

NAVOT: ROBOT AUTÓNOMO EDUCACIONAL

Josep Fernández Ruzafa, Josep Escoda Herrando

Dpto. Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial
Universitat Politècnica de Catalunya
C/ Pau Gargallo, 5. 08028 BARCELONA
ruzafa@esaii.upc.es

Resumen

En esta comunicación se presenta NAVOT un entorno para la navegación de un vehículo autónomo (microbot). Este sistema se ha desarrollado para ser utilizado como equipo de laboratorio de asignaturas del ámbito de la robótica. El sistema se basa en un microbot de bajo coste capaz de ejecutar acciones simples y una aplicación que se ejecuta en una estación remota que permite controlar sus movimientos, definir trayectorias complejas y controlar el vehículo en función de la información sensorial.

Palabras Clave: Robot móvil, Navegación, Laboratorio de robótica

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo se centra en el diseño e implementación de un entorno para la navegación de un vehículo autónomo (también llamados robot móviles) de bajo coste orientado a la impartición de asignaturas del ámbito de la robótica. Para ello, se definieron las siguientes necesidades: estructura

mecánica y electrónica embarcada simples, control (ejecución de los algoritmos de navegación) desde una estación remota fija tipo PC, ausencia de conexión mediante cable umbilical, definición de un lenguaje de alto nivel para la definición de las trayectorias realizadas por el robot móvil, sistema abierto (posibilidad de introducir modificaciones por el usuario) y fácil de usar.

La figura 1 muestra un esquema de las diferentes partes que forman el sistema.

Con el propósito de eliminar cualquier cable que limite la maniobrabilidad del vehículo se utilizan baterías como fuente de energía, y la comunicación entre la estación remota fija y el vehículo autónomo se realiza mediante radiofrecuencia, solución que permite una mayor flexibilidad y mayor campo de operación (alcance) del sistema.

El sistema soporta el control coordinado de hasta 8 vehículos autónomos. El sistema descrito puede utilizarse como equipo de laboratorio para temas relacionados con el control de estructuras mecánicas, programación de robots, navegación o la robótica móvil en general.

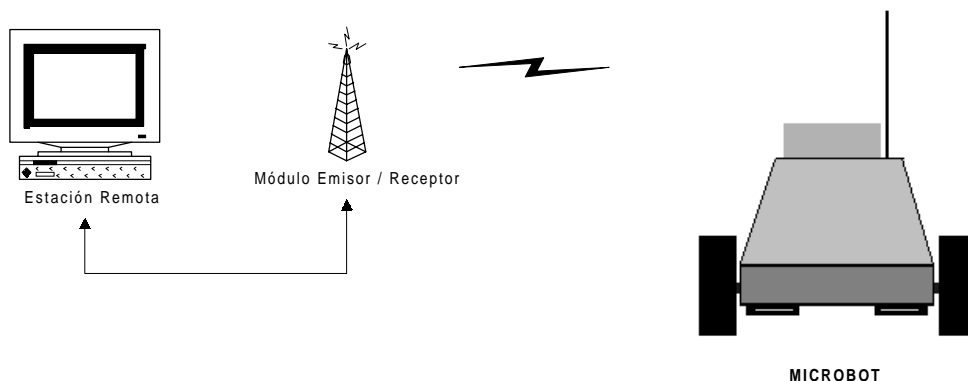


Figura 1. Esquema general del NAVOT

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El entorno de trabajo del NAVOT consta de dos partes bien diferenciadas: el vehículo o microbot y la aplicación de interfaz con el usuario y programación que se ejecuta en la estación remota.

Los elementos básicos que formen el vehículo son:

- Estructura mecánica: chasis y motores
- Sensores: odométricos y de entorno
- Electrónica embarcada: Etapas de potencia y microcontroladores para el control de los motores y la lectura de sensores

Los aspectos que han primado a la hora de diseñar e implementar el sistema son el bajo coste, la simplicidad y la robustez.

2.1 ESTRUCTURA MECÁNICA

Entre las diferentes alternativas se ha optado por una configuración de 3 ruedas dispuestas de forma triangular, con dos ruedas motrices en la parte delantera y un rueda pasiva, tipo castor, en la parte trasera. La dirección de avance del robot queda definida por la velocidad de cada una de las dos ruedas (control diferencial). Se han utilizado motores de corriente continua fabricado para el sector del modelismo. Todo ello se ha ensamblado utilizando 6 placas de metacrilato, siendo la forma del vehículo prismática.

