

MICROBOTS BASADOS EN LÓGICA PROGRAMABLE

Javier García Zubía, José María Angulo Usategu y, Susana Romero Yesa

*Facultad de Ingeniería. Universidad de Deusto
zubia@eside.deusto.es*

RESUMEN

El presente trabajo aborda el diseño de microbots utilizando la tecnología de la lógica programable, más concretamente utilizando CPLD de Xilinx. Además se compara esta técnica con el uso de microcontroladores.

1. MICROCONTROLADORES FRENTE A PLD

Hasta principios del siglo XXI ha sido habitual que el control de los microbots estuviera basado en uno o varios microcontroladores. Precisamente la Microbótica es una de las técnicas que más se ha apoyado en los computadores integrados en un chip, sin embargo se ha iniciado una nueva corriente que propone a los dispositivos lógicos programables como elemento de control más idóneo para determinadas aplicaciones.

Los dispositivos PLD disponen de un enorme conjunto de bloques lógicos que el diseñador puede interconectar para desarrollar un circuito que responda a las funciones y algoritmos que desee. También estos elementos precisan el empleo de un lenguaje específico para la implementación del circuito final. Una vez grabado el PLD y conexiónados sus componentes, al aplicarle unos valores en sus entradas se obtienen rápidamente las salidas al trabajar en paralelo los bloques de la circuitería interna.

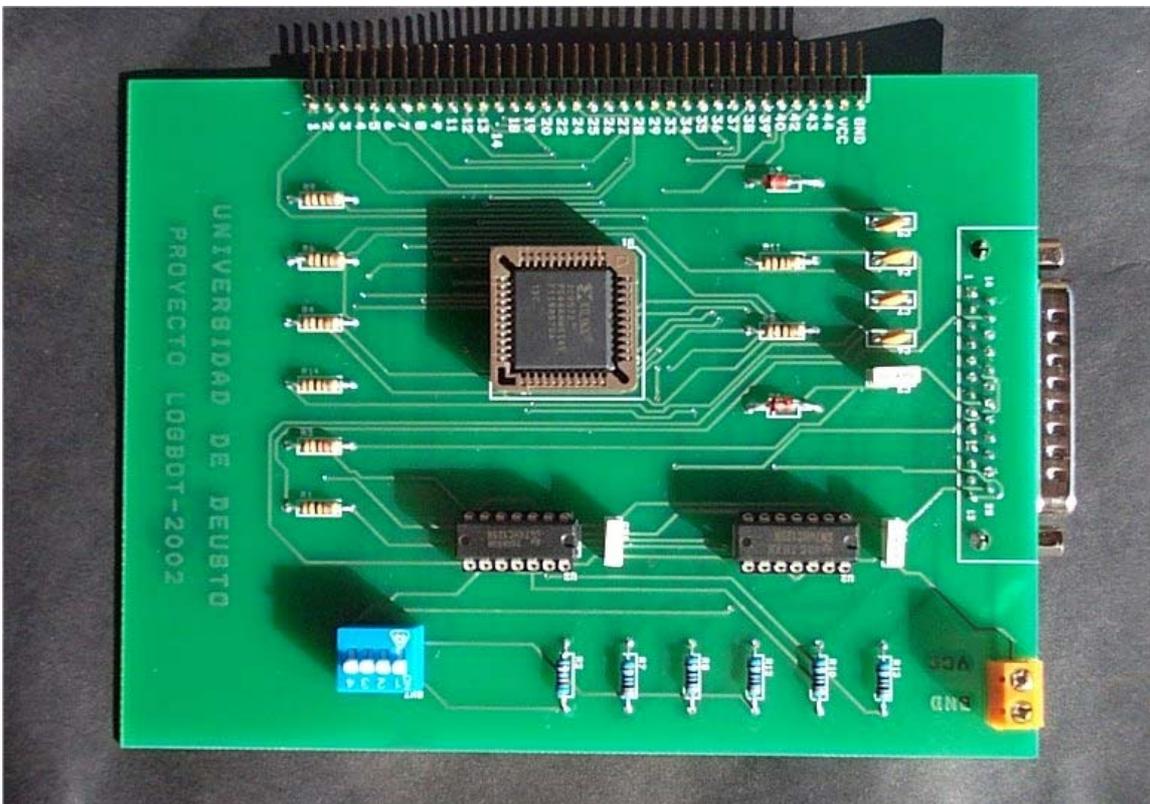


Figura 1. Placa de desarrollo de propósito general para CPLD.

