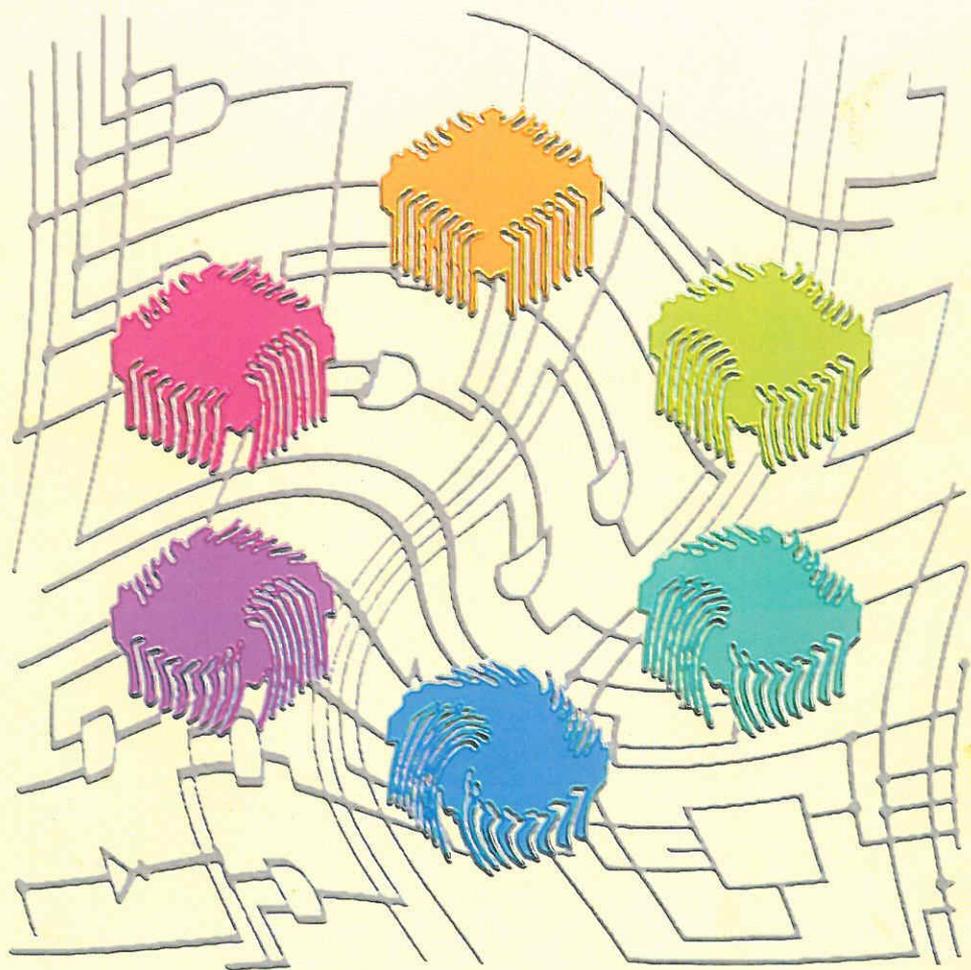


II Jornadas sobre Computación Reconfigurable y Aplicaciones

jera2002

Almuñecar (Granada) 18-20 de septiembre de 2002



Universidad de Granada
Dpto. Arquitectura y Tecnología de Computadores

ACTAS DE LAS

**II JORNADAS SOBRE COMPUTACIÓN
RECONFIGURABLE Y APLICACIONES
(JCRA'2002)**

Almuñecar (Granada) 18-20 Septiembre 2002

**Organizadas por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de
Computadores, en colaboración con el Centro Mediterráneo
Universidad de Granada.**

**ACTAS DE LAS
II JORNADAS SOBRE COMPUTACIÓN RECONFIGURABLE Y
APLICACIONES
(JCRA`2002)**

No están permitidos: la reproducción total o parcial de este libro, su procesamiento informático, y la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio (incluida fotocopia), sin el permiso de los autores o titulares del Copyright.

Editadas por el Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores.
E.T.S.I. Informática
Universidad de Granada

Derechos reservados ©
ISBN: 84-699-9448-4
Depósito Legal: GR- 1419-2002

Impresión Septiembre 2002

Imprime: Reprografía Digital Granada, S.L.
Avda. Constitución, 11
18001 Granada
Tlf: 958468748

<i>Implementación en hardware reconfigurable del computador CODE-2,</i> J. Díaz-Alonso, D. C. Román, J. Gómez-Osuna, B. Pino, F. Gómez-Mula, A. Prieto, F. J. Pelayo	249
<i>Utilización de FPGAs en la docencia de asignaturas de Electrónica Digital básicas,</i> A. Toledo, P. J. Navarro, J. Suardíaz, A. Iborra, C. Jiménez, F. J. Ortiz	257
<i>Entorno hardware-software para experimentación basado en un micro-robot,</i> R. Agís, R. Carrillo, A. Cañas, B. Pino, F. J. Pelayo	261
Índice de autores	267

