

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL COMO HERRAMIENTA DOCENTE EN ASIGNATURAS DE ELECTRÓNICA

T. PALLEJA, M. TRESANCHEZ, D. FONT, M. TEIXIDO, J. PALACIN  
*Departamento de Informática e Ingeniería Industrial. Universidad de Lleida. España.*  
palacin@ieee.org

*En este trabajo se describe el diseño y construcción de un robot móvil pensado específicamente para ser utilizado como herramienta docente en asignaturas de electrónica. El elemento de control del robot es un PC portátil convencional para facilitar que el aprendizaje del alumno esté centrado en el objetivo de las prácticas y no en su utilización. Asimismo, el robot dispone de un elevado número de sensores y actuadores para ofrecer un elevado grado de interdisciplinaridad.*

## 1. Introducción

La robótica es la unión de diversas disciplinas: mecánica, electrónica, informática y matemáticas. Numerosos autores han utilizado y utilizan la robótica como una herramienta docente [1, 2, 3, 4] siendo la conclusión común el factor de motivación que representa para el estudiante el hecho de poder interactuar físicamente con conceptos abstractos impartidos en sesiones teóricas previas. No obstante, la adquisición de plataformas robóticas experimentales supone, a menudo, un gran desembolso económico por lo que algunas iniciativas parten de un diseño propio [5, 6, 7] específico para un uso docente de los robots.

En este trabajo se presenta un diseño de robot móvil diseñado por el Grupo de Robótica de la Universitat de Lleida cuyo objetivo principal es servir de plataforma educativa capaz de dar servicio a diversas asignaturas relacionadas con la electrónica y la informática. Para ello, el elemento de control del robot móvil es un PC portátil (Fig. 1) sin ninguna modificación especial. De esta forma se pretende que los estudiantes continúen trabajando en un entorno conocido y que la curva de aprendizaje en el uso del robot móvil sea mínima. Para que este objetivo sea posible se ha diseñado una placa electrónica (Fig. 1) que permita controlar los motores y demás transductores incorporados en el robot móvil. De esta forma el diseño de la placa contempla un interfaz USB que permite realizar el control de los motores y demás elementos del robot mediante órdenes de bajo nivel muy específicas, cuando se busca controlar directamente un motor o un sensor, o de alto nivel, cuando lo que se pretende es controlar el comportamiento del robot. Por otra parte, la utilización de un robot móvil como herramienta docente incrementa la motivación del estudiante, le permite dirigir su experiencia de aprendizaje y permite la inclusión de competencias transversales en el aprendizaje; como el trabajo en equipo.

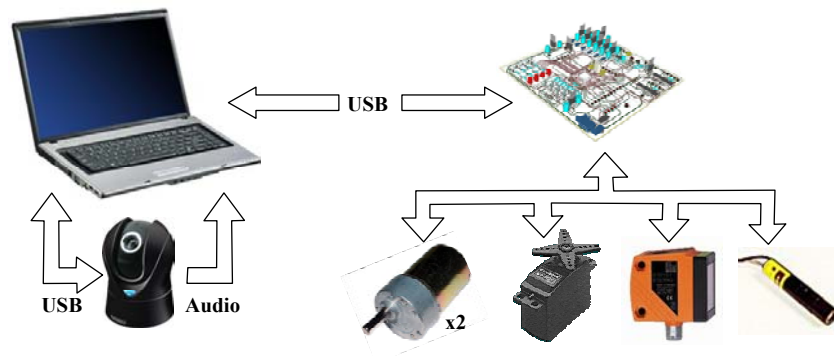


Figura 1. Esquema de interconexión

## 2. Elementos del robot

Los elementos más importantes que forman el robot son: un PC portátil, una placa electrónica de control que se conecta al portátil como un accesorio USB convencional, una cámara de visión (de bajo coste), un láser de línea, un láser medidor de distancia y dos motores directrices.

