

Sistemas flexibles de manufactura

Eric Vallejo R.*

Resumen

En este artículo se presentan algunos conceptos relacionados con los procesos de manufactura flexible y la robótica aplicada a dichos procesos, con el fin principal de ilustrar sobre estos temas a las personas cuyo campo profesional no está directamente ligado a estas tecnologías pero que desean conocer algo de ellas y para quienes, siendo de su interés, apenas inician. Se describe también brevemente el nuevo "Laboratorio de Automatización y Robótica" de la Universidad del Norte.

Inicialmente se da un enfoque conceptual sobre manufactura flexible y los diferentes niveles en que ella podría subdividirse con base en la complejidad de los sistemas y equipos utilizados. Posteriormente se explica lo que se entiende por Robot Industrial y Sistema Robotizado, la robótica y sus aplicaciones, lo mismo que el papel que las diferentes especialidades de la ingeniería juegan en ésta. Se termina con una descripción y potencialidad del laboratorio de Automatización y Robótica de la universidad.

Palabras claves: Solución de problemas, estrategias cognoscitivas, estrategias metacognoscitivas.

Abstract

This research aims to understand the complex of cognitive and affective manifestations which occur during the process of solving mathematical problems. Its foundations lies on the theoretical principles of Cognitive Psychology and, particularly, within the theoretical framework proposed by Alan Schoenfeld which establishes the following categories: specific environment knowledge, heuristic strategies, metacognitive strategies and affective component. A multiple -cases study was carried out. The results show that these cases moved in a continuum, from those subjects whose reactions facing solving problems showed essay-error habits related to symbols management without exhibiting any control strategies, to those ones whose manifestations are similar to those of "experts".

Key words: problem solving, cognitive strategies, metacognitive strategies.

Fecha de recepción: Septiembre 15 de 1995

* Licenciado en matemáticas y física de la Corporación Universitaria de la Costa, especialista en Computadores y Sistemas Digitales de la Universidad del Valle y técnico electrónico egresado del SENA. Docente del Departamento de Electricidad y Electrónica de la Universidad del Norte, y coordinador de la Especialización en Ingeniería de Procesos Industriales y del Laboratorio de Robótica y Automatización de esa misma institución. Candidato a Ph.D en Automática e Informática Industrial. (E-mail: evalle@guayacan.uninorte.edu.co)

Introducción

Acorde con sus planes de desarrollo y basada en uno de los postulados expresados en su misión, de propender, a través de sus profesores y egresados, por el avance tecnológico de la región, la Universidad del Norte –con el fin de incentivar el espíritu emprendedor de las empresas y apoyarlas a acoger las nuevas tecnologías que impulsen necesariamente la competitividad de ellas a nivel nacional e internacional– ha logrado implementar el más moderno y completo laboratorio de robótica y automatización de la producción que existe en el país.

Con este artículo se pretende ilustrar a la comunidad en general con definiciones y conceptos básicos relacionados con la robótica y la producción automatizada. Más adelante se describirán detalladamente los equipos y capacidades del laboratorio adquirido por la universidad.

Sistemas flexibles de fabricación

Los procesos de fabricación pueden clasificarse, según el grado de automatización y sofisticación de los sistemas de control, en niveles que van desde la producción manual hasta el máximo paradigma de la *Manufactura Integrada por Computador (CIM)*, con las llamadas *fábricas de luces apagadas*. En éstas, el operario que conocemos desaparece para dar paso a las máquinas, que se encargan totalmente de la producción. El hombre sólo realiza las operaciones de

programación y supervisión del sistema.

En general, se da el nombre de fabricación o manufactura flexible a un sistema de fabricación conformado por máquinas y subsistemas enlazados por un sistema de transporte y control común, con la posibilidad de realizar diversas tareas, dentro de un margen razonable, correspondientes a diferentes piezas o productos, sin necesidad de cambiar los equipos del sistema (flexibilidad).

Los sistemas flexibles de manufactura pueden clasificarse en cinco niveles:

- Máquina-herramienta con control numérico (CNC)
- Transfer
- Célula o celda flexible de manufactura
- Línea flexible de fabricación
- Fábrica totalmente automatizada

La Máquina-herramienta CNC dispone de un control numérico propio y puede incorporar un sistema de alimentación y cambio automático de herramientas.

