

Recepción: 07 de diciembre de 2014

Aceptación: 22 de diciembre de 2014

Publicación: 29 de diciembre de 2014

EMPLEO DE ROBOTS EN SISTEMAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLE

THE USE OF ROBOTS IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Mauro García Mira¹

Francisco Belda Llopis²

Borja Reig Ortells³

David Juárez Varón⁴

1. Máster Universitario en Ingeniería de Organización y Logística. Ingeniero Técnico en Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: maugarmi@epsa.upv.es
2. Máster Universitario en Ingeniería de Organización y Logística. Ingeniero Técnico en Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: frabell4@epsa.upv.es
3. Máster Universitario en Ingeniería de Organización y Logística. Ingeniero Técnico en Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: borreior@epsa.upv.es
4. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería (programa del dpto. de Ingeniería Mecánica y Materiales). Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: djuarez@mcm.upv.es

RESUMEN

Este artículo trata de analizar el impacto de la tecnología robótica en los procesos de fabricación. Analiza el porqué de su implantación y de su importancia en los sistemas de fabricación flexible, así como las últimas investigaciones que se están realizando sobre esta tecnología y que en poco tiempo pasarán a ser una realidad y a formar parte de los procesos de fabricación industrial. Por otra parte se analizan algunas de las claves de su funcionamiento, como son los movimientos que pueden realizar, las funciones y demás características. Finalmente, se introducen algunos de los productos más recientes en el mercado que se consideran importantes y que pueden suponer un avance respecto a la tecnología que se ha empleado hasta el momento.

ABSTRACT

This article attempts to analyze the impact of robotics technology in manufacturing processes. Discusses the reason for its implementation and its importance in flexible manufacturing systems, and the latest research being done on this technology and which soon will become a reality as part of manufacturing processes. Moreover some of the keys to its operation are discussed, as are the movements that can perform the functions and other features. Finally, some of the latest products on the market are introduced which are considered important and may incur an advance on technology that has been used so far.

PALABRAS CLAVE

Robot, fabricación, flexible, SFF, industria.

KEY WORDS

Robot, manufacturing, flexible, FMS, industry

INTRODUCCIÓN

En este artículo se va a analizar el impacto de la tecnología robótica en los procesos de fabricación. Se abarca el porqué de su implantación y de su importancia en los sistemas de fabricación flexible, así como las últimas investigaciones que se están realizando sobre esta tecnología y que en poco tiempo pasarán a ser una realidad y a formar parte de los procesos de fabricación industrial. Por otra parte se analizarán algunas de las claves de su funcionamiento, como son los movimientos que pueden realizar, las funciones y demás características. Finalmente, se introducirán algunos de los productos más recientes en el mercado que se consideran importantes y que pueden suponer un avance respecto a la tecnología que se ha empleado hasta el momento.

DESARROLLO

EL ROL DE LOS ROBOTS EN LOS SISTEMAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLES

Cuando la mayoría de los ingenieros piensan en la "flexibilidad", se imaginan robots. Los dispositivos pueden realizar una amplia variedad de tareas repetitivas. Vislumbran controles programables, herramientas de fin de brazo y sistemas de visión artificial. Aunque la flexibilidad de estas máquinas se encuentra limitada por la programación informática y las piezas del componente.

"La robótica es un componente clave de la fabricación flexible", afirma Ted Wodoslawsky, vicepresidente de marketing de ABB Robotics Inc. (Auburn Hills, MI) [1]. "Todas las aplicaciones, que implican alta variedad o el montaje de alto volumen de componentes, requieren la automatización flexible. Los fabricantes tienen la capacidad de ejecutar diferentes productos en la misma línea. Eso es mucho más difícil de hacer con la maquinaria tradicional".

La industria del automóvil todavía se considera que es el modelo ejemplar para la flexibilidad robótica. Sin embargo, Wodoslawsky dice que muchas de las lecciones aprendidas por los fabricantes de automóviles y proveedores pueden aplicarse fácilmente a otras industrias y procesos.