Entorno hardware-software para experimentación basado en un micro-robot

Rodrigo Agís, Richard Carrillo, Antonio Cañas, Begoña del Pino y Francisco J. Pelayo

Resumen— En este artículo se presenta un entorno completo ideado para la docencia y experimentación en proyectos relacionados con el desarrollo de hardware, sistemas de control digital, inteligencia artificial, y otras materias afines. El núcleo de este entorno es FrankeBot, una plataforma móvil dotada de múltiples elementos sensores de cierta complejidad y de módulos de comunicaciones que permiten su monitorización y control remoto vía RF. En su versión actual, FrankeBot incorpora un microcontrolador reprogramable a distancia, y una tarjeta UP1x de Altera cuyo FPLD puede también configurarse desde un PC remoto mediante un radio-módem construido al efecto. El entorno se complementa con una interfaz gráfica en PC desde la que se gobierna el funcionamiento y reconfiguración de FrankeBot, y que visualiza constantemente el estado de los distintos elementos sensores (radar ultrasónico y óptico, medidor de distancia con láser, cámara de video, señal de audio, medida de flujo óptico lateral, etc.).

Palabras clave— micro-robots, hardware reconfigurable, co-diseño, reutilización de componentes, información multisensor, control a distancia.

I. INTRODUCCIÓN

Es evidente que la combinación de microcontroladores y de FPLD proporciona un medio ideal para implementación de sistemas digitales de funcionalidad configurable en el propio equipo en que se encuentran instalados, siendo en la actualidad elementos de estudio imprescindibles en ingenierías que tengan alguna relación con el desarrollo de hardware. El estudio de herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas digitales, y de circuitos VLSI en particular, también encuentra en estos componentes programables por el usuario un medio ideal para ensayar los diseños ideados por los estudiantes, que en lugar de obtener sólo resultados de simulación, pueden comprobar sus diseños funcionando en sistemas reales. Los estudiantes que sienten cierta afición por el hardware quieren llegar a verlo funcionando, siendo muy necesario disponer de plataformas de ensayo lo suficientemente versátiles pero a la vez atractivas. Los entrenadores y tarjetas de desarrollo con microcontroladores y FPLD normalmente

utilizados en docencia, están bastante limitados en cuanto a variedad y tipo de experiencias que permiten realizar. En particular suelen carecer de elementos de interfaz con el usuario lo suficientemente variados como para plantear experiencias prácticas atractivas. Los elementos de interfaz habituales (LED, visualizadores de 7 segmentos y LCD alfanuméricos, conmutadores y teclados básicos, etc.) se han ido complementando con la posibilidad de visualización directa en monitores VGA, entrada desde teclado y ratón, etc. [1]. Sin embargo, estas interfaces carecen del carácter motivador que exhiben los sistemas con elementos móviles y/o con movimiento propio. La posibilidad de controlar un móvil, y planificar las respuestas de éste ante las señales captadas de su entorno mediante sensores específicos, aun cuando se trate de tareas que no entrañen demasiada complejidad, constituye un fuerte incentivo para el aprendizaje. Ésta es una de las claves del éxito que están teniendo los micro-robots en diversos planes de estudios universitarios. El resultado observado es que, una vez planteadas las prácticas de laboratorio, el propio estudiante se fija retos a superar, y a iniciativa propia pone su ingenio en ampliar el micro-robot con nuevos elementos sensores y actuadores que puedan mejorar su versatilidad y comportamiento. La motivación es aun mayor cuando se introduce el aliciente de la rivalidad entre micro-robots que deben competir entre sí; siendo habituales y bien conocidas las pruebas de este tipo que se organizan en universidades de todo el mundo.

La extensión del uso de micro-robots en la docencia ha estado también incentivada por el abaratamiento de los componentes electrónicos, en particular los microcontroladores, y sobre todo por la disponibilidad, normalmente gratuita, de las herramientas software de desarrollo necesarias.

En el marco de un proyecto de innovación docente financiado por el Vicerrectorado de Planificación, Calidad, y Evaluación Docente de la Universidad de Granada, se ha desarrollado una plataforma móvil (FrankeBot) que incorpora múltiples sensores, elementos de comunicación digital y analógica, y que emplea como elementos de cómputo microcontroladores y FPLD. Frente a los micro-robots más convencionales utilizados en docencia (véase p. ej. [2],[3]), Frankebot está dotado de elementos muy diversos y de cierta sofisticación, así como de un entorno software de reconfiguración y de control a distancia vía cable o vía RF, que junto con los transmisores de audio y video incorporados a Frankebot, permite una monitorización continua desde el PC de la información captada por sus

