

Historia y tendencias actuales de la robótica

Cristina Urdiales, Antonio Bandera y Francisco Sandoval
Departamento de Tecnología Electrónica
E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071 Málaga, España

Abstract

Este artículo presenta un breve recorrido por la historia de la robótica, incluyendo sus antecedentes y perspectivas futuras. Asimismo, se contempla el estado actual y limitaciones de esta ciencia con respecto a las expectativas de sus comienzos.

1. Bases de la robótica actual

Inicialmente, se definía un robot como un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para trasladar materiales, piezas, herramientas o aparatos a través de una serie de movimientos programados para llevar a cabo una variedad de tareas.

El inicio de la robótica actual puede fijarse en la industria textil del siglo XVIII, cuando Joseph Jacquard inventa en 1801 una máquina textil programable mediante tarjetas perforadas. La Revolución Industrial impulsó el desarrollo de estos agentes mecánicos, siendo de mención el torno mecánico de Spencer (1830), el brazo motorizado de Babbitt (1892) y el mecanismo programable para pintar con spray de Pollard y Roselund (1938).

Las primeras patentes aparecen en 1946: son los muy primitivos robots para traslado de maquinaria de Devol. También en 1946 aparecen las primera computadoras: J. Presper Eckert y John Maulchy construyen el Eniac en la universidad de Pensilvania y la primera máquina digital de propósito general se desarrolla en el MIT. En 1954, Devol diseña el primer robot programable y acuña el termino 'autómata universal', que posteriormente recorta a *unimation*. Así llamaría Engleberger a la primera compañía de robótica. La comercialización de robots comenzaría en 1959, con el primer modelo de la Planet Corporation. Un año después, Unimation se traspasa a la Condec Corporation y comienza el desarrollo de los sistemas Unimate. La AMF Corporation (American Machine and Foundry) comercializa el Versatran, diseñado por Johnson y Milenkovic. En 1962, la General Motors incluiría el primer robot industrial en su cadena de producción en Trenton, New Jersey.

En 1964 se abren laboratorios de investigación en inteligencia artificial en el MIT, el SRI (Stanford Research Institute) y en la universidad de Edimburgo. Poco después, los japoneses, que hasta entonces habían importado su tecnología robótica, se sitúan como pioneros del mercado y la Kawasaki Heavy Industries establece un pacto de cooperación con Unimation.

En 1970 se construye un brazo mecánico para investigación en Stanford. Su inventor, Victor Scheinman, fundaría Vicarm Inc en 1974 para comercializar el prototipo, en éste caso controlado por minicomputador. En 1976, tanto la sonda Viking 1 como la 2 incorporaron brazos de robot y Vicarm incorporó microcomputadores a sus diseños. Por la misma época, la NASA inició un programa en colaboración con el Jet Propulsion Laboratory (JPL) para el desarrollo del MARS-ROVER. En 1977, Unimation adquiere Vicarm y un año más tarde desarrollan el PUMA (*Programmable Universal Manipulator for Assembly*). Más tarde, IBM y Seiki colaborarían en la creación del SCARA, con un 85 % de las capacidades del PUMA, pero a la mitad de precio.

2. Plataformas móviles

Actualmente, el concepto de robótica ha evolucionado hacia los sistemas móviles autónomos, que son aquellos capaces de desenvolverse por sí mismos en entornos desconocidos y parcialmente cambiantes sin necesidad de supervisión.

El primer robot móvil de la historia, pese a sus muy limitadas capacidades, fue ELSIE (*Electro-Light-Sensitive Internal-External*), construido en Inglaterra en 1953. Dicho robot se limitaba a seguir una fuente de luz utilizando un sistema mecánico realimentado sin incorporar inteligencia adicional. En 1968, aparecería el SHAKEY del SRI (Fig. 1.a), que incorporaba una cámara gran angular y un detector táctil. El proceso se llevaba en dos ordenadores conectados por radio, uno a bordo encargado de controlar los motores y otro remoto para el procesamiento de imagen. SHAKEY era capaz de explorar y representar el entorno mediante un mapa tipo rejilla. Aquí aparece por primera vez el problema de la localización basada únicamente en odometría, dado que el deslizamiento induce un error incremental que crece de forma no acotada en el tiempo.