"Los fabricantes de automóviles se enfrentan a producir una mayor variedad de vehículos en un número cada vez menor de plantas de producción", añade Walter Saxe, director de desarrollo de negocio de automoción en Applied Robotics Inc. (Glennville, NY). "Esta práctica está impulsando la necesidad de una mayor carga útil, cambios de herramienta rápidos y un mayor control de los datos para lograr la máxima flexibilidad y cumplir los exigentes detalles de producción. Esto a su vez es un desafío para los fabricantes de robots ya que deben procurar mantenerse a la vanguardia de las necesidades del mercado y avanzar en la tecnología antes de que el mercado la requiera".

Por ejemplo, los robots que disponen de control de la fuerza, ofrecen un grado adicional de flexibilidad para las aplicaciones críticas como el montaje de un sistema de propulsión. Otras nuevas herramientas y características que hacen a los robots idóneos para su implementación en sistemas de producción flexibles es que incluyen arquitectura abierta en programación, lo que permite una fácil integración con las plataformas de PLC de uso común y offline para la simulación desde ordenadores.

"Los ingenieros de fabricación deben asegurarse de que su tablero de control tiene la capacidad de gestionar, manipular y almacenar todos los datos que se requieran para la elaboración de esquemas/gráficas de gestión", dice David Huffstetler [1], market manager de Staubli Robotics (Duncan, Carolina del Sur). Puede llegar a ser un asunto crítico en los lugares donde menos te lo esperas que suceda.

Según Huffstetler, el networking, desarrolla la estandarización en los protocolos y herramientas de mantenimiento predictivo, además de la transparencia y la apertura en la capacidad del software, hará que la futura generación de robots sea aún más flexible de lo

que ya es. "Tener la tecnología robótica en el lugar donde pueden ser reprogramados rápidamente, junto con el mínimo esfuerzo de reorganización, sólo piezas de productos clave, es la esencia de la automatización flexible", explica.

Sin embargo, cuando se trata de gran flexibilidad o la capacidad de moverse rápidamente de un trabajo a otro, los robots aún no son tan eficaces como los seres humanos. El mayor culpable es la facilidad de programación, afirma Efi Lebel [2], Director General de SmartTCP Inc. (Farmington Hills, MI). "El tiempo de programación suele ser muy largo, incluso para una operación de un minuto", explica. Por ejemplo, para llevar a cabo una hora de soldadura robotizada, Lebel dice por lo general toma 15 a 20 horas de programación.

"Los robots están diseñados para ser flexibles, pero la programación es difícil y requiere mucho tiempo", añade Lebel, que ha desarrollado un software que permite que los robots sean más flexibles." Con nuestro producto, puede tomar minutos u horas, en lugar de horas o días, programar tareas, dependiendo de la aplicación." El software automatiza las tareas más complejas y tediosas de la programación de robots.

En el pasado, las partes de alimentación también limitaban la flexibilidad de los robots. "Sin embargo, estamos viendo como cada vez son más flexibles", dice Mark Handelsman, director de marketing industrial de FANUC Robotics América Inc. (Rochester Hills, MI)." "Las partes de alimentación flexibles y los sistemas de visión 3D son cada vez más frecuentes, especialmente en aplicaciones donde las partes tienen contornos o donde se varían en dimensión."

ROBOTS AUTOPROGRAMABLES

En las aplicaciones de los robots industriales, para adaptar los cambios ambientales del proceso, la reprogramación del robot tiene que ser realizada con frecuencia por los operadores. Este proceso aumenta el coste operativo y reduce la eficiencia de la fabricación.

En esta investigación se propone el uso de un robot inteligente (llamado robot "smart"), con detección avanzada y capacidad de toma de decisiones, para enseñar a los robots "babies" en la línea de producción.

Un proceso de decisión de Markov (MDP) [3] se formula y se resuelve utilizando Q-Learning, para corregir la posición de la herramienta del robot "baby". El algoritmo propuesto se implementó para enseñar a un robot industrial (baby) para llevar a cabo un proceso de alta precisión de meter una clavija en su agujero de montaje.

El robot correspondiente "smart" es una plataforma robótica móvil con una cámara en la mano. Los resultados experimentales verifican la efectividad del método propuesto.