Rodrigo Agís y Richard Carrillo han completado sus estudios en la ETS de Ingeniería Informática de Granada con el proyecto de fin de carrera que resumimos en este artículo. Antonio Cañas, Begoña del Pino y Francisco Pelayo son profesores del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada (<http://atc.ugr.es>). E-mail de contacto: fpelayo@ugr.es

sensores. FrankeBot constituye pues una herramienta bastante completa de apoyo a la enseñanza en diseño de sistemas hardware-software, incluyendo el diseño de interfaces de comunicaciones, circuitos adaptadores o acondicionadores de señales, circuitos de potencia, etc. Pero también como plataforma experimental de investigación en temas muy diversos que exijan una interacción directa del móvil con el entorno: fusión multi-sensorial, tele-operación, procesamiento en tiempo real de imagen y sonido captado a distancia, procesamiento de movimiento, interacción sensor-motor y control basado en aprendizaje, etc.

El siguiente apartado II describe la estructura general de Frankebot. En el apartado III se detalla la implementación de algunos de sus módulos hardware, y en el apartado IV la organización del entorno software. El apartado V resume algunas conclusiones y las líneas de continuación del trabajo actualmente planteadas.

II. ORÍGENES Y ESTRUCTURA DE FRANKEBOT

Por sus características estructurales y funcionales, el nombre de FrankeBot podría proceder de *Fully Reconfigurable Architecture Navigation Kit & Experimental microBot*; sin embargo está más relacionado con sus orígenes, ya que en gran medida ha sido construido a partir de "retales" o componentes usados que formaban parte de otros equipos electrónicos, electro-mecánicos e informáticos. Por tanto, más que una "reutilización de componentes" en sentido clásico, podemos hablar de un "reciclaje de componentes". Las fotografías de la figura 1 muestran el aspecto externo actual de FrankeBot. En la parte superior de su estructura tiene alojada una tarjeta basada en el microcontrolador 68HC11 (adquirida a Microbótica [3]), y en el costado izquierdo tiene instalada la tarjeta UP1x de Altera [4], a la que se ha conectado la minicámara CMOS M4088 [5] basada en el chip de OmniVision OV5017 [6]. El FPLD Flex10K70 que contiene la UP1x permite implementar en hardware algoritmos básicos de procesamiento de información visual, como el descrito en otro artículo de este mismo volumen. Realmente, excepto aquellos elementos que requieren una conversión A/D, el resto de las tareas implementadas por el microcontrolador puede configurarse en el FPLD, bien exclusivamente en forma de bloques de lógica configurable específicos que funcionen concurrentemente, bien combinando éstos con un núcleo procesador embebido. Esta última opción es aconsejable siempre que se quieran definir "comportamientos" de cierta complejidad para el robot, dado que estamos habituados a expresarlos de forma algorítmica, es decir, con una implementación software. Si el núcleo procesador a incorporar en el FPLD es de uso muy extendido (8051, 68xx, PIC, etc.) se tiene la ventaja adicional de poder reutilizar gran parte del software disponible para el componente integrado.

En su parte frontal, FrankeBot dispone de una garra motorizada (construida a partir de un temporizador electromecánico usado y de perfiles de aluminio

convencionales), con medidor de presión y sensor de fin de carrera.

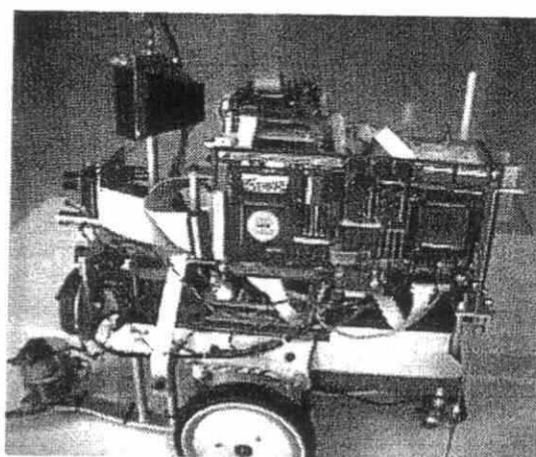
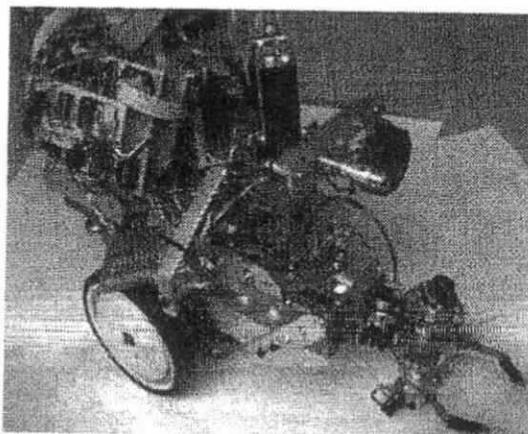


Fig. 1. Vistas laterales de FrankeBot.