### 2.1. PC portátil

El elemento de control del robot es un PC portátil, lo que va a permitir utilizar una WebCam para captar información del entorno y realizar operaciones matemáticas y algorítmicas complejas. Este hecho va a permitir aplicar técnicas de visión artificial para interpretar el entorno del robot. Además, el hecho que los ordenadores actuales comiencen a equiparse con procesadores multi-núcleo permitirá en un futuro asignar tareas diferentes a cada procesador sin que ello represente un esfuerzo excesivo. Como no puede ser de otra manera, del PC portátil se aprovecha todo su hardware: la red inalámbrica permitirá supervisión remota, el altavoz y la tarjeta de audio la generación de sonidos o voces, etc. Todos los dispositivos que formarán parte del robot se alimentan mediante la batería del portátil y, para reducir el consumo energético maximizando el tiempo de operación, se trabajará la mayor parte del tiempo posible con la pantalla del ordenador apagada.

### 2.2. Placa electrónica de control

La placa electrónica de control se usa como interfaz entre el PC y todos los sensores del robot excepto la cámara de visión (Fig. 1, parte superior). Los conectores USB tienen un sistema de gestión de energía que limita la corriente máxima de salida por conector en 500 mA, para superar este límite se dispone de varios conectores USB pasivos adicionales (sin conexión de datos). La placa dispone de un microcontrolador que traduce los comandos de alto o bajo nivel provenientes del PC y se encarga de activar los distintos sensores y actuadores de forma transparente al usuario.

### 2.3. Cámara de visión

El robot incorpora una cámara de bajo coste (tipo WebCam) (Fig. 2, izquierda) conectada al PC mediante un cable USB propio. La cámara dispone motorización que permite un ángulo de rotación vertical de 60° y uno de horizontal de 180°; utiliza un sensor CMOS de 640x480 píxeles y dispone de un micrófono con conexión independiente. La cámara está colocada a una altura de 80 cm del suelo (Fig. 2, derecha) para maximizar la visión global del entorno. Su control se realiza mediante comandos de alto nivel procedentes del PC que permiten controlar el movimiento de los motores y las propiedades de la imagen (brillo, contraste, etc.).



**Figura 2.** Cámara utilizada (izquierda) y su posición en el robot (derecha).

## 2.4. Láser de línea

Se ha incorporado un láser que genera una línea roja perpendicular a la dirección del robot (Fig. 3). La línea proyectada es captada por la cámara del robot (fig. 4, izquierda) y con el procesado adecuado (segmentación) es posible localizar la línea en la imagen (Fig. 4, centro). La forma de la línea y la distancia respecto al robot aporta cierta información del espacio y objetos situados en la posición del haz del láser. Con operaciones simples como una suma de filas en la imagen segmentada (Fig. 4, derecha) se puede detectar la presencia de obstáculos delante del robot. Este sistema es poco robusto debido al efecto de los reflejos que aparecen en el suelo ocasionados por la luz solar o por fluorescentes situados en los techos pero es muy útil en condiciones de poca o nula iluminación. La activación del láser se realiza mediante comandos de alto nivel procedentes del PC.

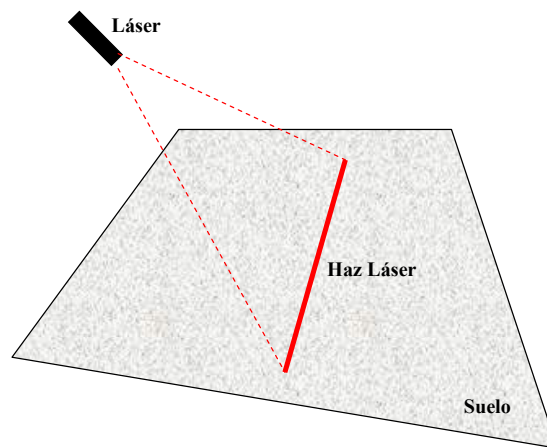


Figura 3. Representación del haz de luz emitido por el láser de línea.