Con referencia a la Microbótica se citan los cuatro aspectos que más distingue el comportamiento de los microcontroladores con respecto a los PLD:

1. Tipo de procesamiento, que pasa de ser secuencial en los microcontroladores a paralelo en los PLD.
2. Lenguajes empleados. En los microcontroladores se utiliza el Ensamblador, el C ó el BASIC, mientras que en los PLD son específicos para estos dispositivos, como el VHDL.
3. Tiempo de respuesta y frecuencia de trabajo.
4. Precio y prestaciones técnicas.

2. CONTROL DE PROCESAMIENTO

Los procesadores que contienen los microcontroladores siguen una estrategia secuencial derivada de la ejecución del programa que controla su comportamiento. Los PLD genéricos actúan de forma paralela como los circuitos combinatoriales, y aunque ambos dispositivos tienen el mismo objetivo y no son antagonicos, lo abordan desde distintas técnicas de control.

El programa de control del microcontrolador se ejecuta en serie, instrucción tras instrucción, de forma que cada parte del código gobierna algunas salidas en función de diversas entradas, siguiendo las especificaciones del programador. La existencia de interrupciones permite abandonar temporalmente la secuencia del programa principal en curso para atender situaciones o acontecimientos especiales internos o externos. En consecuencia, aunque ciertas señales de entrada se producen en paralelo y también se requieren salidas simultáneas, el microcontrolador las procesa secuencialmente, pero al hacerlo a frecuencias elevadas aparenta un procesamiento paralelo.

3. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Los lenguajes específicos para PLD, como el ABEL y el VHDL, están estructurados para que la lógica programable de estos dispositivos procese entradas y salidas en paralelo, lo que supone una ventaja considerable frente a los microcontroladores.

Los lenguajes HDL (Hardware Definition Language) pueden ser de bajo nivel, como el ABEL, y de alto nivel, como el VHDL. Tanto unos como otros exigen al programador un esfuerzo suplementario al requerirle el diseño paralelo que refleja el comportamiento de los bloques lógicos de los PLD. Es previsible un menor esfuerzo en el aprendizaje de los lenguajes para microcontroladores puesto que siguen las reglas clásicas de los lenguajes típicos como pueden serlo el C, el BASIC ó el JAVA.

Un inconveniente importante de los lenguajes de microcontroladores es su diversidad, puesto que se puede decir que hay tantos lenguajes Ensamblador como microcontroladores existen. De todas formas este obstáculo puede remediarse usando lenguajes de alto nivel (C ó BASIC). En cambio, conociendo ABEL ó VHDL se puede programar cualquier dispositivo PLD, aunque a este último lenguaje se le sigue considerando como uno de los más complejos y poco amigables.

Como curiosidad se indica que un programa en Ensamblador para un PIC destinado al seguimiento de una línea por parte de un microbot ocupa 20 líneas, mientras que en VHDL sólo necesita una.

4. LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

Los microcontroladores trabajan a una frecuencia fija que determina el tiempo de ejecución de los programas y la rapidez de respuesta. Así si se dispone de un PIC16F876 a 10 Mhz ejecutando un programa de 100 instrucciones todas ellas normales (ninguna de salto), como cada una tarda 400 ns el programa completo tardará 40 microsegundos.

En un dispositivo lógico programable el retardo “pin-to-pin” es de muy pocos nanosegundos, lo que significa una velocidad del orden de 1.000 veces mayor que el microcontrolador antes mencionado. Además el PLD puede trabajar a diversas frecuencias, dependiendo de la aplicación.

5. PRECIO Y PRESTACIONES TÉCNICAS

En cuanto al precio de los microcontroladores y dispositivos PLD no existe mucha diferencia entre ellos. Por ejemplo, son comparables el de un PIC16F876 y el de un dispositivo XC9572 de XILINX con sus gastos complementarios del montaje.

