

## PLATAFORMA MÓVIL PARA USOS DOCENTES Y DE I+D

Jesús Ureña, Manuel Mazo, Fco. Javier Rodríguez, Juan C. García,  
Marta Marrón, José L. Lázaro, Alfredo Gardel

Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá.  
Campus Universitario s/n. 28871. Alcalá de Henares (MADRID).

Tel. 34 1 8854810, Fax: 34 1 8854899-04.E-mail: urena@depeca.alcala.es

### RESUMEN:

*La reducción de costes de los sistemas básicos (electrónicos, mecánicos y sensoriales) ligados a los robots móviles ha permitido que los mismos se afiancen como herramientas de trabajo en múltiples disciplinas técnicas, tanto a nivel docente como de I+D. En el presente trabajo se describen la arquitectura y diseño de una unidad móvil susceptible, por coste y facilidad de uso, de ser empleada en los citados ámbitos. Además se indicarán algunas de las prácticas, trabajos de I+D, etc., que ya se han acometido con la misma. Se pondrá de manifiesto el carácter multidisciplinar de las mismas, lo que facilita la tarea de integración de trabajos en áreas diversas hacia un único fin concreto.*

### 1.- INTRODUCCIÓN

Bajo la denominación de robot móvil (RM) se puede incluir cualquier máquina capaz de moverse con cierto grado de autonomía por el entorno que la rodea. La investigación en este campo está orientada al objetivo último de construir máquinas con la mencionada posibilidad de movimiento y con las capacidades de los humanos, al menos en lo que respecta a la problemática de la planificación y ejecución de tareas. Se trata, en definitiva, de crear máquinas que sean capaces de sustituir al hombre en tareas tediosas, peligrosas o, sencillamente, ingratas. La "inteligencia" de un RM es una medida del grado de sofisticación del mismo y determinará, aparte de las tareas específicas que pueda acometer, el tipo de entorno en el que puede moverse.

A partir de los años 80 se produce un considerable auge en la investigación y desarrollo en el campo de los RMs, auspiciado principalmente por el fuerte desarrollo de los sistemas informáticos, electrónicos y sensoriales. Desde un punto de vista científico, los RMs son excelentes plataformas para la investigación y desarrollo en multitud de campos, como pueden ser la inteligencia artificial, los sistemas sensoriales, los sistemas de control, el procesamiento de información, etc. El gran desafío en la construcción de robots móviles pasa por el desarrollo de tecnología "inteligente" que permita a los mismos trabajar no sólo en un entorno limitado y estructurado sino en el mundo real. Para ello el RM deberá, simultáneamente, resolver los problemas de la "percepción", la "movilidad" y

la "inteligencia" en un entorno variable, respondiendo adecuadamente a eventos imprevistos. Esto hace que sobre la Robótica Móvil confluyan múltiples disciplinas (Electrónica, Mecánica, Informática, Inteligencia Artificial, etc.), del desarrollo de las cuales depende su propia evolución.

En la actualidad, es evidente que estos sistemas constituyen también excelentes plataformas para la docencia, una vez que los costes de los sistemas mínimos (mecánicos, sensoriales y electrónicos) requeridos para su implementación se han reducido drásticamente. En esta ponencia se presenta una plataforma dotada de estos elementos mínimos susceptible de ser aplicada en diversos ámbitos docentes, además de en tareas de I+D.

## 2.- CONSTITUCIÓN DEL SISTEMA MÓVIL

En la figura 1 puede verse una imagen real de la misma con los módulos mínimos instalados. Se trata de una plataforma rectangular de aproximadamente 130cm de longitud y 70 cm de anchura. Dispone de dos ruedas de tracción independientes en la parte trasera y dos libres (ruedas locas) en la parte delantera.

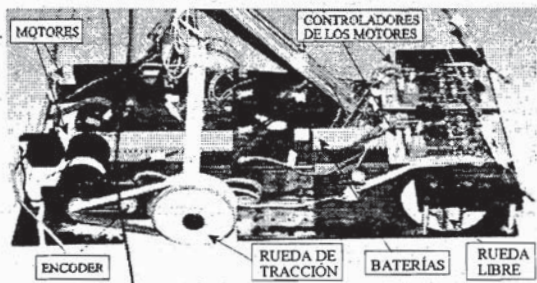


Figura 1: Imagen de la unidad con los elementos más significativos.

El control del desplazamiento del móvil se realiza por excitación diferencial de las dos ruedas de tracción. Como puede observarse, el acople entre el eje del motor y la rueda del móvil se realiza directamente, por lo que la única reducción existente entre la velocidad de ambos se determina a partir de la relación de radios. La pérdida de eficiencia en el control del motor a bajos regímenes se compensa por la simplicidad del mecanismo empleado.