El **transfer** está compuesto por un conjunto de máquinas-herramientas dedicadas, con sistema de transporte y secuencia de operaciones. El control está generalmente encomendado a uno o varios *Autómatas Programables (PLC's)*.

La celda o célula flexible está formada por unas pocas máquinas, inclusive una sola, dotadas de control numérico,

con dispositivos para el cambio de herramientas y piezas, un almacén que garantiza la autonomía hasta por varias horas y un computador que coordina los labores de mecanizado, almacenamiento y transporte. Están capacitadas para maquinarse total o casi totalmente un cierto tipo de piezas, almacenarlas e inclusive hacer operaciones de control de calidad.

En las **líneas flexibles de fabricación**, varias máquinas o celdas flexibles de manufactura están relacionadas entre sí por un sistema de transporte, incluyendo, a veces, sistemas de inspección de piezas. Poseen almacenes de piezas y herramientas totalmente integrados, lo cual permite la entrada al azar de una cierta variedad de piezas. El control y monitoreo de la manufactura y la producción lo efectúa un computador.

Las **fábricas totalmente automatizadas** cuentan con un conjunto de celdas o líneas flexibles de manufactura con almacenes automatizados mediante robots. Todos los sistemas y operaciones son manejadas por el computador de fábrica, el cual se encuentra unido al sistema de gestión, pedidos, stocks y planificación de la producción.

Robot

No es fácil definir lo que es un robot, pues especialistas en el tema no logran ponerse de acuerdo. Vale recordar que aunque los primeros robots industriales hayan aparecido hace cerca de cincuenta años, se trata de un equipo relativamente nuevo en aplicaciones generalizadas en

el campo industrial. Por otra parte, el interés de los investigadores y fabricantes está llevando estas máquinas a diversos medios, con las más variadas morfologías y prestaciones. En robótica prácticamente no hay nada estandarizado; se está en pleno desarrollo (basta mirar la cantidad de lenguajes de programación propuestos). Lo que sí es definible es lo que no es un robot. En primer lugar, debemos apartar de nuestra mente la idea de una máquina construida a *imagen y semejanza* de un hombre. Al menos por ahora, los de aplicación industrial no se parecen en nada a esta concepción; en el mejor de los casos se asemejan pobremente a un brazo humano. Por otro lado, las principales características de un robot son: La reprogramabilidad, un cierto grado de autonomía y la consecuente flexibilidad. Si una determinada máquina no cumple con ellas, no puede considerarse un robot.

Las tecnologías que han contribuido a la implantación de la robótica hacen que hablemos, más bien, de *sistemas robotizados* que de robots. De hecho, un robot o un sistema robotizado puede concebirse como la unión de cuatro entidades:

- **Una cadena o sistema mecánico** con sus elementos actuadores. Estos pueden ser eléctricos, neumáticos o hidráulicos.
- **Las tareas que se van a realizar**, es decir, las acciones (el programa) que se desea que efectúe la primera entidad. Para ello es necesario un len-

guaje y un sistema capaz de describir las e interpretarlas.

- **El cerebro.** Para que un sistema robotizado pueda efectuar sus tareas debe contar con un elemento capacitado para interpretarlas y tomar decisiones. Esta es la parte *inteligente* del sistema, y puede estar constituida por diversos tipos de dispositivos. Los robots más simples o elementales y que, por ende, se utilizan en aplicaciones poco flexibles, están controlados regularmente por autómatas programables o PLC's. Los robots más avanzados están equipados con un computador especializado, un microprocesador o un microcontrolador.
- **El entorno.** Una máquina, con el nivel de *inteligencia* que posee y la tecnología sensorial involucrada, debe ser capaz de interactuar y reaccionar ante él y sus posibles cambios. El desarrollo y aplicación de los sistemas sensoriales artificiales se encargan de suministrar los elementos necesarios para hacerlo posible. Es fácil comprender que entre más avanzado sea el robot, mayor debe ser su conocimiento del entorno y más complejo su sistema sensorial. El entorno forma parte del sistema.