La elección de esta configuración obedece a su simplicidad mecánica, a su gran maniobrabilidad (el microbot puede girar sobre si mismo) y la simplicidad de los algoritmos de control de la trayectoria del vehículo.

Las ruedas motrices tienen un diámetro de 41mm y un ancho de 10mm. Son de goma y el dibujo de los neumáticos no es liso, sino que presenta incisiones rectangulares que dotan a la rueda de una mayor estabilidad para terrenos irregulares o muy resbaladizos, como puede serlo el suelo de los edificios. La distancia entre ruedas motrices es de 135 mm.

Los motores son de corriente continua, y tienen incorporado un reductor en la misma carcasa. Ofrecen un bajo consumo y una muy buena relación entre su peso y el par generado.

2.2 SENSORES

En el eje de cada rueda motriz se ha dispuesto un encoder incremental con el fin de conocer el

recorrido (y velocidad) realizado por el robot. El encoder es de 32 marcas y permite obtener una resolución de 4 mm en el desplazamiento de cada rueda. Los encoders son de construcción propia, a partir de un disco con las marcas dispuestas en su perímetro y de un sensor óptico de reflexión.

Además de los encoders, necesarios para controlar la trayectoria definida por el vehículo, el robot móvil dispone de 3 microinterruptores para la detección de colisiones con obstáculos y de un sensor óptico de reflexión para la detección de la ausencia de una superficie (suelo) para desplazarse.

La figura 2 muestra la disposición de los sensores. El sistema ha sido diseñado con el propósito de ser fácilmente ampliado con otros sensores, ya sean del mismo tipo (binarios) o más complejos como un sensor de ultrasonidos.

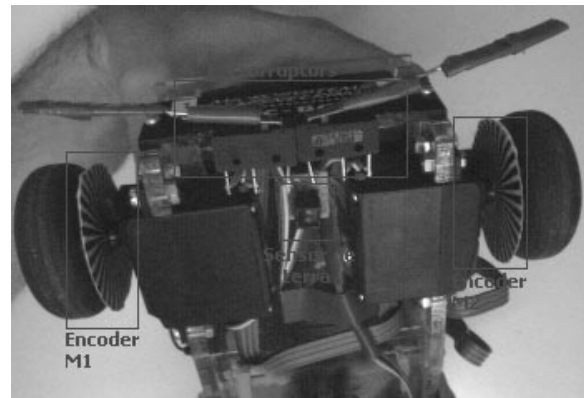


Figura 2. Vista del vehículo. Disposición de los sensores delanteros.

2.3 ELECTRÓNICA EMBARCADA

La parte electrónica del robot se puede dividir en tres grandes bloques (figura 3): 1) Alimentación y etapa de potencia de los motores, 2) Microcontrolador para el control del vehículo y la comunicación radio, y 3) Microcontrolador para la gestión de los sensores.

Alimentación. La energía necesaria para el microbot es suministrada por una batería de 12 V. Esta tensión es la utilizada para alimentar los motores. La alimentación de los componentes digitales del vehículo proviene de un estabilizador de tensión que genera 5 V a partir de la batería. El robot dispone de un circuito de carga de la batería formado, básicamente, por un puente de diodos y un regulador de tensión de 12 V.

Las **etapas de potencia** de los motores están formadas por un clásico puente H que permite controlar el sentido y velocidad del motor a partir de una señal PWM.

