

La enseñanza de Ingeniería de Sistemas y Electrónica mediante el laboratorio de robots autónomos

Jesús Salido Tercero, Jorge Sanz Alcolea
Dept. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática
Universidad de Castilla-La Mancha
Escuela Superior de Informática
13071 Ciudad Real
e-mail: {Jesus.Salido, Jorge.Sanz}@uclm.es

Resumen

En este trabajo se presenta el empleo de sistemas físicos controlados por computador como un método muy adecuado para introducir a los alumnos de Informática en las áreas tecnológicas relacionadas con la Ingeniería de Sistemas y Electrónica. La idea principal es conseguir estimular la capacidad de aprendizaje de ciertas materias por parte del estudiante mediante la realización de prácticas en un laboratorio docente destinado a la construcción de robots autónomos. Este laboratorio debería permitir materializar las ideas del alumno a través de dispositivos capaces de resolver problemas en el ‘mundo real’, incluso con el estímulo de que una solución personal sea más eficiente compitiendo con la propuesta por un compañero. En los siguientes apartados se describirá las principales metas académicas del laboratorio propuesto, así como el material empleado y los prototipos desarrollados para ser empleados como modelos en la práctica.

1. Introducción y antecedentes

Durante las dos últimas décadas se han desarrollado esfuerzos considerables en los campos de estudios de la Robótica y el Control Inteligente y no puede negarse los logros tan importantes que se han conseguido. Sin embargo, si se analiza detenidamente los avances en el terreno de los robots autónomos, es evidente que aún existen importantes desafíos y que por el momento podemos hablar de prometedoras ‘cibermascotas’ [8], muy lejos aún de los androides protagonistas en las historias de ciencia ficción. No obstante los investigadores que han dedicado un gran esfuerzo en el campo de la Robótica han

aprendido durante el camino importantes lecciones, *...ahora sabemos como construir fácilmente y de forma barata, robots capaces de resolver tareas que en el pasado resultaban asombrosamente complejas...* Por otra parte en los últimos años la demanda creciente de especialización en áreas relacionadas con la Informática ha forzado la adaptación de los planes de estudios para ofrecer graduados con una formación exigente en las áreas relacionadas con las nuevas tecnologías. Estas tendencias se han visto fortalecidas por las recomendaciones procedentes de instituciones de prestigio en la materia, como son IEEE y ACM¹, acerca de la adaptación del currículo académico a las demandas actuales del mercado laboral.

La propuesta presentada en este artículo se encuadra en el contexto institucional de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) en la que los autores realizan sus tareas docentes en la Escuela Superior de Informática (ESI). En este contexto la idea fundamental expuesta es la creación de un nuevo laboratorio para la construcción de robots autónomos controlados por computador, como método de apoyo en la docencia de los contenidos de las titulaciones técnicas en Informática. El planteamiento seguido en la propuesta presentada está estrechamente enraizada en las aproximaciones más recientes para la implementación de *agentes inteligentes*.

El principal objetivo del trabajo presentado es la de proporcionar al alumno la oportunidad de aprendizaje a través de la práctica, plasmando en un dispositivo físico real, los principales

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers, Association for Computing Machinery.

conocimientos adquiridos a lo largo de su formación académica.

En esencia los robots construidos en el laboratorio mencionado deberían estar compuestos de:

- *Sistema de percepción* para adquisición de información sobre el entorno circundante y el propio estado interno del agente,
- *Controlador* o sistema de decisión a cerca de las acciones inmediatas a realizar para alcanzar los objetivos del agente, y
- *Actuadores* capaces de ejecutar las acciones estimadas como más apropiadas por el controlador.

Desde el punto de vista de las infraestructuras, el laboratorio propuesto constituirá una extensión de un laboratorio de computación ya existente y equipado con computadores personales convencionales. Dicho laboratorio se dotará del hardware adicional y las infraestructuras auxiliares necesarias permitiendo el trabajo de grupos compuestos por dos o tres estudiantes por puesto. Los puestos contarán con kits de robótica cuyos componentes sean de gran disponibilidad en el mercado y un coste total no superior a los 600€/kit. Nuestro propósito es que una vez satisfechos estos requerimientos este esquema de trabajo pueda ser fácilmente reproducible en otros centros académicos.