En el aspecto de las prestaciones complementarias la balanza se inclina claramente a favor de los microcontroladores, ya que en el interior de su cápsula pueden existir muchos recursos auxiliares, como conversores AD y DA, memoria ROM, puertas de comunicación, bus I2C, PWM, etc.

La capacidad y potencia de un PLD depende del número de flip-flop que posea. El XC9572 dispone de 72, lo que significa que puede almacenar 72 bits, que representa una potencia considerable ya que soporta, en el límite teórico, una máquina de estados con 2^{72} estados.

6. GAL-BOT: UN PRIMER PROTOTIPO DE MICROBOT

En base al popular dispositivo PLD 22V10 (PALCE 22V10 de Lattice) en el 2001 se desarrolló en el Departamento de Arquitectura de Computadores de la Facultad de Ingeniería ESIDE de la Universidad de Deusto el microbot GAL-BOT, caracterizado por las siguientes especificaciones:

- 1ª. PALCE 22V10 destinado a controlar la frecuencia de reloj del sistema.
- 2ª. PALCE 22V10 dedicada al control principal del microbot.
- 3ª. PALCE 22V10 opcional dedicada al gobierno del display de 7 segmentos.

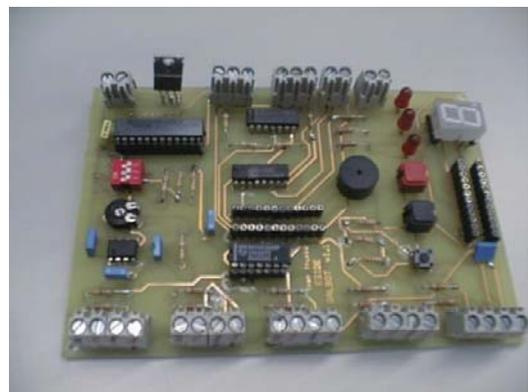


Figura 2. Aspecto del GAL-BOT basado en tres PALCE 22V10.

Las pruebas finales con GAL-BOT cubrieron plenamente todas las expectativas previstas. Se movía con mucha flexibilidad. Obtenía correctamente la información de sus sensores y estaba programado con instrucciones procedentes de ORCAD-PLD. Este punto fue el más satisfactorio porque los programas de control de trayectoria resultaban extremadamente sencillos, claros y nunca sobrepasaban las 20 instrucciones.

La utilización de tres dispositivos simples complicaba el hardware y para simplificarlo se pasó a utilizar un dispositivo más potente como el XC9572 con encapsulado PLCC 44 de XILINX. Esto requirió la migración al lenguaje VHDL en el entorno ISE del mencionado fabricante.

7. GRABACIÓN DE PLDS

Los PLD 22V10 del GAL-BOT se grababan en un grabador universal de DATA IO, cuyo precio alejaba al público general y a los alumnos en particular de su empleo. Para acercar a todos el sistema se empleó la grabación en modo ISP (In System Program) con el estándar JTAG. Esto permite al usuario grabar el dispositivo sin sacarlo del zócalo de la placa de aplicación. Además, el cable para la grabación tiene un precio inferior a los 200 euros. Como esta cantidad aún resultaba excesiva se diseñó un circuito JTAG de acuerdo con las especificaciones del fabricante y cuyo esquema se muestra en la figura.