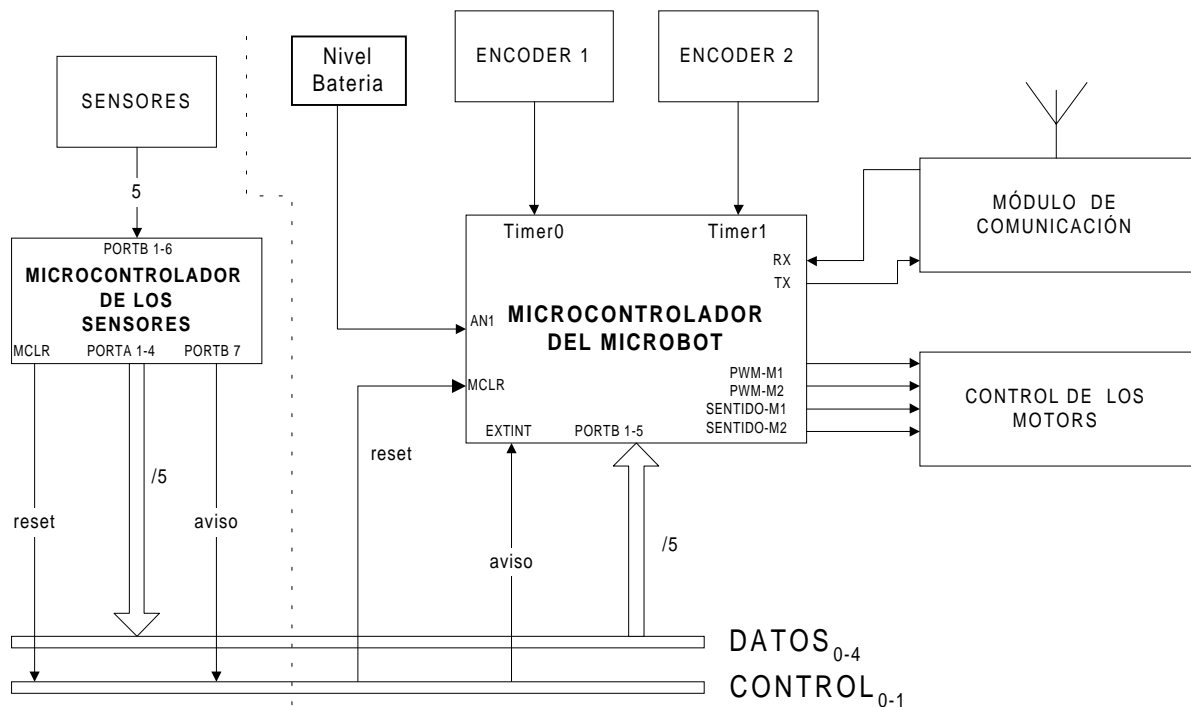


Figura 3. Electrónica embarcada en el microrroot

Microcontrolador del Microbot

Este es el módulo central del vehículo que se encarga de la comunicación vía radio con la estación remota, de la ejecución de las instrucciones, tanto de movimiento, como las de control y gestión del vehículo, de la generación de las señales PWM de control de los motores y de la lectura de los encoders de las ruedas. Este bloque se basa en un microcontrolador *RISC* de la casa *Microchip*, modelo PIC16F877 y un módulo de transmisión radio “half-duplex” de la casa AUREL modelo RTF-DATA-SAW. Las principales características del PIC16F877 son:

- 8K de memoria *flash* per al programa (programable en circuito)
- Tres *timers*, en los que el *clock* pueden ser estímulos externos
- Dos generadores de señales PWM
- Comunicación serie mediante *USART* interna
- 8 niveles de pila
- 14 posibles interrupciones
- *WatchDog*
- Módulos de comparación y captura
- Conversores analógico-digital de 10 bits y 8 canales
- Puerto esclavo paralelo
- Comunicación I2C

La elección de este microcontrolador se debe a la buena relación calidad/precio, su capacidad de

controlar motores de corriente continua gracias a los periféricos que dispone, y la elevada cantidad de memoria interna para memorizar los programas y los datos.

Microcontrolador de sensores de entorno

Con el propósito de hacer que el sistema sensorial sea lo más flexible y abierto posible, se ha dedicado un segundo microcontrolador. En este caso se ha utilizado un PIC16F84 de menores prestaciones que el anterior, para la gestión y lectura suministrada por los sensores de entorno. Las principales características de este microcontrolador son:

- 1K de memoria flash, para programa
- Dos ports de entrada/salida, de 5 y 8 bits.
- 1 timer, control de interrupciones externas y watchdog.

Cada vez que se detecta un cambio de estado de los sensores, este microcontrolador genera una interrupción al microcontrolador de control. A partir de este momento, los microcontroladores intercambiarán la información relacionada con las medidas realizadas por los sensores mediante un bus común (DATOS₀₋₄ en la figura 3). Por tanto disponemos de 7 entradas digitales para la conexión de los sensores.

Algunos de los componentes del NAVBOT provienen de los elementos del kit del microbot

PICBOT-II, fabricado y comercializado por la empresa Microsystems Engineering [7].