Además de los elementos citados, FrankeBot dispone de otros dispositivos "sensoriales". Entre ellos cabe destacar un radar ultrasónico y óptico (este último reutilizado de un detector de presencia de un ascensor) situado en la parte frontal superior con el que se pueden desarrollar experiencias de guiado y detección de obstáculos. Este radar está acoplado a un motor de pasos reutilizado de una antigua disquetera para PC de 5 y 1/4". Con dicho motor se puede realizar una exploración sensorial del entorno de FrankeBot.

Otro de los sensores consiste en una cámara motorizada en blanco y negro modelo CTV-1150 con capacidad de visión nocturna situada detrás de la garra y que conjuntamente con un láser forma un sistema de triangulación para medida de distancias (descrito en el apartado III).

Además de las dos mini-cámaras mencionadas, Frankebot dispone una cámara CMOS en color cuya finalidad es servir al usuario como elemento de visión para navegación remota (Fig. 2).

Completando la relación de sensores de detección del entorno, Frankebot dispone de dos micrófonos para captar audio. Uno situado en la parte frontal y otro en la

parte posterior (el micrófono frontal formaba parte de una alarma de automóvil).

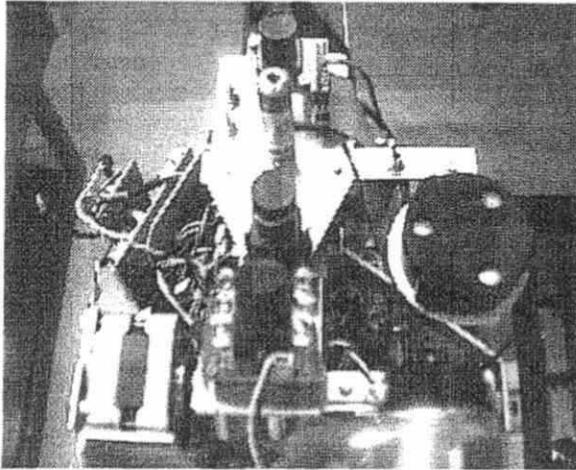


Fig. 2. Vista frontal de FrankeBot con sus tres mini-cámaras. En la parte inferior puede observarse la cámara giratoria analógica B/N con LED emisores de infrarrojos. A continuación está ubicada la cámara en color. Sobre ésta se encuentra el puntero láser para el sistema de triangulación, y en la parte superior la cámara B/N con salida digital para el sistema de movimiento autónomo guiado por visión implementado en lógica configurable.

Estos micrófonos, aparte de proporcionar al usuario una audición remota, posibilitan la experimentación (en el host) con algoritmos para separación de señales, reconocimiento de órdenes por voz, etc.

Frankebot pesa en torno a 6 kg. Para mover esta masa dispone de dos potentes motores que trabajan a 24 V y cuyas características más destacables son su alto par de giro a bajas revoluciones, y ser muy silenciosos. Estos motores están situados a ambos costados del robot con un acoplo directo a las ruedas, sin ningún tipo de mecanismo reductor. Los motores han sido reutilizados de una fotocopiadora (eran los encargados de mover el papel por los diferentes rodillos durante el proceso de copia), y las ruedas pertenecían a una aspiradora doméstica. Adosados a estos motores se han añadido unos codificadores ópticos de posición que le sirven al robot para conocer su desplazamiento (véase apartado III).

Frankebot puede comunicarse de forma remota a través de tres módulos RF: un módulo para datos y dos que transmiten audio y vídeo. La transmisión de datos se realiza a 433 MHz, con un radio-módem construido a partir de módulos FM de Aurel [7], cuya velocidad de comunicación está limitada por el microcontrolador a 7200 bps; mientras que la transmisión de audio y vídeo se realiza a 2400 GHz con un módulo profesional distribuido por EUROMA [8] y a 200 MHz con otro módulo extraído de un "sender" de vídeo doméstico.

Dada la multitud de sensores y actuadores de que dispone Frankebot, ha sido necesaria la construcción de un módulo multiplexor para aumentar el número de entradas/salidas del microcontrolador. Este módulo está situado en el costado derecho del robot y constituye una puerta abierta para futuras ampliaciones.

La plataforma móvil se complementa con una unidad de radio-módem conectada al puerto serie del PC, una unidad de alimentación y carga de baterías, ambas construidas a medida (figura 3), un receptor de 2400 MHz con salida de vídeo compuesto, y una capturadora de vídeo comercial AverTV USB [9].