Puesto que no hay calibración entre el sistema de visión, el robot "smart" y el robot "baby", la flexibilidad del método propuesto se incrementa en gran medida. Por lo tanto, se puede aplicar fácilmente en aplicaciones industriales donde se necesita frecuentemente de reprogramación.

SEGURIDAD

Hoy en día el uso de manipuladores robots se ha extendido considerablemente, por lo que tiene que establecerse una serie de medidas para su buen funcionamiento, es decir, diseñar y desarrollar una estrategia de seguridad para un sistema de colaboración entre humanos y robots. Aunque la utilización de la robótica en un sistema de manufactura celular es prometedora, la seguridad se debe considerar antes de que pueda materializarse proyecto

Esto es debido a que los brazos pueden interferir con los cuerpos de los componentes del sistema, que estén dentro de su espacio de trabajo, ya sean cualquier material como operarios.

Con el fin de que el robot trabaja en condiciones de seguridad, se debe aplicar los 5 principales diseños de seguridad

- (i) zonas de trabajo seguras para los humanos y los robots.
- (ii) Controlar del comportamiento del robot en base a los requisitos de seguridad,
- (iii) Establecer velocidad del robot y la zona de circulación para minimizar los riesgos de impacto.
- (iv) Sistema de visión con cámaras IP, para controlar las condiciones de seguridad del operador mediante la medición de la postura del cuerpo y la posición del operador.
- (v) El sistema de control de funcionamiento coordinado el flujo de colaboración entre el operador y el sistema de robot.

ROBOT MULTIFUNCIÓN (MULFIFUNCTION ROBOT – MFR)

Los robots industriales son unos de los dispositivos más populares usados en líneas de producción totalmente automáticas como herramienta de manejo de materiales. La problemática es encontrar un robot movimiento cíclico que de la las la máximas prestaciones a una célula producción en masa.

El objetivo de este estudio es el de maximizar la tasa de producción de una célula con robot incorporado, mediante la búsqueda de un ciclo de movimiento óptimo para un robot multifunción (MFR).

EL uso de esta clase de robots industriales hace que la célula de fabricación sea mucho más sofisticada que un robot convencional que sólo es capaz de manejo de materiales en células de trabajo.

MFR no solo es capaz de trabajar en dos etapas de procesamiento diferentes sino también para realizar simultáneamente una tarea arbitraria.

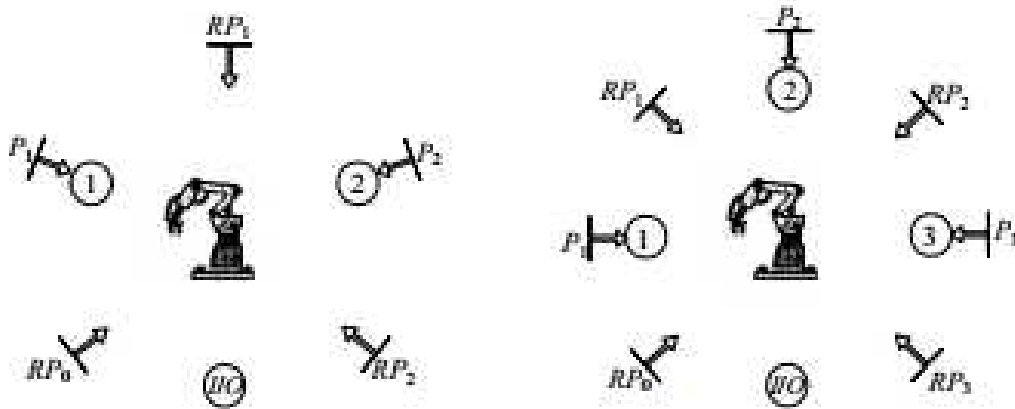


Figura 1. Ciclo de movimiento óptimo para un robot multifunción (MFR).

Las pinzas, instaladas en el extremo del brazo MFR, puede realizar tareas de control de calidad (por ejemplo, medir con precisión los diámetros) mientras que parte se lleva a la siguiente máquina, que se dedica al transporte.



Figura 2. Robot de montaje y control.

Asimismo, este documento presenta una metodología para la búsqueda de las regiones óptimas de todos los posibles ciclos y concluye con la mejora de la gestión habilidad para evaluar las mejoras en la productividad de la NIF en celdas de trabajo robotizadas.

REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO CON UNA PROGRAMACIÓN EFICIENTE

Debido al creciente número de robots, el diseño eficiente energético se está convirtiendo cada vez más en una prioridad [4]. A través de una optimización específica de la trayectoria y la posición del robot se puede lograr en sí mismo en el ahorro energético.

En los últimos años, la proliferación de los robots ha aumentado en gran medida. Esto es en parte debido a que la competencia obliga a las empresas a automatizar los procesos de fabricación. Por otro lado, los robots industriales se han convertido en medios

estandarizados de producción, lo que también abre nuevas áreas de aplicación debido a unas operaciones más fáciles de usar.

Sin embargo, el creciente uso de los robots también contribuye a aumentar el consumo de energía en la producción. La situación actual de los aumentos del precio de la energía y escasez de recursos están obligando a las empresas de la industria automotriz a replantearse su estrategia medioambiental. Una planificación eficiente de la energía de los robots industriales para reducir el alto consumo de energía es una necesidad urgente. Un método para esto es en una programación eficiente de la energía del robot.

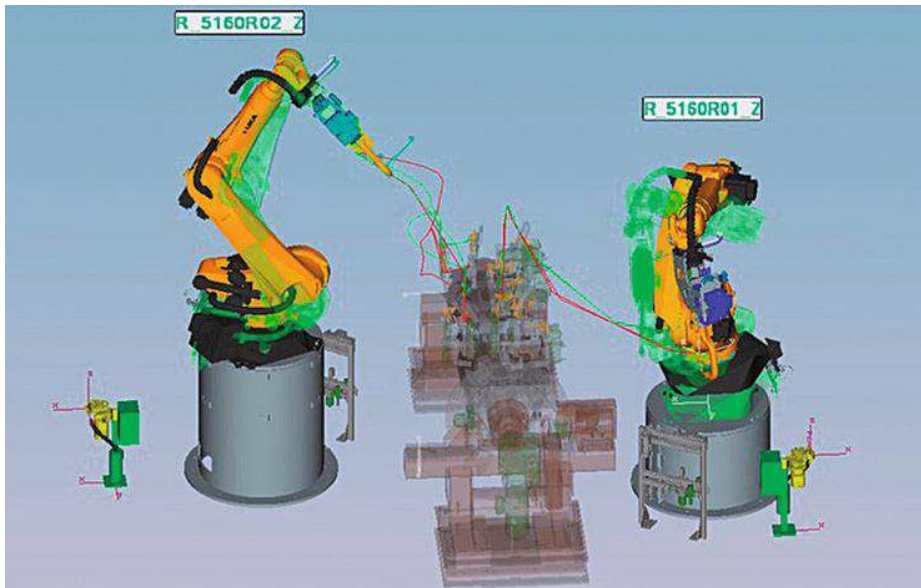


Figura 3. Optimización específica de la trayectoria.

La metodología implantada para reducir los requisitos de energía del robot [5-7] se comentan en cuatro pasos:

1. La altura de trabajo, la distancia de trabajo y la posición de inicio de la vista del robot son variables que se pueden optimizar.
2. Movimientos naturales necesitan, en promedio, un 7% menos de energía y un 8% menos de tiempo.
3. Puntos innecesarios y rotaciones deben ser eliminados. Esto acorta la longitud de la trayectoria y se reduce la energía y el tiempo necesario.
4. Velocidad o la aceleración se pueden reducir. Exploración en el IPT ha demostrado que una mejor relación de consumo de tiempo de una aceleración reducida obtuvo en forma de una reducción de la velocidad.

ÚLTIMAS TECNOLOGÍAS

LIGHTWEIGHT ROBOT (KUKA)

El “Lightweight Robot” es un robot creado y diseñado con la capacidad de emular las funciones de un brazo humano. Es una máquina pensada para trabajar junto a seres humanos, sin que suponga ningún tipo de riesgo o perjuicio a estos. Entre sus características destacan los sensores de torsión en los 7 ejes, el bajo consumo o sus 15 kilos de peso. El tamaño de dichos robots es bastante similar al de un brazo humano. El robot puede ser conectado a cualquier herramienta.