En la década de los setenta, la NASA arrancaría un programa de cooperación con el JPL (Jet Propulsion Laboratory) para desarrollar plataformas capaces de explorar terrenos hostiles. Su primer fruto sería el MARS-ROVER, cuya equipación sensorial consistía en un brazo mecánico tipo STANFORD, un dispositivo telemétrico láser, cámaras estéreo y sensores de proximidad. El vehículo seguía utilizando únicamente odometría para localizarse, pero incorporaba una brújula giroscópica, dado que los errores de deslizamiento por rotación tienen efectos mucho más graves que los de traslación. El HILARE francés aportó ideas nuevas a la localización: usaba un sistema de balizas activas situadas en determinados lugares de referencia para localizarse respecto a un sistema de coordenadas absoluto mediante un sencillo proceso de triangulación. No obstante, el sistema estaba limitado a entornos cuya disposición estuviese previamente almacenada.

La siguiente plataforma digna de mención aparece en los ochenta. El CART del SRI (Fig. 1.b) trabaja con procesamiento de imagen estéreo, más una cámara adicional acoplada en su parte superior. El CART modela los obstáculos mediante las coordenadas cartesianas de sus vértices, permitiendo un cálculo de trayectorias más versátil que las rejillas. No obstante, el procesamiento de imagen requería mayor carga computacional y debía llevarse a cabo con el robot inmóvil durante más de diez minutos. Cruzar una habitación requería unas cinco horas de trabajo. También en la década de los ochenta, el CMU-ROVER (Fig. 1.c) de la Universidad Carnegie Mellon incorpora por primera vez una rueda timón, permitiendo cualquier posición y orientación del plano. El CMU-ROVER incluía un sistema de control jerárquico por niveles con intercambio de mensajes mediante una rudimentaria memoria compartida que aceleraba mucho la velocidad de proceso.

En la actualidad, la robótica se debate entre modelos sumamente ambiciosos, como es el caso del IT, diseñado para expresar emociones, el COG, también conocido como el robot de los cuatro sentidos, el famoso SOUJOURNER (Fig. 2.c) o el LUNAR ROVER (Fig. 2.a), vehículo de turismo a control remoto, y otros mucho más específicos y sencillos [4]. Entre éstos últimos se puede destacar a ROBODOC, empleado en cirugía para operaciones de cadera, CYPHER, un helicóptero robot de uso militar, el guardia de tráfico japonés ANZEN TARO, los robots mascota de Sony, el PIONEER, encargado de la limpieza en la central nuclear de Chernobyl o el DANTE II, que exploró el volcán Mt. Spurr en Alaska. En el campo de robots antropomórficos, es obligada la mención al P3 (Fig. 2.b) de Honda, que mide 1,60 m., pesa 130 Kg. y es capaz de subir y bajar escaleras, abrir puertas, pulsar interruptores e incluso empujar vehículos.

El panorama de la robótica en España, si bien recibe una financiación relativamente baja, es bastante alentador [4]. El primer robot español fué creado para pintar superficies por Josu Zabala en

1976 y recibió el nombre de GIZAMAT I y fué la base de los modelos DANOBAR y FAGOR, de Ikerlan, los primeros prototipos comerciales. Hoy en día Zabala y Ezquerro trabajan en el brazo articulado del Pathfinder europeo bajo financiación del programa Eureka. El proyecto Ultramaris de Enric Ferrer concluyó con éxito en 1998 una teleoperación de hidrocefalia gracias a un microscópico robotizado y un brazo mecánico ZEISS. El paciente se encontraba en Barcelona, mientras que el cirujano viajaba en un barco en aguas de Palma de Mallorca. Otros sistemas de interés son el submarino robótico GARBI, el helicóptero inteligente ROBTET, el robot de cuatro patas RHIMO, el recolector de naranjas AGRIBOT o la unidad magnética SACON para soldar brechas en los petroleros [4].