Robótica

La aparición e implantación de los robots industriales en los sistemas de producción ha generado un interés creciente por su estudio. De allí que haya apare-

cido la **ROBÓTICA** como un nuevo término, acuñado en el campo de las diferentes especialidades de la ingeniería. Su aparición ha cambiado drásticamente el concepto de integración y organización de la producción por dos razones fundamentales:

- El robot es una máquina conceptualmente nueva; no es una máquina renovada, readaptada o mejorada. Es realmente nueva, y se vale de las mejores tecnologías disponibles; es automática, programable y con un sistema inteligente residente en un computador, lo que la hace fácilmente integrable.
- Es altamente flexible, lo cual le confiere, a su vez, un considerable grado de flexibilidad a las unidades de producción con las que se integra.

La presencia de estas nuevas máquinas, el gran desarrollo y la acelerada introducción de los computadores en el control de procesos y de la producción y los avances en el tratamiento y manejo de la información, han generado un cambio conceptual en el manejo de los procesos de producción. En el campo industrial, la robótica ha contribuido de manera espectacular a una efectiva integración y flexibilidad de tales procesos.

Aplicaciones de la robótica

El gran desarrollo alcanzado por las tecnologías involucradas en la robótica han hecho que su auge esté en crecimiento. En consecuencia, las investi-

gaciones, desarrollos y aplicaciones de los robots han incursionado en prácticamente cualquier actividad humana.

En el campo industrial, los robots han sustituido al hombre en tareas repetitivas, que pueden resultar peligrosas o que requieren de altas exigencias de precisión, calidad y/o velocidad. En este campo son comunes las tareas de soldadura, corte, pintura, carga y almacenamiento (paletizado), ensamble, control de calidad, aplicación de pegamentos y sellantes, etc.

Fuera del campo estrictamente de la manufactura y producción, los robots se utilizan (robots de servicio) en labores en las que no es conveniente la presencia humana directa por la peligrosidad del medio, tales como el trabajo en áreas contaminadas o radioactivas, la exploración y toma de muestras en volcanes e investigaciones submarinas o porque el medio tiene altas exigencias en el control de impurezas, como ocurre en los laboratorios donde se producen y manipulan materiales semiconductores.

La medicina y las ciencias de la salud en general han encontrado en la robótica un apoyo formidable en aplicaciones que van desde la ayuda a discapacitados, tanto en equipos como camas y sillas "inteligentes," por ejemplo, hasta el desarrollo e implantación de prótesis de alta tecnología, que responden a los impulsos nerviosos. La robótica utiliza también en cirugías que requieren de alta precisión.

Los robots han entrado a medios tan diversos como la agricultura, la construcción, la minería, la exploración espacial, la vigilancia y seguridad y otro sinnúmero de frentes.

El papel de las diferentes especialidades de las ciencias y la ingeniería en la robótica

Como ya lo expresamos, en la robótica confluyen muchas tecnologías que requieren de especiales conocimientos. Si lo vemos desde el punto de vista de la aplicación, prácticamente cualquier rama de la ciencia o la ingeniería puede necesitar o aprovecharse de sus cualidades. Desde el punto de vista del estudio y desarrollo de la robótica, especialidades de la ingeniería como la industrial, la mecánica, la eléctrica y la electrónica, la ingeniería de control y la informática están claramente involucradas con ella, lo mismo que las ciencias físicas y las matemáticas aplicadas.

Los profesionales e investigadores cuya área de especialización esté relacionada con la electricidad y/o electrónica cuentan con un amplio campo de acción en la robótica. Muchos de los actuadores de los robots y sistemas robotizados en general son motores eléctricos, que requieren de técnicas de control muy precisas y tienen exigencias de tiempo real que pueden, en muchos casos, clasificarse entre los sistemas de tiempo real críticos y esenciales.

Las técnicas y estrategias de control son familiares a los ingenieros electri-

cistas, electrónicos, de sistemas y mecánicos. Por otra parte, el manejo de potencia eléctrica es materia de la ingeniería eléctrica; el de las señales y la información lo son de la electrónica y la informática, y el manejo de la neumática y la hidráulica, de la mecánica. Todas ellas están presentes en alguna parte de cualquier sistema robotizado.