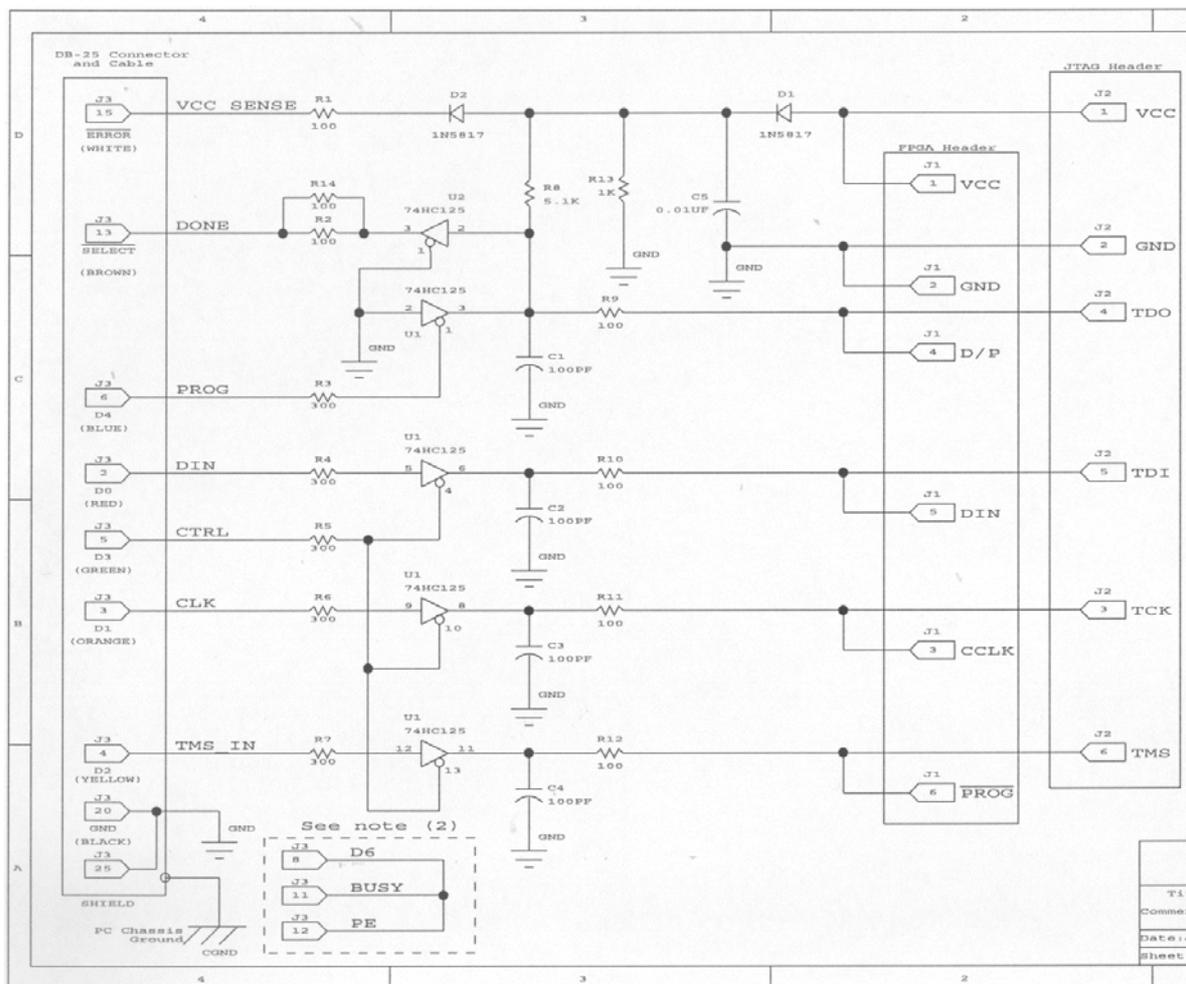


Figura 3. Vista parcial del esquema del circuito de grabación JTAG para PLD.

8. MICROBOTS AVANZADOS CPLD-BOT Y X-BOT

Durante el año 2002 e inmersos en un proyecto de investigación subvencionado por el Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco desarrollamos dos nuevos microbots llamados CPLD-BOT y X-BOT, que compartían el mismo enfoque, pero con distinta realización práctica. Se basaban en una CPLD 9536 ó 9572 con cápsula PLCC 44 de XILINX, disponían de un circuito de grabación ISP según el estándar JTAG y contenían un generador de reloj de frecuencia variable.