3. Límites de la robótica actual

Michael Knasel, director del Centro de Aplicaciones Robóticas de Science Application Inc., expuso en 1984 que los robots deberían evolucionar durante cinco generaciones. Las dos primeras, ya alcanzadas en los ochenta, incluían la gestión de tareas repetitivas con autonomía muy limitada. La tercera generación incluiría visión artificial; la cuarta, movilidad avanzada en exteriores e interiores y la quinta entraría en el dominio de la inteligencia artificial [5].

La aparición de robots de primera y segunda generación de acuerdo a la definición de Knasel puede fijarse en las culturas romana y árabe, donde ya existían autómatas tan avanzados como el *Hero's Automatic Theater and Driver* o la *Fuente del Pavo Real* [6]. Hoy en día y gracias a los adelantos tecnológicos de las últimas décadas, la construcción de robots de este tipo, si bien presenta un interesante problema de ingeniería, se puede considerar superada: en 1995 funcionaban unos 700.000 robots en el mundo industrializado: más de 500.000 se empleaban en Japón, unos 120.000 en Europa Occidental y unos 60.000 en Estados Unidos. Básicamente, los modelos comerciales se reparten en las siguientes categorías: ensamblado (11.7 %), manipulación de materiales (28.0 %), tracción (26.6 %), aplicaciones (17.0 %) y procesado (10.1 %) . Sólo un 6.6 % de la producción mundial se dedica a modelos de generaciones avanzadas. En general, el sector en que se emplea mayor mano de obra robótica es el automovilismo, si bien otras aplicaciones específicas se presentan en la tabla I.

Tabla I: Aplicaciones actuales de la robótica

Aplicación	Modelos
Mantenimiento de satélites	Ranger
Investigación	Nomad 200, Khepera, Rhino
Exploración planetaria	Rocky, Tooth, Robby
Exploración en terrenos hostiles	Lunar Rover (Antártida), Dante II (Mt Spurr)
Conducción por carretera	Argo, NavLab, VaMoRS
Telemedicina	Robodoc, Zeiss
Guía turístico	Polly
Exploración arqueológica	Mercury

La tercera generación implica el desarrollo de visión artificial. En robótica existen aplicaciones para imagen estática, como reconocimiento de objetos no supervisado, segmentación por substracción, o cálculo de divergencia y segmentación en visión estéreo [8]. No obstante, en el campo de la robótica móvil es más interesante trabajar con secuencias de vídeo, a partir de las cuales es posible calcular que objetos se están desplazando en una escena y a qué velocidades se mueven, el tiempo de contacto a cualquier punto del campo de visión y otros muchos parámetros cinéticos. Habitualmente, estos cálculos se basan en técnicas de flujo óptico, que consisten en

determinar las diferencias entre dos *frames* consecutivos de acuerdo a una serie de derivadas temporales. Inicialmente, la necesidad de *frame-grabbers* capaces de transformar vídeo analógico en digital hacía que la velocidad de captura fuese demasiado baja para calcular flujo óptico, pero la aparición de las cámaras digitales ha resuelto este problema satisfactoriamente. No obstante, quedan dos escollos importantes relacionados con la gran cantidad de datos que conlleva el vídeo: la transmisión por enlace radio en sistemas inalámbricos y la enorme carga computacional inherente al procesado de imagen. Para acelerar la transmisión de vídeo se han propuesto varios esquemas de compresión, entre los que cabe destacar el estándar MPEG. Una propuesta muy interesante para disminuir la carga computacional del procesado de vídeo es el paradigma de la visión activa, que expone que el proceso de visión debe servir a un propósito y verse condicionado por éste [2]. Dentro de la visión activa, los sistemas de percepción selectiva, entre los que cabe destacar la visión foveal, permiten, mediante la captación de imágenes de resolución no homogénea, una importante reducción del volumen de datos sin pérdida del campo de visión.