2.4 PRIMITIVAS DE BAJO NIVEL

Los programas de los microcontroladores, además de la gestión de la comunicación vía radio, se encargan de realizar las acciones asociadas a un conjunto de instrucciones primitivas. Estas primitivas son el resultado de la traducción de las ordenes de alto nivel que manualmente o mediante un programa genera el usuario desde la estación remota, y que son enviadas desde la estación al robot vía radio.

Las primitivas se pueden desglosar en 5 grandes categorías:

- Control de los actuadores: Velocidad de los motores, activación/desactivación del control PI de la velocidad de las ruedas.
- Gestión de los contadores asociados a los encoders: Inicializar valor, lectura valor, habilitar.
- Instrucciones de movimiento: Línea recta, arco circunferencia, giro sobre si mismo y parada
- Lectura sensores
- Configuración y Estado: línea serie, baterías,

Desde la aplicación que se ejecuta en la estación remota, el usuario puede definir acción más compleja, pero en todos los casos las acciones complejas se desglosaran en un conjunto de acciones simples (primitivas).

3 INTERFAZ CON EL USUARIO Y PROGRAMACIÓN

Las funciones que tiene que realizar los programas que se ejecutan en la estación remota son la de configuración del sistema, el control manual del microbot y la edición, interpretación y ejecución de programas (scripts) en el lenguaje de alto nivel del robot.

El objetivo principal que se ha buscado en el diseño y desarrollo de los programas destinados al usuario han sido la simplicidad y la facilidad de utilización. Por esta razón, se ha optado por una interfaz gráfica sobre un sistema operativo de uso fácil y común, como el Windows™. La funcionalidad de este software es bastante elemental, ha de dar soporte a la escritura de los scripts de control por parte del usuario y posteriormente ha de ser capaz de interpretarlos y ejecutarlos. Ejecutar un scripts

implica mantener la comunicación con el microbot y controlar el flujo de ejecución de las instrucciones.

El sistema se complementa con un control manual del robot, tipo joystick, la ayuda on-line sobre el uso y funcionamiento del sistema del sistema y dos wizards para la escritura de los scripts.

La figura 4 muestra la interfaz del NAVBOT con el usuario.

Las instrucciones del lenguaje de NAVBOT se pueden agrupar en 4 categorías

- Configuración del sistema
- Control del flujo de ejecución
- Asignación y manipulación de variables
- Control posición y movimiento del microbot
- Lectura de sensores

Los dos ejemplos de se presentan a continuación muestran las posibilidades del lenguaje del NAVBOT.

Ejemplo 1. Realización de una trayectoria que define un cuadrado

```
// EJEMPLO MOVIMIENTO EN UN CUADRADO
// CON COORDENADAS RELATIVAS
RCOOR
WTXT POSICIÓN INICIAL
X=DOX
Y=DOY
R=DOR
WVAR X
WVAR Y
WVAR R
WTXT VAMOS A LA SEGUNDA ESQUINA
GIA -90,80
LIN 300,1,100
WTXT VAMOS A LA TERCERA ESQUINA
GIA 90,80
LIN 300,1,100
WTXT VAMOS A LA CUARTA ESQUINA
GIA 90,80
LIN 300,1,100
WTXT POSICIÓN ACTUAL
X=DOX
Y=DOY
R=DOR
WVAR X
WVAR Y
WVAR R
WTXT REGRESO A POSICIÓN INICIAL
GIA 90,80
LIN 300,1,100
GIA 180,80
WTXT FIN DEL PROGRAMA
```