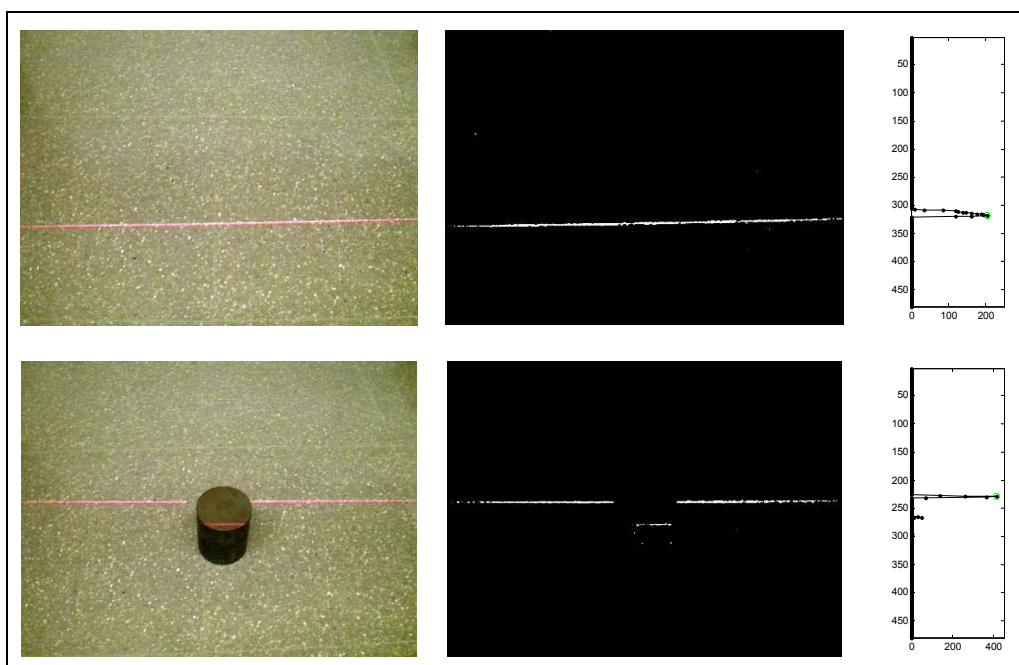
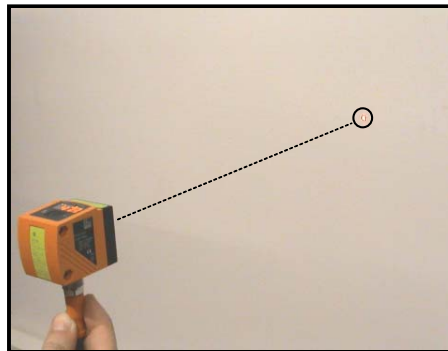


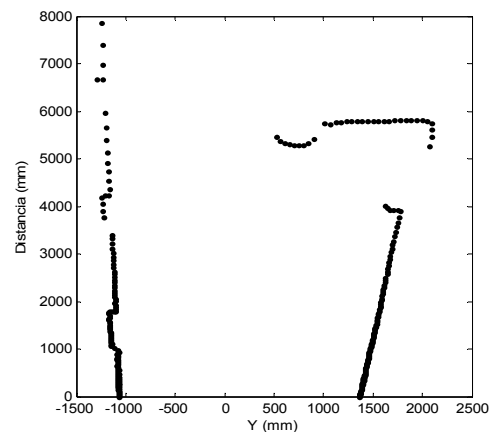
Figura 4. Imagen obtenida con la cámara (izquierda), imagen segmentada (centro) y resultado de efectuar la suma de filas de la imagen segmentada (derecha)

## 2.5. Láser medidor de distancia

Se ha incorporado un láser de medida de distancias con una precisión de medida de  $\pm 1$  mm y un alcance de 10 m. Su funcionamiento se basa en la medida del tiempo de vuelo: la luz emitida necesita un cierto tiempo para llegar al objeto y reflejarse hacia el sensor (Fig. 5); este tiempo es directamente proporcional a la distancia recorrida. El láser se ha situado sobre un servomotor para poder realizar un barrido de la zona situada frente el robot (Fig. 6, izquierda) y, de esta forma, crear un mapa del entorno (Fig. 6, derecha) que permita planificar la trayectoria del robot en cualquier tipo de condición de luz. La activación, lectura y movimiento del láser se controla mediante comandos de alto nivel.