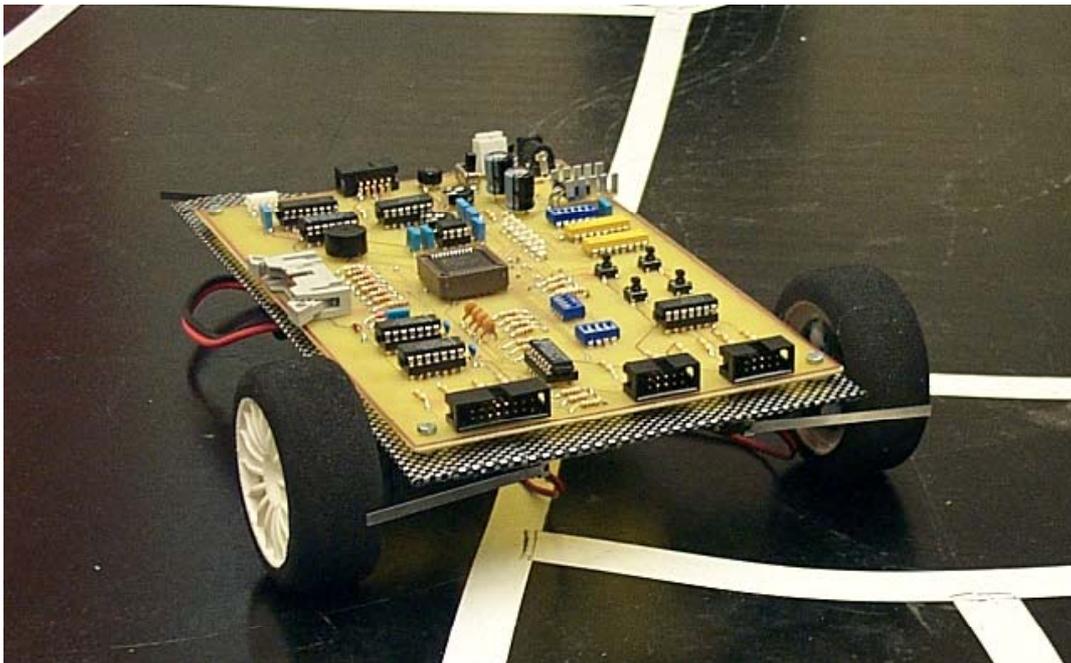


Figura 4. Microbot CPLD-BOT.

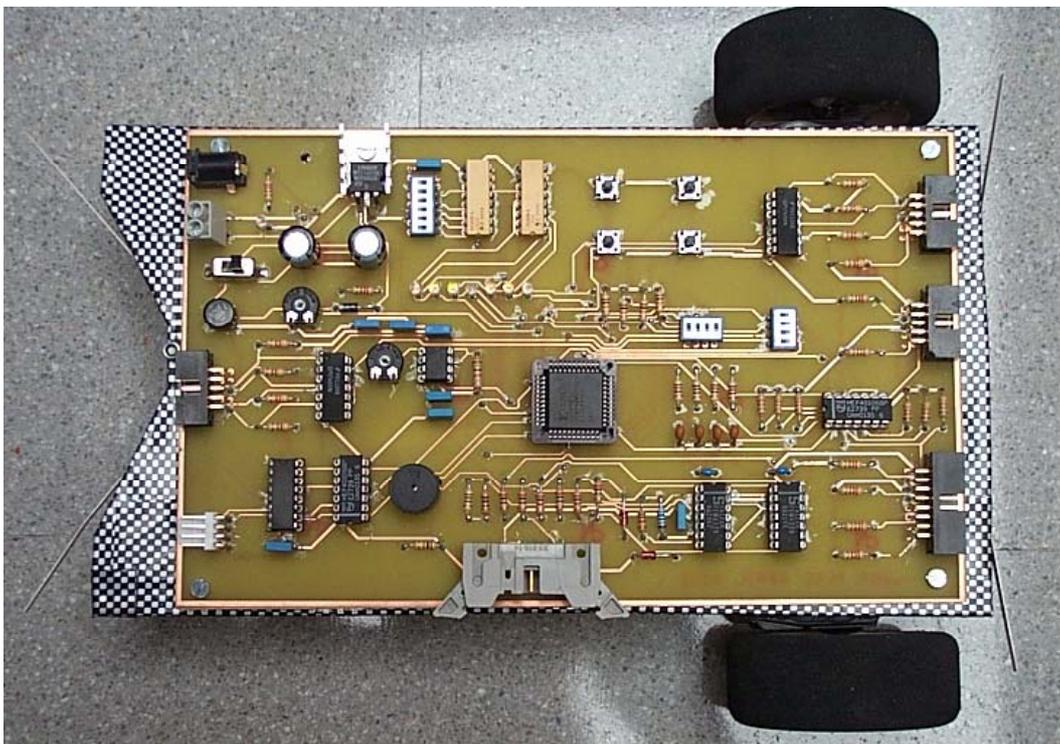


Figura 5. Vista superior del microbot CPLD-BOT.