Al igual que el brazo humano el robot tiene siete grados de libertad. Esto produce que tenga mayor flexibilidad y menos áreas restringidas en comparación con los robots industriales. Todos los elementos electrónicos que lo componen están integrados en el brazo. No se necesita un voluminoso bastidor externo, como ocurre en los robots estándar. La gran novedad tecnológica es la integración de sensores en cada articulación (sensor de posición del motor, sensor de posición de la articulación y un sensor de par torsión conjunto).

La integración de sensores permite:

- El sensor de par torsión mide las vibraciones que puedan producirse y permite eliminarlas si es necesario.
- Capacitan al autómatas de compensar incertidumbres en el espacio de trabajo, por ejemplo reduciendo fuerzas de contacto o de impacto. En movimientos con gran incertidumbre, el robot ha de realizar desplazamientos más suaves, mientras que cuando se requiere alta precisión debe de mantenerse rígido.
- Con la integración de sensores en toda la estructura pueden detectarse, además de colisiones de la herramienta, las que se produzcan a lo largo de toda la superficie de la máquina.

Gracias a los algoritmos de control avanzados, se permiten movimientos complejos y la eliminación de vibraciones. Además puede controlarse el posicionamiento y velocidad del robot por “control de par”, esto hace que aparezcan nuevos campos de aplicación.

El “Lightweight Robot” mantiene dos enfoques de investigación distintos. Uno de ellos es el uso para la investigación sobre las operaciones combinadas entre ser humano y robot. El otro uso al que se pretende destinar es el de tareas de servicio técnico con diferentes herramientas.

Algunas de las aplicaciones puestas en práctica son:

- Recolección y manipulación de objetos de un escritorio o una estantería, mediante la ayuda de cámaras estereoscópicas.
- Atrapar una pelota que ha sido lanzada por una persona y es rastreada por las cámaras estereoscópicas.
- Coger y mover objetos a través del intercambio de información con un guante de datos.

En el campo de la robótica para servicios, cumple una tarea utilizando sensores internos y/o externos para orientarse o evitar obstáculos.

- Procesos de ensamblaje de alta precisión.
- Rastreo y determinación de espacios desconocidos mediante reconocimiento de superficie por contacto

VA1400 MOTOMAN.

El VA1400 de MOTOMAN fue el primer robot de 7 ejes y fue diseñado a finales de la década pasada.

Es de los robots con mayor productividad en soldadura por arco del mundo.

En cuanto al cuerpo del robot, cabe decir que el cableado de la antorcha está guiado internamente en el brazo del robot para eliminar interferencias con la pieza de trabajo, el utillaje u otros robots cercanos.

Varios robots pueden estar instalados próximos entre sí sin interferir unos con otros, lo que permitirá una construcción de la célula de soldadura efectiva y reducida y contribuyendo a transformar la planta en una gran célula de fabricación flexible trabajando con otras áreas automatizadas.

Además, el espacio de instalación se puede minimizar ya que este robot permite un posicionamiento muy compacto. La innovación del 7º eje ha aumentado drásticamente la libertad de movimiento del robot.

Al mantener la postura óptima de soldadura en cada momento, el VA1400 ha alcanzado la más alta calidad de soldadura. Ofrece el mayor rendimiento de su clase, incluyendo el movimiento más rápido del mundo, alta repetitividad de +/-0,08 mm y un alcance de trabajo de 1,434 mm, que hacen que aumente la productividad.

Ventajas:

- 7 ejes controlados
- Carga máxima de 3 Kg
- Alcance de trabajo máximo de 1,434 mm
- Alta flexibilidad en su área de trabajo
- Ahorro de espacio

Sistemas de reconocimiento inteligente

Los procesos industriales están dotados de una gran complejidad. Su funcionamiento desde el punto de vista matemático siempre ha sido descrito mediante la teoría clásica de control. Esta teoría resulta insuficiente para ciertos comportamientos no determinísticos que presenta el sistema. A partir de esta problemática surge la inteligencia artificial.