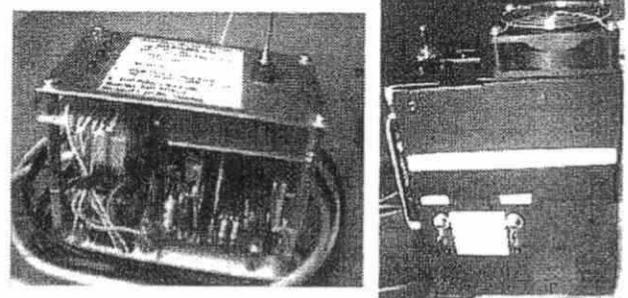


Fig. 3. Módulos hardware auxiliares construidos para FrankeBot: Unidad de radio-módem (izquierda) con conexión al puerto serie del PC; está basada en módulos FM de Aurel; la velocidad máxima de comunicación es de 19200 baudios, y gracias al amplificador RF de 0,5 W tiene un alcance superior al km en campo abierto. En la parte derecha se muestra la fuente de alimentación construida: dispone de tres fases y dos velocidades de carga, un control automático de la velocidad del ventilador de refrigeración, y permite simultáneamente la alimentación de FrankeBot con la carga de sus dos baterías de 12 V y 1,2 Ah (esta unidad ha sido construida casi totalmente a partir de componentes usados).

III. IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS HARDWARE DE FRANKEBOT

Todos los módulos hardware a excepción de los dedicados a la transmisión y captura de vídeo han sido construidos a medida. A continuación se realiza una descripción más detallada de algunos de estos módulos.

Uno de los componentes con mayor relevancia es el dedicado al control de la velocidad y posición del robot. El control se implementa mediante un sistema realimentado. Tras dar una orden de movimiento definida por: potencia, nº de motor, sentido de giro y desplazamiento deseado, el sistema responde activando el motor correspondiente y midiendo su posición hasta alcanzar el objetivo programado.

El sistema de control completo está compuesto por el conjunto de módulos hardware que aparecen en la figura 4. En una primera etapa, las señales procedentes del microcontrolador se amplifican y se aíslan eléctricamente mediante optoacopladores (modelo 4n25).

La palabra de control se divide en dos. Una parte codifica el voltaje deseado y la otra el sentido de giro. El voltaje se ajusta mediante un convertidor D/A y un regulador de tensión modelo LM338k. El resultado se aplica sobre una etapa de conmutación de transistores de potencia con configuración en H que activan directamente el motor. El giro producido en cada motor es detectado mediante un codificador óptico basado en sensores de infrarrojos directos, y es transmitida al

microcontrolador, cerrándose así el bucle de realimentación.

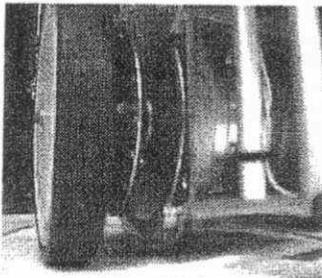
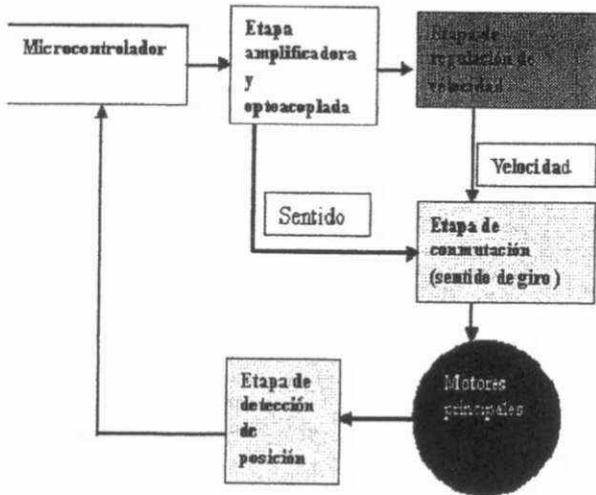


Fig. 4. Diagrama de bloques del sistema de control de motores. En la parte inferior: detalle de uno de los "encoders" ópticos de posición.

Otro de los módulos que incorpora FrankeBot es el encargado de la medición de distancias con ultrasonidos. Este módulo está constituido por el circuito acondicionador de señal y los transductores, encargados de emitir y recibir los ultrasonidos.

El circuito acondicionador realiza la generación de la señal a emitir cuando se activa la entrada *Ping*, así como la amplificación y detección de la señal reflejada (figura 5).

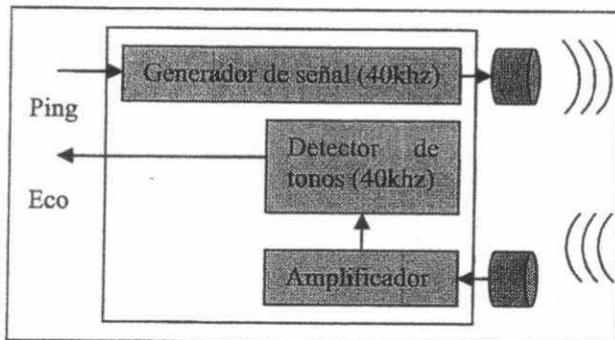


Fig. 5. Esquema del circuito de ultrasonidos.