La cuarta generación está relacionada con la movilidad y, por tanto, con la mecánica. En este campo hay que distinguir entre plataformas móviles y robots antropomorfos, que encierran una mayor complejidad tanto en su montaje como en la coordinación de sus movimientos. El desarrollo de robots antropomorfos tiene sus orígenes en el Renacimiento, donde los estudios sobre mecánica y anatomía de Leonardo Da Vinci permitieron crear unidades capaces de tareas tan complejas como tocar instrumentos musicales [6]. Hoy en día, el WASUBOT es capaz no sólo de esa tarea sino también de leer partituras mediante una cámara de vídeo [1]. La coordinación motora necesaria para caminar sobre dos o más patas, como hace el bípedo WHL-I o los hexápodos Ariel y HEG1060 [1], si bien parece intuitiva al ser humano, es extremadamente compleja, ya que durante un gran porcentaje del tiempo, el peso del agente no se encuentra uniformemente distribuido. De ahí que una tarea tan sumamente sencilla como subir escaleras sea un escollo insalvable que sólo el P3 de Honda ha conseguido concluir con éxito. La mayoría de los modelos antropomórficos se usan para fines de investigación, con la excepción de los brazos mecánicos, cuyo uso está ampliamente extendido. La energía necesaria para operar una unidad robótica ha disminuido mucho desde 1979, y se han conseguido unidades capaces de funcionar con baterías solares, como las TENTOMUSHI de Sanyo. Este hecho, unido a una más sólida construcción mecánica todoterreno, el enorme desarrollo de la telemática y el telecontrol y la aparición de sistemas sólidos de localización absoluta como el GPS, ha hecho posible el desarrollo de unidades exploradoras de exteriores como el Robby, el Demeter, el Soujourner o su sucesor, el Rocky V [1]. Asimismo, merecen una mención los robots conductores que, acoplados a un vehículo, son capaces de conducir a gran velocidad mediante visión artificial.

Las bases de la quinta generación empezaron a perfilarse con Norbert Wiener a finales de los 40, cuando se define la cibernética como un conglomerado entre teoría de control, ingeniería e informática y biología [1]. Hasta entonces, el comportamiento de los autómatas se concretaba en pautas algorítmicas, pero la inteligencia artificial busca la generación de comportamientos inesperados que responden no sólo a la programación establecida, sino a estímulos externos y a la experiencia previa. El origen del concepto clásico de inteligencia artificial puede fijarse en *la Dartmouth Summer Research Conference* de agosto de 1955 y sus rasgos más significativos son las estructuras jerárquicas de abstracción y las representaciones simbólicas del entorno [3]. Más adelante, la robótica basada en comportamientos añadió un componente reactivo que acabó concretándose en las arquitecturas híbridas [1]. Estas arquitecturas combinan la planificación a medio y largo plazo con actuaciones improvisadas que permiten al agente adaptarse a imprevistos. Finalmente, el desarrollo de las redes neuronales ha permitido el aprendizaje de comportamientos y una adaptación del robot a su entorno, e incluso la cooperación y evolución conjunta de varios agentes [7].

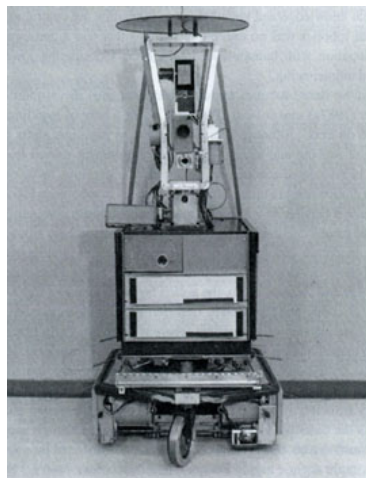
Como conclusión, cabe esperar que se desarrollen en un futuro sistemas robóticos de gran complejidad capaces de exhibir comportamientos inteligentes en determinadas tareas específicas. La predicción más segura a medio plazo es que la construcción de ordenadores cada vez más potentes permitirá llevar a cabo tareas de alta carga computacional en tiempo real. No obstante, la creación de vida artificial aún parece muy lejana.