## 3.- MÓDULOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL

El control de los motores se realiza en lazo cerrado aprovechando las señales provenientes de sensores encoders asociados a los ejes de los mismos. Para cada motor hay un controlador que, además de la etapa de potencia -para control en los cuatro cuadrantes-, incorpora un microcontrolador y un controlador PID digital que permite un control en velocidad y en posición. Para su interacción con otros sistemas (por ejemplo la gestión desde un PC) se dispone de dos formatos diferentes: bus serie RS-232 y bus específico para control en tiempo real LonWorks de Echelon.

### 3.1.- Módulo basado en controlador específico

El sistema responde a un diagrama de bloques general como el representado en la figura 2. En él cabe destacar los siguientes módulos:

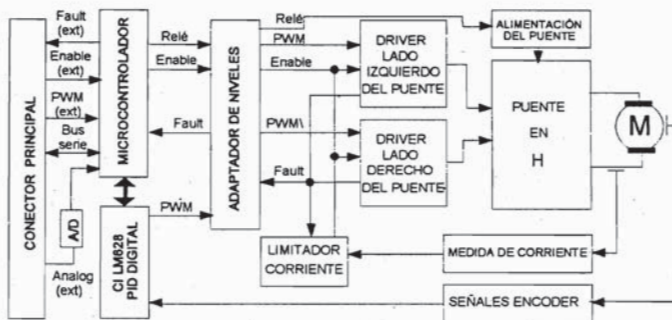


Figura 2.- Diagrama de bloques de la placa de actuación sobre cada motor.

- a) *Adaptador de niveles.* Este bloque, permite adaptar los niveles lógicos TTL provenientes de los subsistemas digitales a señales CMOS (12V) con las que trabaja la etapa de potencia y viceversa.
- b) *Alimentación del puente.* Con este módulo se habilita, mediante una señal lógica, la alimentación del puente. De este modo se puede garantizar que el puente no esté alimentado sin el debido control previo de todos los transistores. Además se impide que el puente pueda ser alimentado en sentido inverso.
- c) *Puente completo (en H).* Este puente está constituido por cuatro transistores MOSFET, todos ellos de canal n.. Los transistores seleccionados poseen una resistencia en conducción del orden de 16mΩ, por lo que no requieren grandes disipadores para funcionar en los límites aquí impuestos.
- d) *Drivers de los transistores de los lados izquierdo y derecho del puente.* Basados en dos circuitos específicos SP601, estos drivers proporcionan las señales de excitación de todos los transistores del puente. Además garantizan la no conducción simultánea de dos transistores del mismo lado, así como que los mismos se están excitando en la secuencia temporal adecuada, de acuerdo con la señal PWM de entrada. Por otro lado estos drivers producen el bloqueo del puente en caso de que no se activen las señales de activación (ENABLE) o se produzca la detección de una sobrecorriente.
- e) *Protección contra sobrecorriente.* A partir de la corriente medida por el motor, si ésta supera un valor prefijado se actúa sobre los drivers de los transistores del puente, de modo que éste es momentáneamente bloqueado. En cuanto el motor pierde parte de su energía y la intensidad por el mismo cae hasta un nivel aceptable se repone el funcionamiento normal del puente. La existencia de este tipo de situaciones se manifiesta mediante la señal de FAULT que puede ser testeada externamente.
- f) *Sistema digital.* Está basado en un microcontrolador 87C51FA y en un circuito controlador específico (LM628). Permite el control en lazo cerrado del motor, tanto en velocidad como en posición. También posibilita el test permanente de la situación del sistema (seguimiento de consigna, velocidad, etc.). A través del microcontrolador se puede configurar y chequear todo el sistema externamente.

### 3.2.- Módulo basado en *Neuron Chip*

Una segunda alternativa sustituye el módulo *sistema digital* (epígrafe 3.1.f anterior) por un solo chip, que desarrolla las tareas del controlador digital y del gestor de red. El objetivo del empleo de esta opción es la consecución de una arquitectura distribuida de control. Para implementarlo se ha empleado el sistema LonWorks, debido a su bajo coste y altas prestaciones en aplicaciones de control. El punto clave de esta tecnología es el Neuron-Chip de Echelon.

En lo que a control de red se refiere este chip incorpora un completo sistema de gestión de red de datos, orientada a redes de control distribuido, esto es: mensajes cortos (hasta 31 bytes) y tiempos de entrega acotados (menores a 7ms, típicos).