La distancia a un objeto que produzca eco se calcula directamente a partir del tiempo de ida y vuelta del "ping" emitido, que se habrá propagado a la velocidad del sonido.

Como indicamos anteriormente, el sensor de ultrasonidos está instalado junto con el sensor óptico de

reflexión sobre un motor paso a paso, similar al empleado para variar la inclinación de la cámara B/N analógica. Ambos motores de pasos emplean integrados SAA1027 para generar la secuencia de señales de activación de sus bobinas.

Terminamos este apartado con una referencia a otro de los módulos relevantes que incorpora FrankeBot, el medidor de distancias con láser mediante triangulación. Este sistema está basado en la detección de la posición del punto reflejado del haz láser mediante un análisis de la matriz de imagen. La figura 6 explica esquemáticamente su fundamento (este esquema es muy similar al empleado en algunos sistemas de lanzamiento de misiles).

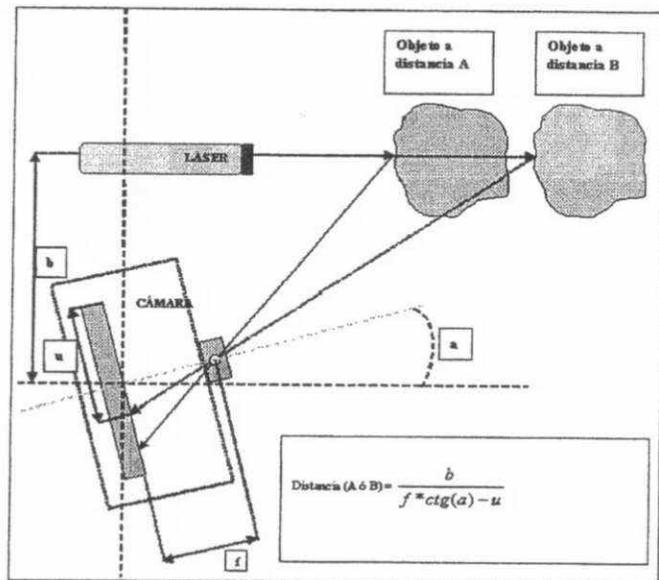


Fig. 6. Principio de funcionamiento del medidor láser de distancias por triangulación.

La ventajas principales de este sistema son la precisión de medida y la facilidad de procesamiento de la imagen de la cámara, ya que en ésta sólo deben explorarse ciertas columnas de píxeles, en las que el desplazamiento vertical del reflejo producido por el láser permite calcular directamente (o consultar en una tabla) la distancia al objeto. En la implementación actual se emplea una cámara con salida analógica cuya señal es transmitida a un PC remoto, en el que fácilmente puede calcularse la distancia evaluando la expresión indicada en la figura 6. Alternativamente, si se emplea la cámara con salida digital, la estimación de distancias es fácilmente implementable en dispositivos de lógica programable que incluyan bloques RAM embebidos (en nuestro caso, uno o varios EAB del CPLD-SRAM de Altera pueden emplearse en este caso para proporcionar una estimación de la distancia con precisión suficiente).

IV ORGANIZACIÓN DEL ENTORNO SOFTWARE

Frankebot puede trabajar de dos formas: una forma autónoma, mediante un algoritmo de control grabado en la memoria del microcontrolador y/o configurado en el

CPLD de la placa de Altera, y otra forma dirigida bajo las órdenes de un operador remoto.

Para realizar toda la gestión del robot de forma remota (establecimiento de consignas, ejecución de órdenes, lectura de variables de estado, visión remota, e incluso programación y reconfiguración a distancia) se ha desarrollado un entorno software multimedia que abstrae al máximo toda la complejidad de bajo nivel que supone el control a distancia del robot. El resultado ha sido una aplicación visual para Windows que incorpora la última tecnología DirectX V8.1 de Microsoft para la visualización y tratamiento de vídeo.

La filosofía seguida en el desarrollo de la aplicación ha sido la cliente-servidor. FrankeBot es un servidor y ejecuta todas las órdenes que le da el cliente, en este caso el operador remoto.

La aplicación dispone de los siguientes módulos funcionales: 1.- Un sistema de visualización y detección de obstáculos que recoge la información proporcionada por el radar óptico y el ultrasónico. 2.- Un sistema de visualización y captura de vídeo remoto, donde el operador puede ver todo aquello que ve la cámara seleccionada en FrankeBot. 3.- Un sistema de consola de operador para ordenar al robot que se dirija hacia una determinada dirección o que abra o cierre la garra. 4.- Un control de establecimiento de consignas, como la potencia de los motores. 5.- Un sistema de visualización de variables de estado, como el nivel de carga de las baterías o la temperatura exterior del robot. 6.- Un sistema de comunicaciones serie (a través de cable RS-232 o de radio-módem).