La filosofía aquí presentada está avalada por las propuestas realizadas en otras instituciones de renombrado prestigio tanto dentro como fuera de nuestras fronteras. En estos casos se apuesta firmemente por un método docente basado en la construcción de dispositivos físicos capaces de demostrar su desempeño en la resolución de ‘problemas tipo’ o incluso mediante la participación en competiciones públicas abiertas [2,7,11,17]. En esta línea, resultan especialmente atractivas las propuestas para la construcción de robots móviles, ya que estos ofrecen la posibilidad de integrar los conocimientos de un número muy significativo de áreas de conocimiento como: lenguajes de programación e ingeniería del software, arquitectura de computadores, ingeniería eléctrica y de control, física, etc. Entre todas las experiencias llevadas a cabo en otros centros académicos merecen una mención especial los llevados a cabo en EEUU, como los del MIT [12, 15] (Cambridge, MA) y Carnegie Mellon University [3] (Pittsburg, PA), señalando que

recientemente estas experiencias han sido adoptadas con gran éxito en centros de nuestro país [1, 4, 5, 18].

2. Objetivos académicos

Con el laboratorio de robots autónomos se pretende cubrir el mayor conjunto posible de conceptos clave en las titulaciones de Ingeniería en Informática, entre otros: *interacción hardware-software, complejidad espacial en términos de las limitaciones físicas reales de capacidad de computo y de memoria del controlador del robot, complejidad temporal ya que las decisiones requeridas sobre las acciones del robot deben tomarse en el instante apropiado, y quizás el que puede ser más importante, el incentivo motivador que representa para el estudiante dotar de ‘vida’ a la ideas propias.*

La aproximación adoptada en el trabajo puede considerarse una instancia de las orientaciones más recientes de la inteligencia artificial basadas en ‘agentes’ [19]. Sin embargo hay que reseñar la mejora que para dicha aproximación supone el hecho de que los agentes ‘habiten’ un mundo físico real y por tanto exento de muchas simplificaciones incluidas en los entornos de trabajo simulados. Por supuesto la construcción de un robot móvil en un laboratorio docente no sería posible si no fuera por la disponibilidad actual en el mercado de kits de ensamblaje asequibles. Estos kits son programables mediante empleo de computador personal convencional y son ampliables para cubrir un amplio rango de aplicaciones y experimentos.

En nuestro centro (ESI-UCLM) el laboratorio propuesto puede encuadrarse en la docencia de dos cursos cuatrimestrales:

- *Cibernética Aplicada*, impartido en las titulaciones de ingeniería técnica en informática (grado medio, curso 3º, 1er. cuatrimestre),

- *Robótica*, en la titulación de ingeniería en informática (grado superior, curso 5º, 2º cuatrimestre).

Además de los cursos anteriormente citados, esperamos que el laboratorio permita la realización adicional de prácticas de otros cursos como: Arquitectura de Computadores, Programación, Electrónica, Automatización Industrial, Inteligencia Artificial, Diseño y Síntesis de Hardware, Control por Computador, Sistemas de Tiempo Real, Procesamiento de Imagen, etc. Aunque todos estos cursos pertenecen a los estudios de pregrado, se animará a los estudiantes para que en dicho laboratorio realicen proyectos adicionales con posibles extensiones para completar sus proyectos fin de carrera y otros proyectos de investigación [21].

3. Equipamiento del laboratorio

Como ya se comentó más arriba los grupos de trabajo en el laboratorio estarán compuestos de dos o a lo sumo tres estudiantes a los que se dotará del siguiente material: 1) computador personal, 2) tarjeta controladora, 3) herramientas software de programación, y 4) kit de ensamblaje de robots incluyendo sensores, actuadores y los bloques constructivos del fabricante Fisher Technik [9]. El computador personal se empleará para la edición y depurado de los programas de usuario que más tarde serán descargados desde el computador a la tarjeta controladora a través de una conexión serie.