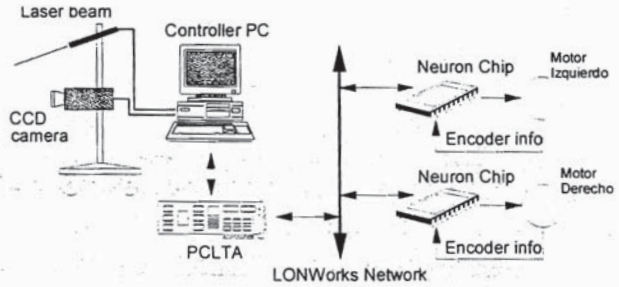


Figura 3.- Módulo basado en red LonWorks.

Tal y como se muestra en la figura 3, cada módulo independiente intercambia información mediante la citada red LonWorks; de esta forma, los módulos de potencia (nodos motor derecho y motor izquierdo) reciben los comandos de velocidad adecuados desde el módulo generador de trayectoria residente en el PC y entregan información de su estado (velocidad real, posición, etc.) por el mismo medio.

Las tareas de controlador digital son realizadas, al igual que la gestión de red, por el propio Neuron Chip. Se ha comprobado experimentalmente que el propio Neuron Chip cuenta con el soporte necesario para llevar a cabo las tareas de control desarrolladas en el nodo que se describe:

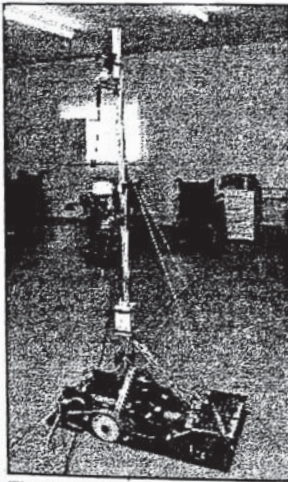


Figura 4.- Imagen del prototipo con sistema sensorial.

1. Es capaz de generar una señal en PWM sin más que recurrir a uno de sus objetos E/S indicándole el ciclo de trabajo que se desea. Esta señal va directamente al excitador del puente de transistores, sin ser necesario de este modo un controlador de motores específico.
2. Puede encargarse de sondear las señales del encoder para obtener la velocidad real del motor, tarea que realiza gracias al objeto E/S específico incorporado en el firmware del Neuron Chip.
3. Ejecuta un algoritmo de control, escrito en Neuron C y cargado en la memoria del chip. Modificar este programa es muy sencillo, teniendo en cuenta las múltiples funciones firmware que el Neuron Chip incluye. La gran constante de tiempo (del orden de 50ms) de los motores de tracción permiten que pueda ejecutarse el algoritmo sin problemas.

Así, no es necesario ningún circuito adicional para llevar a cabo la totalidad del control de bajo nivel en las ruedas del móvil, ya que cada nodo se comporta como un elemento inteligente dentro del sistema. Además, no hay que olvidar que cada nodo incluye también todo el soporte de comunicaciones.

#### **4.- TRABAJOS PRÁCTICOS REALIZADOS**

Las cualidades que presenta este sistema en aplicaciones docentes son, tal y como se observa, inagotables y han permitido desarrollar trabajos docentes muy variados. Las prácticas que se pueden abordar con esta plataforma incluyen: electrónica de potencia (control de motores, sistemas de alimentación), electrónica de control (microcontroladores, controladores digitales, control electrónico distribuido), manejo de sistemas sensoriales (ultrasonidos, infrarrojos, visión artificial, detectores de proximidad, etc.), comunicaciones (manejo de buses de campo, control en tiempo real, radiocontrol, etc.), inteligencia artificial (integración de información sensorial, trayectometría, etc.), ...

La experiencia del Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá en la titulación Ingeniería Electrónica, donde se han abarcado algunas de las prácticas de asignaturas diferentes (Sistemas Electrónicos de Control y Potencia, Control Electrónico Digital, Instrumentación Electrónica, Microcontroladores y Microprocesadores y Control Neuronal y Borroso) ha puesto de manifiesto la facilidad para integrar disciplinas variadas en un objetivo final común.

##### **4.1.- Utilización como plataforma de ensayos de I+D**

Dadas sus características de tamaño reducido y versatilidad, además de su utilización con aspectos docentes, la plataforma puede ser utilizada como base de desarrollos e investigaciones llevadas a cabo en el campo de la robótica, como la incorporación de sistemas sensores para modelar el entorno, generación de trayectorias, guiado del robot, etc.