**Figura 5.** Sensor láser medidor de distancia: el círculo indica la posición del punto de medida.



**Figura 6.** Representación de la zona medida por el láser (izquierda) y de los datos obtenidos (derecha).

## 2.6. Motores directrices

El robot móvil está equipado con dos motores de corriente continua de 12V, reductora de 75:1 y par máximo de 500 mNm (Fig. 7, derecha) equipados con codificadores rotativos y acoplados directamente a las ruedas. El control del movimiento del robot se realiza enviando órdenes de alto nivel a la placa electrónica, que dispone de un controlador PID configurable. Adicionalmente se dispone de un conjunto de órdenes de bajo nivel para experimentar con los parámetros del PID, para controlar individualmente cada motor y para obtener la velocidad de rotación y corriente que consumen.



Figura 7. Ensamblaje de los motores en el robot (izquierda) y detalle del motor utilizado (derecha).

### 3. Software de control.

Para permitir el acceso rápido del alumno al entorno de control del robot se ha diseñado una aplicación básica que permite utilizar las funciones (Fig. 8) y procedimientos de alto nivel que han sido implementadas en el robot móvil. Las principales ventajas de esta aplicación son: permitir el telecontrol del robot y la ejecución individual de todas las funciones y procedimientos que controlan las evoluciones del robot móvil. De esta forma el alumno puede experimentar de forma manual las secuencias de comandos necesarias para que el robot realice una determinada tarea. Así pues, el software de control proporcionado será la base a partir del cual el alumno deberá incluir su propia programación que permita que el robot realice una tarea compleja mediante la pulsación de un determinado botón u opción de menú. La Tabla I muestra un ejemplo de secuencia de comandos de alto nivel que los alumnos deberían crear para que el robot recorriese un circuito rectangular de 100 x 50 cm, pronunciando una frase al terminar.

1	<b>robot('avance', 100);</b>	5	<b>robot('avance', 100);</b>
2	<b>robot('gira', 90);</b>	6	<b>robot('gira', 90);</b>
3	<b>robot('avance', 50, 'vel', 50);</b>	7	<b>robot('avance', 50, 'vel', 20);</b>
4	<b>robot('gira', 90);</b>	8	<b>speak('audio\fin.wav');</b>

Tabla I. Ejemplo de secuencia de órdenes de alto nivel.

Entre otras, se dispone de las siguientes funciones: control de la orientación de la cámara, acceso a la imagen de la cámara, acceso al micrófono de la cámara, control del estado del láser de línea, control del estado y posición del láser de medida de distancia, reproducción de ficheros de audio en el altavoz del portátil, supervisión del estado de la batería, supervisión del estado de la conexión de la red WIFI, órdenes de desplazamiento y giro del robot, etc.



Figura 8. Ejemplo de aplicación de control que se ejecuta en un ordenador de sobremesa y permite la supervisión remota del robot móvil.

#### 4. Estructura mecánica

El diseño mecánico del robot (Fig. 2, derecha) se basa en una estructura tubular realizada en aluminio que le confiere la suficiente rigidez estructural como para soportar todos los elementos y transductores que forman el robot móvil y, a su vez, servir de punto de soporte en caso de transporte. En la parte inferior de la estructura tubular se ha creado una caja con una estructura de soporte en aluminio y unas paredes realizadas en plástico duro. La caja soporta y protege al portátil y a la placa electrónica mientras que las paredes plásticas permiten la llegada de la red WIFI al adaptador del portátil sin tener que utilizar una antena adicional externa. Por otra parte, la parte delantera de la estructura tubular se eleva 80 cm del suelo para dar soporte a la cámara de forma que su ángulo de visión permita enfocar: el suelo situado inmediatamente delante del robot, la mayor parte de su perímetro y la cara de las personas que estén a su alrededor.

#### 5. Experiencia piloto de utilización del robot

Durante el curso 2007/2008 el robot se utilizó de forma piloto como herramienta docente en una asignatura del Bloque de Robótica (Fig. 9) de la titulación de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas impartida en la Escuela Politécnica Superior de la Universitat de Lleida. El hecho de que los estudiantes tuviesen una formación eminentemente informática estaba originando una continua pérdida de contenidos electrónicos en la asignatura a favor de contenidos más informáticos. La utilización del robot como herramienta docente se diseñó como un medio que permitiese concentrar la atención del estudiante en temas más electrónicos como el control de motores, servos y sensores.