En el área de la producción automatizada y el planeamiento de los procesos de manufactura, la ingeniería industrial tiene mucho por aportar.

Prestaciones del Laboratorio de Automatización y Robótica de la Universidad del Norte

El laboratorio está dividido en tres áreas principales:

- *EL Laboratorio de Robótica y Producción Automática*, compuesto por cuatro estaciones de trabajo; tres de mecanizado integradas a sendos robots y una de ensamble. Las tres estaciones de manufactura están constituidas por tres máquinas CNC, dos fresadoras y un torno. Cada una de las primeras se integran con un robot angular, antropomorfo o de rotación, SCORBOT ER IV pc, de ESHED ROBOTEC y con un grupo de alimentadores (de gravedad, banda transportadora y mesa giratoria). El torno forma parte de una estación de trabajo en la que se encuentra un robot angular SCORBOT ER V y un conjunto de alimentadores similar al descrito. La estación de ensamble la constituyen

fundamentalmente alimentadores, mesas de fijación y un robot tipo Scara, el SCORA 14 de ESHED ROBOTEC.

Por otra parte, se cuenta con plataformas para ensamblar pequeños y sencillos robots móviles con sistemas sensoriales básicos y controladores autónomos, lo que permite iniciar estudios y desarrollos con robots errantes (Rovers). Aparte de lo anterior y como un complemento para las prácticas, se dispone de un kit tipo LEGO para ensamblar sistemas integrables a las estaciones descritas o a cualquier otro sistema de automatización y un kit de sensores y actuadores con el mismo fin.

- *El Laboratorio de CIM*. Aunque no se trata, estrictamente hablando, de un sistema de Manufactura Asistido por Computador del tipo industrial descrito anteriormente, sí tiene los elementos necesarios para efectuar prácticas reales y simuladas de CIM. Está compuesto por tres estaciones integradas, unidas por una banda transportadora, más una estación independiente pero integrable. Las unidades integradas se encargan de manera automática del almacenamiento, maquinado, ensamble y control de calidad bajo la dirección del software *Open-CIM* de Eshed, el elemento que convierte todo el sistema en un laboratorio de CIM. La primera estación es el almacén automatizado (ASRS) que es manejado por un robot cartesiano. La segunda es la de maquinado, que está compuesta por un torno y una fresadora de

control numérico alimentadas y descargadas por un robot SCORBOT ER V. La estación de ensamble está formada principalmente por un robot SCORA 14, una mesa X,Y, mesas de fijación y un sistema de visión artificial y un micrómetro láser para el control de calidad. Todo el sistema es supervisado por el software de integración y control y sincronizado por un PLC. La estación independiente está dedicada a soldadura MIG, con un robot semi-industrial angular SCORBOT ER IX y puede ser integrada a la celda.

- *El Laboratorio de Simulación.* Este cuenta con ocho Pc's y un servidor destinados a desarrollar aplicaciones y efectuar diseño asistido por computador (CAD), particularmente utilizando Mastercam, del que se han adquirido cincuenta licencias.

Adicional al software de CAD/CAM (Mastercam), se dispone de una gran cantidad de licencias de software de CAD y CAM.

Conclusiones

Con la cantidad, variedad y características de los equipos adquiridos y el área física con que cuenta el laboratorio, se pueden efectuar prácticas de tipo académico, investigación y desarrollo, con lo cual la Universidad del Norte está en capacidad de ofrecer apoyo y asesoría a la industria en simulación de procesos, robótica industrial, robótica móvil, integración de sistemas, estaciones de soldadura, estaciones de mecanizado, transporte, control de calidad y ensamble de precisión, entre otras.

Bibliografía

BARRIENTOS, Antonio y otros. *Fundamentos de robótica.* Madrid, McGraw-Hill, 1997.

FU, K.S. y otros. *Robótica, control, detección, visión e inteligencia.* México, McGraw-Hill, 1990.

GROOVER, Mikell y otros. *Robótica industrial, tecnología, programación y aplicaciones.* México, McGraw-Hill, 1994.

TORNERO, Josep. *Planificación y guiado de sistemas robotizados.* Notas de clase. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 1996.