El X-BOT es más pequeño y su ventaja fundamental reside en que el módulo con la CPLD y el circuito JTAG son extraíbles y se pueden usar para otras aplicaciones, por ejemplo pueden ser montados en una tarjeta de propósito general o en una protoboard. Este módulo que contiene todo lo necesario para contener y grabar la CPLD se ubica en un zócalo de 5 x 6 cm.

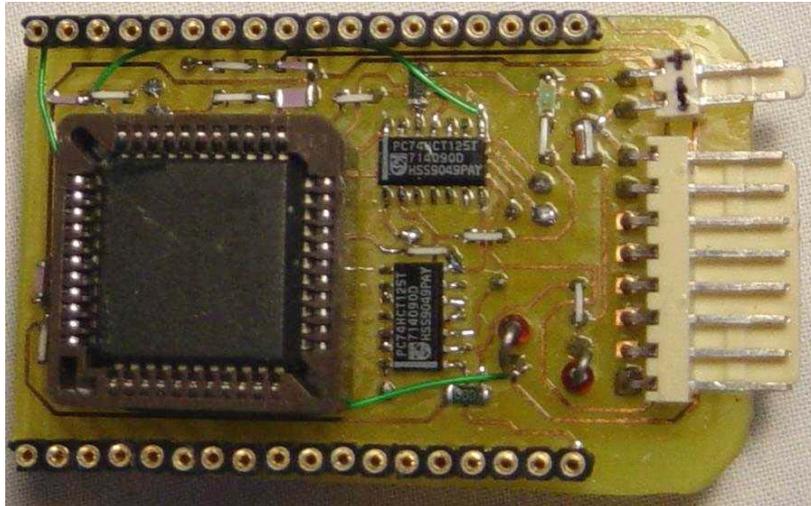


Figura 6. Zócalo con el CPLD de X-BOT.

Al igual que la mayoría de las tarjetas de control propias de los microbots, tanto el CPLD-BOT como el X-BOT disponen en sus correspondientes tarjetas diversos conectores libres para la adaptación de los sensores que el usuario considere oportunos. Estos conectores incorporan el circuito de adaptación de la señal al pertenecer a los módulos “Conectar&Funcionar” de Ingeniería de Microsistemas Programados S.L. y el usuario sólo tiene que conectar sus entradas y salidas las respectivas líneas del PLD ó del microcontrolador.