Desde el punto de vista docente; la utilización del robot móvil ha sido un elemento que ha aumentado de una forma espectacular la motivación del estudiante, permitiendo que el profesor se convierta en un transmisor de conocimientos que el alumno intuye como necesarios para conseguir que el robot realice correctamente la tarea asignada.



**Figura 9.** Presentación pública del trabajo realizado con robots móviles por estudiantes de la Escuela Politécnica Superior en las asignaturas del Bloque de Robótica.

Desde el punto de vista del alumno; poder disponer de un nuevo elemento tecnológico que permite aplicar de forma experimental nuevos conocimientos ha constituido todo un reto. El hecho de que se puedan experimentar de forma inmediata nuevas soluciones les ha motivado especialmente en el proceso de aprendizaje basado en prueba y error, aunque para ello el profesor debe estar muy atento y detectar cuando el alumno entra en una dinámica negativa de probar por probar.

Desde el punto de vista de la evaluación; se ha podido realizar una verdadera evaluación continua del trabajo realizado por el alumno. El hecho de utilizar un robot y definir una serie de tareas permite que el alumno tenga una conciencia clara de si lo que está haciendo es correcto o no y cual va a ser la calificación que pueda otorgarle el profesor. De esta forma se reduce la incertidumbre y percepción de arbitrariedad relacionada con la evaluación.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el diseño y construcción de un robot móvil cuyo objetivo principal es servir de herramienta docente y material de prácticas en asignaturas de electrónica.

El relativo bajo coste de los PC portátiles actuales junto con su extraordinario equipamiento tecnológico: baterías de larga duración, procesador optimizado, red WIFI, conectores USB, entrada y salida de audio y demás hardware configurable hacen que pueda ser utilizado directamente como elemento de control de un robot móvil; de esta forma un alumno que ha estado utilizando ordenadores durante todo su currículo académico puede pasar a experimentar directamente con un robot móvil conservando el entorno de trabajo que le es familiar.

Para el estudiante; la utilización de un robot móvil como herramienta docente induce una extraordinaria motivación, le aporta una visión global de las aplicaciones de las distintas materias que ha cursado en su currículo académico.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha contado con la financiación del *Departament d'Innovació, Universitats i Empresa de la Generalitat de Catalunya* (proyecto 2006MQD00010) y del Vicerrectorado de Docencia de la Universitat de Lleida.

## Referencias

- [1] H. Zhang, W. Zheng, S. Chen, J. Zhang, W. Wang y G. Zong. *Flexible Educational Robotic System for a Practical*. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 61-66, December 2006
- [2] A. H. Odorico. *La robótica desde una perspectiva pedagógica*. Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales, Vol. 2(5), pp. 33-48, 2005
- [3] J. Palacín y S. Marco. *Aprendizaje de Sensores y Actuadores a través de la Construcción de un Robot Móvil*. VII Congreso Universitario sobre Innovación Educativa. Vol. I, pp.1105-1115, Septiembre 1999
- [4] R. Pfeifer. *Teaching powerfull ideas with autonomus robots*. Journal of Computer Science Education, Vol. 7. No. 2, 1996
- [5] T. Hsiu, S. Richards, A. Bhaves y A. Perez-Bergquist. *Designing a Low-cost, Expressive Educational Robot*. IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Las Vegas, October 2003
- [6] S. Piperidis, L. Doitsidis, C. Anastasopoulos, and N. C. Tsourveloudis. *A Low Cost Modular Robot Vehicle Design for Research and Education*. 15th Mediterranean Conference on Control & Automation, July 2007, Athens
- [7] H. Song X. Ma, F. Zhou, y Y. Li. *The Design and Implementation of OpenGL-based Comprehensive Educational Robot System*. IEEE International Conference on Information Acquisition, pp. 522-527, August 2006, Shandong, China