El componente principal del kit de robótica es el módulo de control adoptado (ver Fig. 1), que en nuestro caso consta de las tarjetas modelos CT6811 (módulo principal) y CT292+ (control de motores) de Microbótica [14]. Al igual que la Handy Board [20], desarrollada en el MIT con similares propósitos, la CT6811 está basada en el microprocesador MC68HC11 de Motorola. La tarjeta puede emplearse en tres

modos operativos según se describe a continuación:

1. *Tarjeta de entrenamiento*. La tarjeta permanece conectada mediante enlace serie al computador personal en el que se desarrollan los programas que posteriormente se descargan en la tarjeta.
2. *Tarjeta controladora autónoma*. En este caso no existe conexión alguna con el computador externo, de modo que cada vez que la tarjeta es encendida se inicia la ejecución de un programa previamente almacenado en la memoria EEPROM del microcontrolador. Este es el modo que debe ser empleado en los robots autónomos.
3. *Unidad periférica inteligente de un computador externo*. En este modo la tarjeta está continuamente conectada a un computador externo con posibilidad de comunicación bidireccional como si de un periférico convencional se tratase.

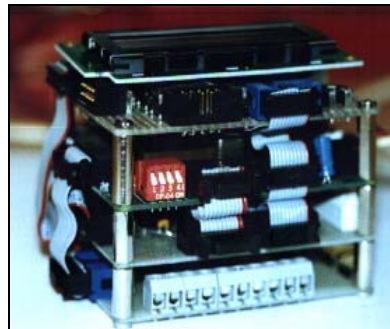


Fig. 1: Ensamblado en formato torre de los módulos de control.

Deben reseñarse algunas características interesantes del módulo de control descrito, que lo hacen adecuado para nuestros propósitos. Se trata, de la capacidad de adoptar un formato de ensamblaje en torre muy compacto que permite la integración del sistema en unas dimensiones superficiales de 8cmx6cm, como se muestra en la Fig. 1. Además el carácter de ‘abierto’ de la arquitectura hardware del módulo, así como de las herramientas de programación constituyen un valor añadido en las posibilidades de uso del módulo.

La tarjeta CT6811 está equipada con el microcontrolador MC68HC11 cuyas principales características son: 512 Bytes de memoria EEPROM (series A1/A8) y 2Kbytes (serie E2), memoria RAM de 256 Bytes, timer de 16 bits, 3 latches de entrada, 5 comparadores, un acumulador de pulsos, comunicación serie A/S, 8 canales de conversión A/D, interrupción de TR y 4 puertos I/O. La tarjeta CT293+ está diseñada para ensamblarse junto a la CT6811, proporcionando la capacidad para el control de motores DC y la adquisición de datos sensoriales.

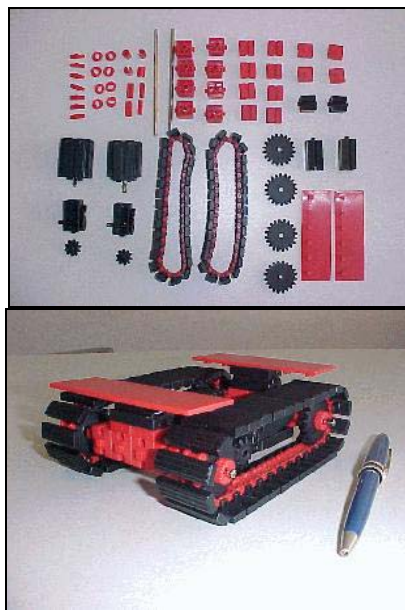


Fig. 2: Prototipo 'oruga'.

La programación del módulo de control se puede hacer fuera de línea desde un PC con el compilador de lenguaje ensamblador AS11 de Motorola y las herramientas de programación para los sistemas operativos Linux y DOS suministradas por el fabricante. Además basta con realizar una búsqueda en Internet para localizar multitud de recursos en línea disponibles gratuitamente debido a

la gran popularidad del microprocesador empleado [13].

En cuanto a los módulos de ensamblaje de la estructura mecánica existen multitud de fabricantes que proporcionan kits de construcción con propósitos educativos y de entretenimiento [16] a unos costes asequibles. Nuestra experiencia en este sentido se ha traducido en la adopción de los productos comercializados por Fischer Technik [9], debido a la gran calidad de sus componentes y la contrastada robustez de los prototipos finales. Con los componentes proporcionados por este fabricante y otros adicionales se dispone de los elementos fundamentales para completar los proyectos que se sugerirán. Dichos proyectos deben ser llevados a cabo empleando: los bloques constructivos básicos, motores DC, sensores de contacto (micro-interruptores), sensores de infrarrojo, detectores de metal, codificadores ópticos, etc.