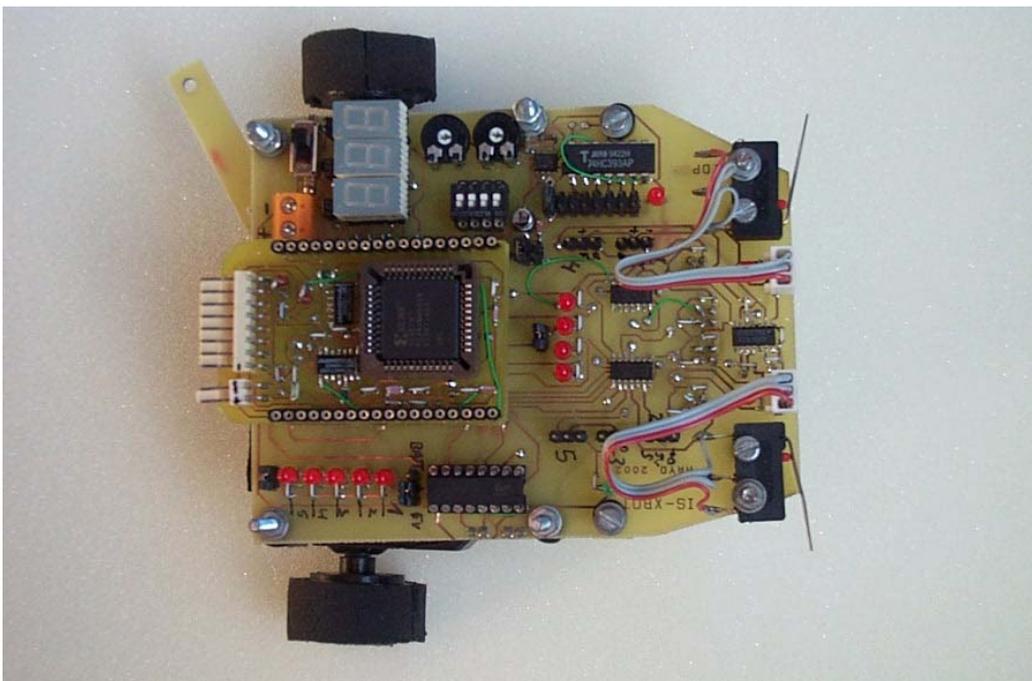


Figura 7. Vista superior del microbot X-BOT.

En base a las placas de control de estos dos microbots se pueden estructurar una serie de prácticas y experimentos ideales para el aprendizaje de la lógica programable. El microbot es la maqueta más interesante para entusiasmar a los alumnos para aprender el diseño y la programación. Están previstas una colección de aplicaciones didácticas, tales como:

- Prácticas con circuitos combinacionales: codificadores, decodificadores, multiplexores, etc.
- Prácticas con circuitos secuenciales: contadores, registros, etc.
- Prácticas con máquinas de estados finitos
- Prácticas de tratamiento y acondicionamiento de señales
- Prácticas de Microbótica: rastreadores, luchadores, limpiadores, velocistas, etc.

Estas experiencias son asequibles para cualquier usuario con diversos niveles de conocimiento y capacidad de adquisición. Se precisa un PC, el software que es gratuito (WebPack ISE de XILINX), el cable paralelo de coste despreciable y el microbot con una tarjeta de control. Cualquier laboratorio de formación o profesional e incluso particular puede hacerse con una reducida inversión con las herramientas necesarias para diseñar aplicaciones con dispositivos lógicos programables.

9. CONCLUSIONES Y AGRADECIMIENTOS

La Microbótica es un campo abierto a la lógica programable que puede proporcionar interesantes resultados en aplicaciones en las que el procesamiento paralelo de la información constituya un aspecto relevante de la tarea. De esta forma los microcontroladores irán dejando un espacio cada vez más extenso a los PLD en la Microbótica.

Los microbots con PLD permiten acceder al aprendizaje del diseño con dispositivos lógicos programables usando una plataforma asequible y que ofrecen un “gancho” especial para los alumnos de Ingenierías al manejar una máquina que combina varias disciplinas y un cierto grado de inteligencia.

Los desarrollos de los microbots expuestos y otros, así como de sus tarjetas de control y herramientas auxiliares en base a CPLD se han obtenido en la universidad de Deusto dentro del proyecto LOGBOT subvencionado por el Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco dentro del Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2001-2004, SAIOTEK 2002, código UD02UD05. En dicho proyecto también colabora técnica y financieramente la empresa Ingeniería de Microsistemas Programados S.L.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Sistemas Digitales y Tecnología de Computadores”, Angulo y García, Editorial ITP Paraninfo.
- [2] “Fundamentos y Estructura de Computadores”, Angulo, J.M^a; García, J. y Angulo, I., Editorial ITP Paraninfo.
- [3] “Microcontroladores PIC”, Angulo J. M^a, Romero, S. y Angulo, I., Editorial Mc Graw-Hill.
- [4] Colección de prácticas con PLD en el libro “Laboratorio de Prácticas de Microelectrónica, volumen 2”, Angulo, J. M^a, Editorial Mc Graw-Hill

[5] Colección de prácticas con PLD para el laboratorio Universal Trainer. Documentación técnica de Ingeniería de Microsistemas Programados S.L. (www.microcontroladores.com) .

[6] “Microbótica”, Angulo, J.M^a, Romero, S. y Angulo, I. Editorial ITP Paraninfo.

[6] “Manual de VHDL: Síntesis lógica para PLDs”, García Zubía, J. Editorial Universidad de Deusto

[7] www.xilinx.com