Todo este conjunto de módulos funcionales que nos ofrece la aplicación es gestionado a través de eventos. Se distinguen dos clases de eventos: 1.- Eventos de usuario, como ordenar al robot que avance hacia delante. 2.- Eventos de sistema, como refrescar las variables de estado de forma automática. Los eventos del usuario tienen mayor prioridad que los del sistema, pues se prefiere que el usuario disponga de mayor control sobre el robot antes que disponer de un valor de una variable actualizado automáticamente por el sistema. Los eventos de sistema se realizan cíclica y periódicamente. Estos eventos consisten en interrogar al robot acerca del estado de sus sensores. Frankebot responde con la información solicitada. Lógicamente durante un evento de sistema no se pueden atender eventos de usuario, pues el microcontrolador no implementa concurrencia. No obstante las peticiones realizadas por el usuario se apilan para ser atendidas lo más rápidamente posible después del evento de sistema.

El protocolo de comunicaciones es muy simple: cada orden que se manda al robot está codificada con ocho bits, lo que implícitamente supone un sistema de filtrado de errores ya que solamente se utilizan veinticinco de las 256 posibles combinaciones. El protocolo ofrece un servicio N.O.C. (No Orientado a Conexión). La razón es la eficiencia: se prefiere disponer de "time-out" pequeños (cuando se espera a recibir un dato solicitado) y retransmitir una orden (cuando se desea que FrankeBot se desplace), antes que invertir tiempo y ocupación del canal en solicitar una retransmisión o en confirmar una orden recibida por parte del robot.

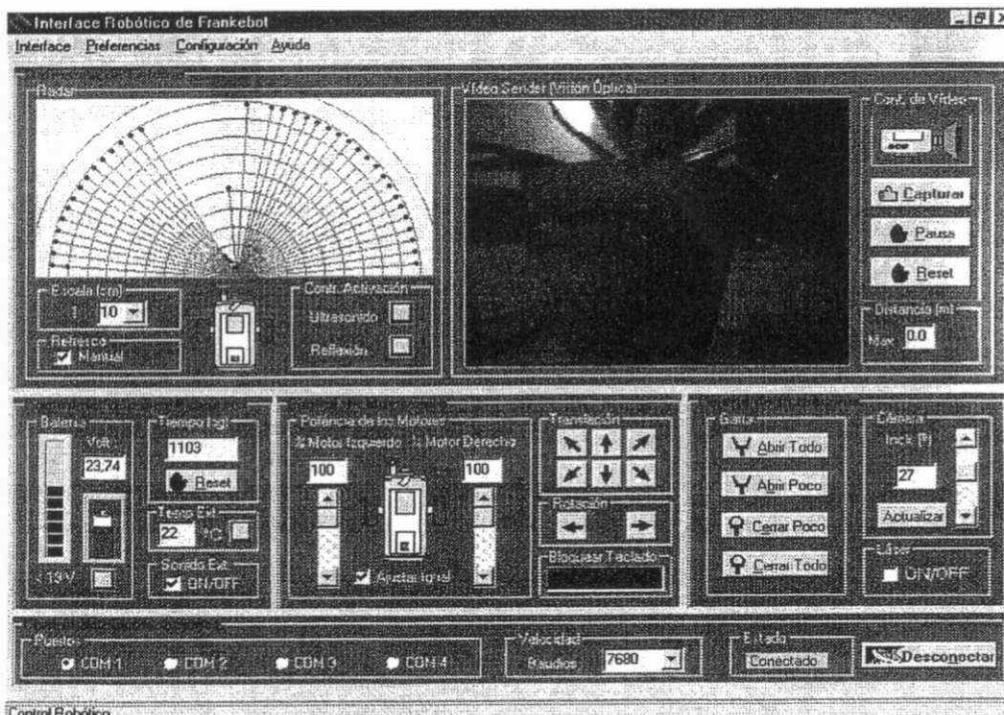


Fig.7. Vista de la ventana de control principal de FrankeBot en funcionamiento. En la parte superior izquierda se observa el resultado del último barrido realizado con el radar ultrasónico, y a su derecha la imagen que está captando una de las cámaras de FrankeBot.

Con respecto a la captura y gestión de vídeo, como ya se ha mencionado, se ha hecho uso de la tecnología Microsoft DirectX V8.1. Mediante la biblioteca de funciones DirectX se da mayor dinamismo y compatibilidad a la aplicación pues permite abstraer la capa del hardware de captura. Es decir, la aplicación funciona con cualquier marca o modelo de dispositivo de captura de vídeo que se tenga conectado al sistema remoto. De forma automática se identifica el dispositivo y se ofrecen al operador todas sus posibilidades. Por ejemplo, si se dispone de una capturadora de TV se da la posibilidad de poder sintonizar los canales RF.