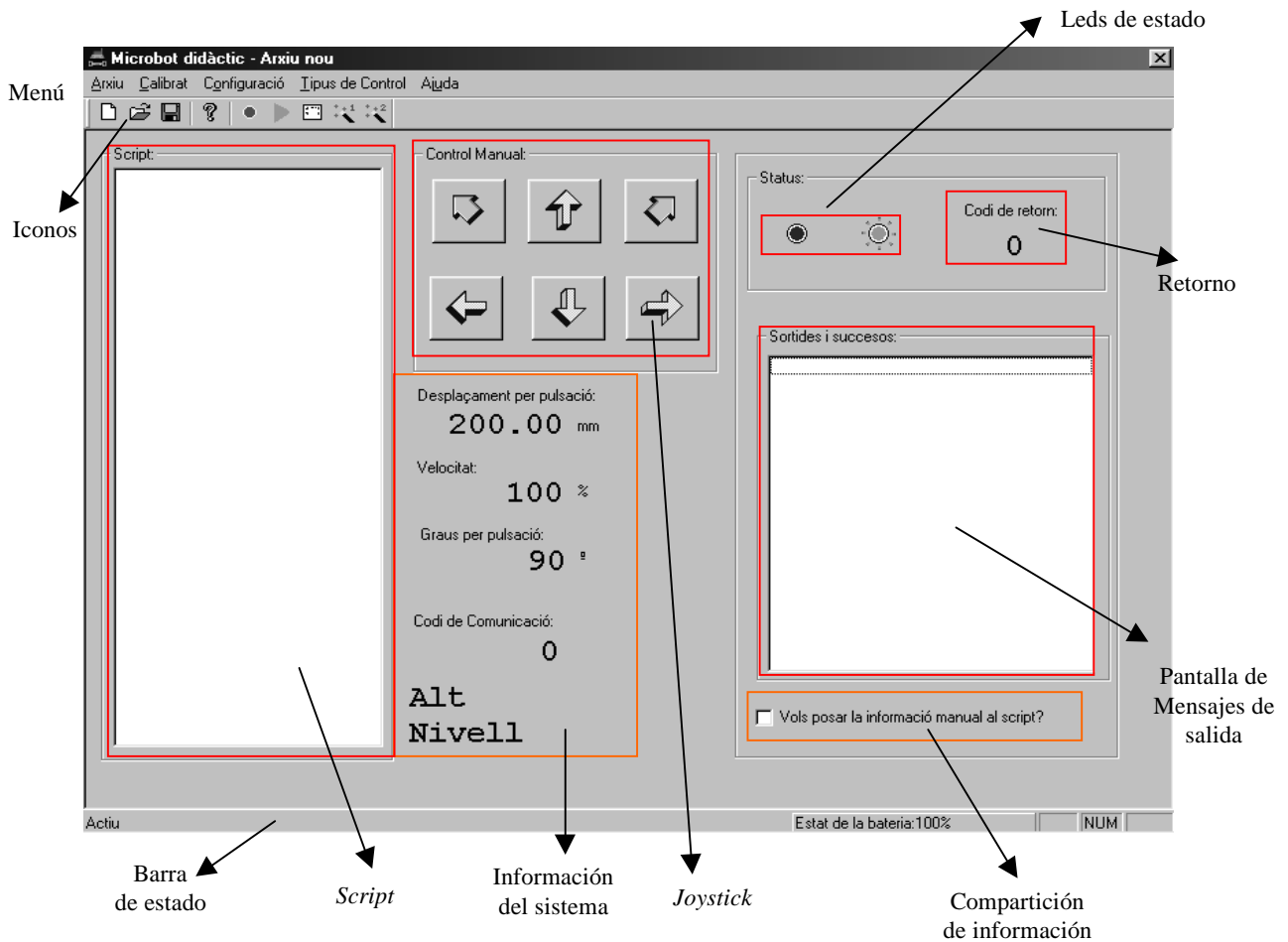


Figura 4. Interfaz de usuario del sistema NAVOT

Ejemplo 2. Utilización de la información sensorial.
Evasión de un obstáculo.

```
// EJEMPLO EVASIÓN OBSTACULO
```

```
// DSPL. COORD = 1
```

```
S1=0
```

```
S2=0
```

```
WTXT ENTRADA EN EL BUCLE DE AVANCE
```

```
ETIQ0:
```

```
ESTAT= S1 | S2
```

```
IF ESTAT!=0
```

```
GOTO FI0
```

```
LIN 100,1,100
```

```
S1=DSEN 1
```

```
S2=DSEN 2
```

```
GOTO ETIQ0
```

```
FI0:
```

```
WTXT COLISIÓN FRONTAL
```

```
WVAR S1
```

```
WVAR S2
```

```
WTXT RETROCEDEMOS
```

```
LIN 80,0,80
```

```
// ENTRAMOS EN MODO ABSOLUTO
```

```
X=DOX
```

```
Y=DOY
```

```
WTXT POSICIÓN ACTUAL
```

```
WVAR X
```

```
WVAR Y
```

```
Y=Y + 500
```

```
WTXT NUEVA POSICIÓN
```

```
WVAR X
```

```
WVAR Y
```

```
WTXT EJECUCIÓIN EVASIÓN SEG. SENSOR
```

```
IF S1==1
```

```
GOTO ESQ
```

```
SENTIT=0
```

```
GOTO MOVIMENT
```

```
ESQ:
```

```
SENTIT=1
```

```
MOVIMENT:
```

```
MOVG X,Y,0,SENTIT,80
```

```
WTXT OBSTACULO EVITADO
```

```
LIN 100,1,100
```

```
WTXT FIN DEL PROGRAMA
```