Esta metodología tiene como objetivo sustituir al hombre en el proceso de toma de decisiones. Para ello utiliza unas bases de datos obtenidos a partir de la experiencia del

operador. Este constituye un elemento más en el esquema de control clásico, que permite la identificación de objetos, junto con su posición y orientación, es fundamental para el desarrollo de la inteligencia célula robotizada.

En la actualidad, la disponibilidad de sistemas para este propósito está dando grandes avances para las aplicaciones requeridas, pero se está investigando con varios prototipos de visión artificial.



Figura 4. Ejemplo identificación de objetos, junto con su posición y orientación.

MÚSCULOS ARTIFICIALES PDMA (MÚSCULO NEUMÁTICO PLEGADO)

Fue desarrollado para superar la fricción en seco y la deformación del material. La PDMA [8] es una estructura de membrana plisada que permite que el músculo trabaje a bajas presiones y en grandes contracciones. Las mejoras, en comparación con los otros actuadores, son:

- Reducción del 55 % en peso del actuador
- Mayor fiabilidad
- Reducción del 75 % en el tiempo de producción
- Pueden ser producidos en todos los tamaños de 4 a 50 cm

Criterio	Beneficios potenciales por operación
Productividad	Bajo coste de las piezas Coste más bajo que en las líneas de transferencia.
Sistemas	Amplia la capacidad de la maquinaria
Equipo	Reducción para un menor coste
Labor de dirección	Menor coste de inventario
Work in process	Reducción del tiempo de trabajo de la máquina
Utilización del equipo	Reducido para mas salidas.
Tiempo de ventajas de producción	Realce de las salidas continuas
Capacidad de Mantenimiento de la Producción	Mayor cantidad de movimientos para más salidas
Flexibilidad Operacional	Mejor control del capital
Introducción a la tecnología de fase	
Calidad	Reducido para menos y mejorados procesos
Medidas Preventivas	Reducido para menos costes inversión
Evaluación Medidas	Reducción de los costes de revisión
Fallos Internos	Reducción de costes en garantía etc
Fallos Externos	

Tabla 1. Ventajas de la incorporación de la tecnología en SFF.

CONCLUSIONES

Se ha analizado el impacto de la tecnología robótica en los sistemas de fabricación flexible, pues son una realidad y forman parte de los procesos de fabricación industrial.

Se han analizado algunas de las claves de su funcionamiento, como son los movimientos que pueden realizar, las funciones y otras características, como la reducción del consumo energético con una programación eficiente.

Finalmente, se han introducido algunos de los desarrollos más recientes del mercado, que pueden suponer un avance respecto a la tecnología que se ha empleado hasta el momento.

REFERENCIAS

1. Weber, A., *The Role of Robotics in Flexible Manufacturing*. Assembly Magazine, 2009.
2. SmartTCP. *3D simulation enabled the automatic welding solution for small batch & one-off production* 2009; Available from: www.simx.co.uk/software/vc/case/Smarttcp.pdf.
3. Shane. *Reinforcement Learning in R: Markov Decision Process (MDP) and Value Iteration*. 2014; Available from: <http://www.statsblogs.com/2014/01/07/reinforcement-learning-in-r-markov-decision-process-mdp-and-value-iteration/>.
4. Chen, H., et al., *Eccentricity estimation with error modeling in dynamic wafer handling*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013. **68**(1-4): p. 425-433.
5. Cheng, H. and H. Chen, *"Adult" Robot Enabled Learning Process in High Precision Assembly Automation*. Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme, 2014. **136**(2).
6. Cheng, H., H. Chen, and B.W. Mooring, *Accuracy Analysis of Dynamic-Wafer-Handling Robotic System in Semiconductor Manufacturing*. Ieee Transactions on Industrial Electronics, 2014. **61**(3): p. 1402-1410.
7. Cheng, H., et al., *Periodic Trajectory Generation and Tracking Control for a Class of Underactuated Mechanical Systems*. 2012 Ieee International Conference on Robotics and Biomimetics. 2012.
8. Boudoua, S., M. Chettouh, and M. Hamerlain, *ROBUST CONTROL FOR AN ARTIFICIAL MUSCLES ROBOT ARM*. Icinco 2009: Proceedings of the 6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Vol 2: Robotics and Automation, ed. J. Filipe. 2009. 256-262.