La interfaz gráfica permite elegir varios modos de visualización. En concreto el usuario puede ordenar que sólo se visualice, de forma ampliada, la respuesta del radar de obstáculos o la imagen de vídeo recibida junto con los controles de movimiento.

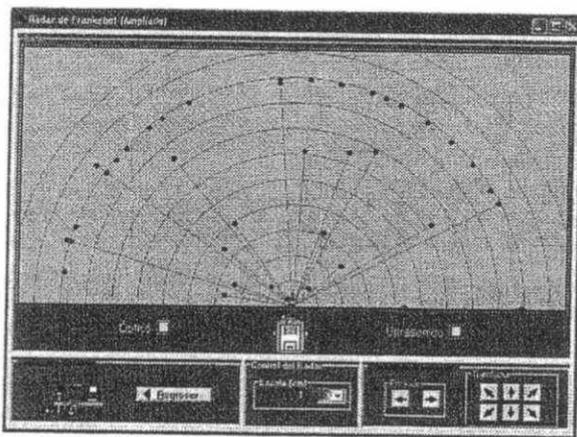


Fig. 8. Ventana de vista ampliada del radar de ultrasonidos y el óptico.

Otra posibilidad ofertada es la de poder ver en tiempo real todas las transmisiones que se realizan entre la aplicación y el robot. Esta característica es muy didáctica porque ilustra el funcionamiento de las comunicaciones y el continuo diálogo entre la aplicación y Frankebot.

V CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE CONTINUACIÓN DEL TRABAJO PRESENTADO

Hemos resumido los entornos hardware y software desarrollados en el contexto de un proyecto de carácter docente, enfocado principalmente a materias relacionadas con el diseño de hardware basado en microcontroladores y FPLD.

El núcleo de este proyecto es FrankeBot, una plataforma móvil construida totalmente a medida, que incorpora múltiples componentes usados de diversa procedencia. Muchos de estos componentes podrían obviamente reemplazarse por otros comerciales más compactos y eficientes, o haber sido adquiridos como tales en su momento. Sin embargo esto habría restado interés didáctico al proyecto, inicialmente concebido

como proyecto de fin de carrera en la titulación de Ingeniería Informática.

La docencia de asignaturas relacionadas con el diseño de hardware en Informática estaba en nuestro caso muy enfocada al estudio y uso de herramientas CAD y EDA, muy potentes pero costosas y difíciles de mantener. Las experiencias que estamos realizando en el desarrollo y programación por parte de los estudiantes de plataformas como FrankeBot, nos han hecho observar cómo, aun empleando herramientas de diseño más rudimentarias, los estudiantes asimilan por igual los conceptos fundamentales, con las ventajas de una mayor motivación y facilidad de aprendizaje por su parte, gracias al refuerzo que proporciona poder llegar a verificar sus diseños en sistemas funcionando y que interaccionan con el mundo real.

Frankebot no es en absoluto un proyecto cerrado; al contrario, supone la base para el desarrollo de nuevos proyectos de carácter docente, así como una plataforma útil de experimentación en líneas de investigación muy diversas. Siguiendo esta filosofía, se tienen planteadas nuevas iniciativas que exploten y mejoren los resultados del trabajo hasta ahora realizado; algunas de ellas son:

- Implementación de esquemas de movimiento autónomo de FrankeBot integrando información multi-sensorial, y combinando procesamiento hardware-software local con algoritmos que se ejecuten en el host (PC remoto).
- Complementar el entorno software para permitir la monitorización y control de FrankeBot a través de Internet.
- Agilizar la comunicación digital vía RF desde el PC al objeto de acelerar la reconfiguración a distancia de los CPLD/FPGA incorporados en FrankeBot.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto de Innovación Docente: *Entorno Hardware/Software para experimentación basado en micro-robot*, financiado por la Universidad de Granada.

También ha recibido financiación de los proyectos europeos CORTIVIS (QLK6-CT-2001-00279 ; <http://cortivis.umh.es>) y SpikeFORCE (IST-2001-35271, <http://spikeforce.org>)

Nuestro agradecimiento a Gonzalo Olivares por proporcionarnos la mayor parte de los componentes para la construcción del radio-módem.

III. REFERENCIAS

- [1] Hamblen et al.: *Rapid Prototyping of Digital Systems*. Kluwer Academic Publishers. 2001.
- [2] Microsystems Engineering. <http://www.microcontroladores.com/>
- [3] Microbótica. <http://www.microbotica.es/>
- [4] Altera. <http://www.altera.com/>
- [5] M4088 <http://www.electronic-kits-and-projects.com/kit-files/cameras/d-m4088.pdf>
- [6] OmniVision <http://www.ovt.com/>
- [7] Aurel <http://www.aurel.it/>
- [8] EUROMA <http://www.euroma.es/>
- [9] AverMedia <http://www.avermedia.com/>