4. Prototipos

Anteriormente se ha comentado la dificultad que encierra la tarea de construcción de robots móviles y como puede superarse este obstáculo mediante el empleo de kits de montaje. En general los fabricantes de estos últimos proporcionan con sus productos instrucciones detalladas a seguir para alcanzar la construcción de los modelos sugeridos. Como parte del trabajo aquí presentado se ha preferido el desarrollo de modelos propios originales demostrando así que el número de posibilidades sólo está limitado por la imaginación del usuario.

En las figuras 2 y 3 se muestran dos de nuestros prototipos ('oruga' y 'tribot') y los elementos constructivos empleados en ellos, destacando el pequeño número de éstos últimos. Como puede apreciarse en las figuras 2 y 3 los prototipos mostrados emplean distintos sistemas motrices. Aunque en estos sistemas motrices sólo se emplean

dos motores DC, el módulo de control permite la expansión para controlar robots con un número mayor de motores como puede verse en los prototipos desarrollados por Microbótica (véase el sitio web.[14]).

Una característica muy importante a destacar en los prototipos desarrollados es que han sido concebidos para acomodar el módulo de control en formato torre de Microbótica de modo que la instalación de este sea lo más cómoda y rápida posible para que el mismo módulo sea intercambiable entre prototipos a la manera de un dispositivo ‘plug&play’ (ver Fig. 4).

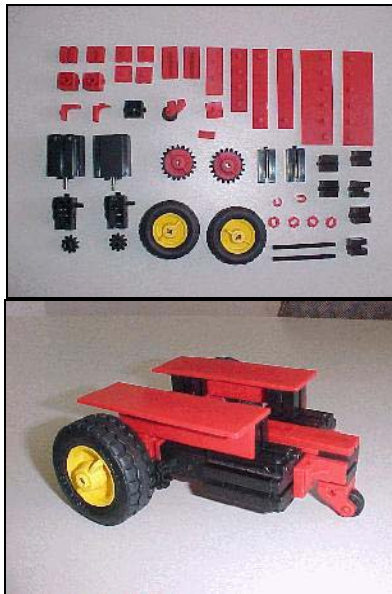


Fig. 3: Prototipo ‘tribot’.

5. Trabajos futuros

En esta sección queremos destacar que la propuesta aquí presentada no ha sido llevada a la práctica aún en su totalidad. Nuestra intención es que a partir de próximos cursos académicos podamos ir contrastando la viabilidad de los objetivos marcados y su consecución. Por el momento se han fijado los objetivos y se han concretado los

contenidos e infraestructuras para llevar a cabo la propuesta. En las prácticas de laboratorio en curso se han probado con un grupo reducido de alumnos los aspectos principales de la propuesta. A continuación se enumeran las que, en nuestra opinión, deberían ser las tareas más inmediatas para alcanzar nuestros propósitos:

- Publicación de los programas del curso, manuales y programación temporal, así como de otro material auxiliar.
- Desarrollo de entornos de simulación y programación favoreciendo el desarrollo de entornos gráficos y sistemas abiertos.

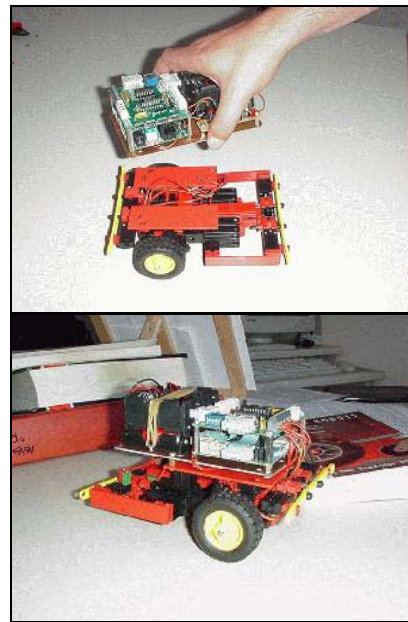


Fig. 4: Prototipo final ‘tribot’ controlado por la CT6811 y CT293+.

