T2	RFID writes data in Tag
T3	Machine 1 performs an assigned process
T4	Machine 2 performs an assigned process
T5	Machine 3 performs an assigned process
T6	Inspection of part
T7	RFID reads data from Tag and distributes part in accepted parts or rejected parts

transiciones de procesos que existen en toda la red de manera clara y eficiente para la interpretación del usuario.

IV-3. Conclusiones: Con todo y lo anterior, se puede finalizar diciendo que este estudio utiliza la simulación mediante Colored Petri Net para entender el uso de la tecnología RFID en FMS. Se propone asignar la etiqueta RFID en la base para ahorrar costos, y el uso de técnicas de simulación reduce los riesgos en la implementación de tecnologías nuevas.

REFERENCIAS

- [1] H. Alsterman and M. Onori, "Process-Oriented Assembly System Concepts - The MarkIV Approach, in Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, Soft Research Park, Fukuoka, Japan, May 28-29, 2001.
- [2] M.H.F. Al Hazza, E.Y.T. Adesta, and A.H. Taha, "Simulation of Real Time Tracking System Using RFID Technology to Enhance Quality Activities in Flexible Manufacturing System," Manufacturing and Materials Engineering Department, Faculty of Engineering, International Islamic University Malaysia, Kuala Lumpur, Selangor, Malaysia, 2012