En la figura 4 se muestra el aspecto externo de un sensor de infrarrojos caracterizado sobre la plataforma. En este caso se trata de un sistema compuesto por un detector CCD y un emisor de infrarrojos acoplados, de manera que a partir de la emisión de iluminación estructurada y de la imagen en el detector, se deducen las coordenadas 3-D de los puntos del impacto de la luz. A partir de la matriz de coordenadas suministradas por el sensor, se puede llevar a cabo la generación del contorno de obstáculos, localizar zonas libres para el movimiento, zonas ocupadas y distancias de seguridad del campo de visión. Dicho sensor constituye un lazo de realimentación de alto nivel en sistemas de robótica.

Otros trabajos desarrollado sobre la plataforma, dentro del campo de investigación y desarrollo, han consistido en la generación de trayectorias y control de su seguimiento, basadas en la curva spline, que permitan alcanzar un punto y orientación destino desde uno origen, a través de unos determinados puntos intermedios, pudiendo tomar diferentes valores de ordenadas para las diferentes abscisas. Las características mencionadas de esta plataforma, hacen que sea un buen sistema para ensayos de este tipo de investigaciones.

En la figura 5 se muestra un ejemplo de trayectoria ensayada, en la que se ha realizado una trayectoria pasando por diferentes puntos intermedios, habiendo realizado un giro superior a 360°.

Las curvas en línea discontinua representa el camino real trazado por la plataforma, y la continua el camino teórico a seguir.

Basado en las aplicaciones expuestas hasta este punto, pueden realizarse desarrollos de guiado de robots. En este caso se trata de un guiado que, a partir del entorno percibido por el sensor, comprueba si se encuentra en su camino algún obstáculo que impida el movimiento. En caso afirmativo traza otro camino alternativo por un camino libre de obstáculos.

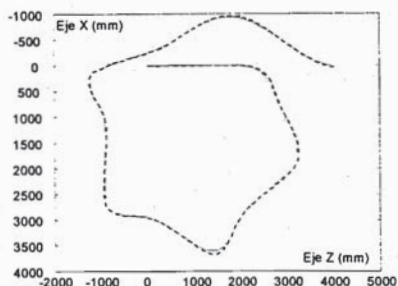


Figura 5. Trayectoria generada con la curva spline

En la figura 6 se muestra una secuencia de movimientos de la plataforma, con el sensor, esquivando un obstáculo interpuesto en su trayectoria.

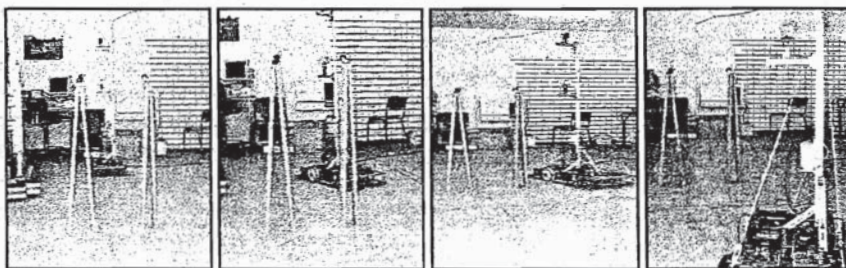


Figura 6.- Secuencia de movimientos de la unidad evitando obstáculos.

## 5.- AGRADECIMIENTOS

El desarrollo y montaje de la parte mecánica ha sido posible gracias a la colaboración con la empresa ASTI, que en la actualidad estudia la posibilidad de la adaptación, producción y comercialización de la misma. Los estudios de I+D se han soportado dentro del proyecto financiado por la CICYT, con referencia TER96-1957-C03-01.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Mazo, J. Ureña, F.J. Rodríguez, J.L. Lázaro, J.C. García, E. Santiso, P. Revenga. "Control de motores CC de media potencia. Aplicación al guiado de una unidad móvil (1 y 2)". *Revista Española de Electrónica*. Nº 469, Diciembre-1993, pp 56-62 y nº 470, Enero-1994, pp 54-59.
- [2] J.C. García, M. Marrón, J.A. García, J. Ureña, J.L. Lázaro, F.J. Rodríguez, M. Mazo y M. Escudero. "Aplicación de la Tecnología LonWorks para el control de bajo nivel de un robot móvil". *Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación - SAAEI'97*. Sep. 1997, pp 484-489.
- [3] J.L. Lázaro, A. Gardel, M. Mazo, C. Mataix y J.C. García. "Guidance of autonomous vehicles by means of structured light". *Preprints of the IFAC Workshop on Intelligent Components for Vehicles - ICV'98*. Sevilla, Marzo 1998, pp 127-132.