- Incremento de capacidades de procesamiento y memoria del módulo de control añadiendo mayor cantidad de memoria de usuario y dotando al conjunto de sistemas sensoriales complejos como sónares y cámaras de visión.
- Aumentar las posibilidades de actuación de los robots mediante la adaptación de brazos articulador y pinzas de sujeción.
- Adaptación de sistemas de comunicación inalámbrica entre el robot y una estación

externa de procesamiento, o bien entre distintos robots.

Sumario

En este trabajo se describe la propuesta de un laboratorio de robots autónomos como un medio de mejorar el método docente en varios cursos de pregrado en las titulaciones de Ingeniería Informática. En sucesivos apartados se han comentado las principales motivaciones y objetivos, enumerando los principales componentes del equipamiento previsto. Se ha incluido un apartado en el que se comentan los prototipos originalmente propuestos por los autores y se finaliza con un apartado de las futuras acciones para llevar a cabo la propuesta en su totalidad.

Agradecimientos

Los autores desean manifestar su especial reconocimiento hacia la Escuela Superior de Informática (ESI) y la Universidad de Castilla-La Mancha por el inestimable soporte proporcionado para la realización tanto de este trabajo como la de su labor docente.

Referencias

- [1] Alcabot-2000.
<http://www.depeca.alcala.es/alcabot2000/principal.htm>
- [2] Beer, R.D. and Chiel, H. and Drushel, R.
Using Autonomous Robotics to teach Science and Engineering. Commun. ACM, 42, 6, Jun. 1999.
- [3] Carnegie Mellon Univ. Annual Mobot Slalom Race.
<http://www.cs.cmu.edu/~mobot/index.html>
- [4] ChampionBot en la UPM
<http://www.sia.upm.es/championbot>
- [5] Concurso Microbótica en ESIDE
<http://www.eside.deusto.es>
- [6] Davies, B. *Practical Robotics*. WERD Technology Inc., 1997.
- [7] Donnett, J. and Smithers, T. *LEGO Vehicles: A Technology for studying Intelligent Systems*. In J.A. Meyer and S.W. Wilson, Eds., From Animals to Animals: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. MIT Press, Cambridge, Mass. 1991.
- [8] Entertainment Robot Aibo (SONY).
<http://www.world.sony.com/Electronics/aibo/>
- [9] Fischer Technik.
<http://www.fischerwerke.de/>
- [10] Jones, J. and Seiger, B. and Flynn, A. *Mobile Robots. Inspiration to implementation*. 2nd. Ed., A.K. Peters LTD. 1999.
- [11] Kumar, D. and Meeden, L. *A robot laboratory for teaching artificial intelligence*. Proc. of the Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE-98), D. Joyce, Editor, ACM Press, 1998.
- [12] Martin, F. *Circuits to control: Learning Engineering by designing LEGO Robots*. Ph.D. Dissertation, MIT Program in Media Arts and Sciences, Cambridge, Mass., 1994.
- [13] MC68HC11 Microcontrollers Resources.
<http://fleming0.flemingc.on.ca/~pspasov/mcu/mcu.htm>
- [14] Microbótica.
<http://www.microbotica.es/>
- [15] MIT's Autonomous Robot Design Competition.
<http://www.mit.edu/courses/6.270/home.html>
- [16] Raucci, R. *Personal Robotics. Real robots to construct, program, and explore the world*. A.K. Peters LTD. 1999.
- [17] Resnick, M. *Behavior construction kits*. Commun. ACM, 36, 7, Dec. 1993.
- [18] Robótica en la Universidad Politécnica de Cataluña (Spain).
<http://citel.upc.es/~aess/robotica>

- [19] Russell, S. and Norvig, P. *Artificial Intelligence a modern approach*. Prentice Hall Inc., 1996.
- [20] The Handy Board.
<http://lcs.www.media.mit.edu/groups/el/Projects/handy-board/>
- [21] Los Robots Móviles en ISA-UCLM.
<http://www.inf-cr.uclm.es/www/jsalido/mancheBotX.html>