4 CONCLUSIONES

El sistema NAVOT es un entorno orientado a la formación en los conceptos básicos y en los principales problemas en el ámbito de la robótica móvil en general, y de la navegación autónoma en particular. El sistema está formado por un vehículo autónomo que tiene a bordo la energía y los algoritmos de control necesarios para ejecutar un conjunto reducido de acciones simples, a las que llamamos primitivas, y de una aplicación que se ejecuta en una estación remota que permite controlar tanto manualmente como mediante un programa las trayectorias realizadas por el robot. La comunicación entre vehículo autónomo y la estación remota se realiza vía radio.

El sistema informático embarcado es simple y de bajo coste. La flexibilidad, el comportamiento en función de la información sensorial y la "inteligencia" durante la navegación quedan recogidas en el programa de usuario realizado en el lenguaje del NAVOT que se ejecuta en la estación remota. Asimismo el sistema permite el control simultáneo y coordinado de hasta 8 vehículos. El lenguaje del NAVOT incluye instrucciones de control del flujo de ejecución de las instrucciones, instrucciones de definición de trayectorias (línea recta, arco de circunferencia, giro sobre el propio eje), de control a bajo nivel de los actuadores, de lectura de los sensores y de estado y configuración del sistema.

Las prestaciones que ofrece el NAVBOT son:

- Precisión de las trayectorias 2cm en posición y 5 en orientación
- Tiempo de autonomía 1 hora
- Alcance comunicación radio 10 m
- Dimensiones del microbot 176x133x96 mm
- Peso microbot, batería incluida 672 gramos

El sistema NAVBOT es adecuado como equipo de laboratorio de asignaturas del ámbito de la robótica ya que permite

- Introducir al alumno en la construcción de un robot. La simplicidad del robot hace posible que cualquier persona con muy pocos conocimientos previos pueda construirlo.
- El coste reducido del vehículo (aproximadamente 40.000 Pta, 294 €) también hacen asumible su construcción dentro del laboratorio de una asignatura
- Conocer y comprender el funcionamiento y relación entre los elementos básicos que forman un robot: Estructura mecánica, Sensores,

Control actuadores, Control de trayectorias, Programación y Navegación.

- Simplicidad y flexibilidad de uso. La interfaz con el usuario y la simplicidad del lenguaje de programación lo hacen asequible a todos.
- La programabilidad del sistema y la posibilidad de introducir cambios en los algoritmos y realizar las pruebas de forma instantánea, hacen del sistema NAVOT una herramienta muy útil para experimentar diferentes estrategias de navegación, en el laboratorio, basadas en la información sensorial.

Los trabajos futuros se centrarán en mejorar la precisión del vehículo utilizando actuadores y encoders de mejores prestaciones, así como en la mejora del rendimiento del sistema de comunicación vía radio, y en aumentar la capacidad sensorial con otros tipos de sensores, principalmente de proximidad y de alcance.

Bibliografía

- [1] Angulo J.M. et al. (2000) "Microbótica". Ed. Paraninfo.
- [2] Angulo J.M. et al. (1999) "Microcontroladores PIC, la solución en un chip". Ed. Paraninfo
- [3] Angulo J.M. et al. (1999) "Microcontroladores PIC, diseño práctico" Ed. Mc Graw-Hill
- [4] Everett H.R. (1995) "Sensors for Mobile Robots". Ed. AK Peters, Ltd.
- [5] Jones J.L, Flynn A.M. (1993) "Mobile Robots". Ed. AK Peters, Ltd.
- [6] Lucas, G.W. "Tutorial and elementary model for the differential steering system of Robot Wheel actuators". <http://rosum.sourceforge.net/papers/DiffSteer/DiffSteer.html>.
- [7] Microsystems Engineering. <http://www.arakis.es/>
- [8] Nelson, M. (1998) "Serial Communications, Developer's Guide", Ed. M&T Books (IDG Books)
- [9] "PIC16F877 Datasheet". Microchip, <http://www.microchip.com>