Agradecimientos

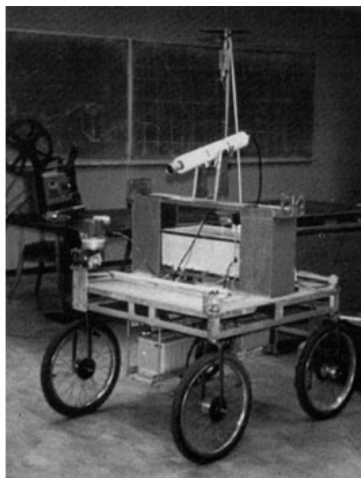
Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), proyecto No. TIC098-0562.

Referencias

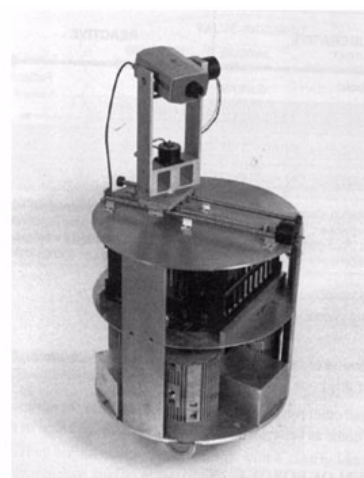
- [1] Arkin, A. *Behaviour-based robotics*, Cambridge, the MIT Press, 1998
- [2] Bandera, C. y Scott, P. "Foveal machine vision systems", *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 596-599, 1989
- [3] Boden, M. "AI's half century", *AI Magazine*, 16(2), pp. 96-99, 1995
- [4] Delgado, L. y Lozano, D. "Robots: el sueño inalcanzable de Pigmalión", *El Semanal*, pp. 24-35, Enero, 1999
- [5] Engelberger, J. "Robotics Today", *Robotics*, pp. 59, 1979
- [6] Rosheim, M. *Robot evolution: the development of antrobotics*, New York: John Wiley & Sons, Inc. pp. 1-36, 1994
- [7] Zalzala, A.M.S. y Morris, A.S. *Neural networks for robotic control: theory and applications*, Londres: Ellis Horwood, 1996
- [8] Levine, M. *Vision in man and machine*, New York: McGraw Hill, 1985



(a)

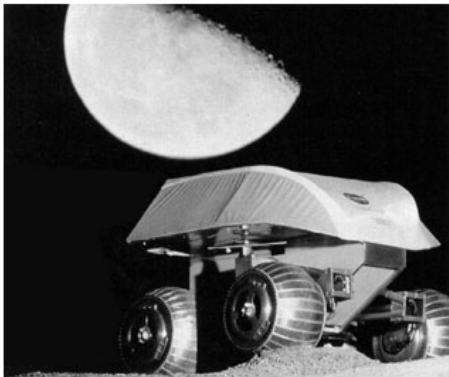


(b)

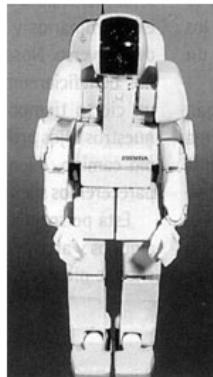


(c)

Fig. 1.: Plataformas móviles: a) SHAKEY, b) CART y c) CMU-ROVER



(a)



(b)



(c)

Fig. 2: Plataformas móviles: a) LUNAR-ROVER, b) P3 y c) SOUJOURNER