

Micro-robot Dixi

Heli Tejedor Palomar, Técnico en Informática de Sistemas.

helitp@arrakis.es

Resumen

El robot Dixi es un micro-robot de propósito general. Este robot es una versión mejorada de otro llamado Pixi, basado en la misma mecánica. Para participar en el concurso Alcabot 2001 [1] se le han grabado dos programas para participar en dos pruebas: rastreador y velocista.

1. Introducción

El diseño del micro-robot se hizo partiendo de las siguientes bases:

- Que cumpliera con las normas del concurso Alcabot 2001 [1] y que pudiera realizar con éxito al menos dos pruebas.
- Que fuese lo más sencillo posible, siempre que resultase operativo.
- Que estuviese realizado en su mayor parte con materiales reciclados.

En el diseño final se ha conseguido cumplir con las tres premisas. El robot es capaz de realizar las pruebas de rastreo y velocidad con fiabilidad y a una velocidad elevada. En su construcción se han utilizado materiales de lo más corriente, fáciles de conseguir, y robustos. Además estos materiales son todos ellos reciclados de chatarra de equipos electrónicos.

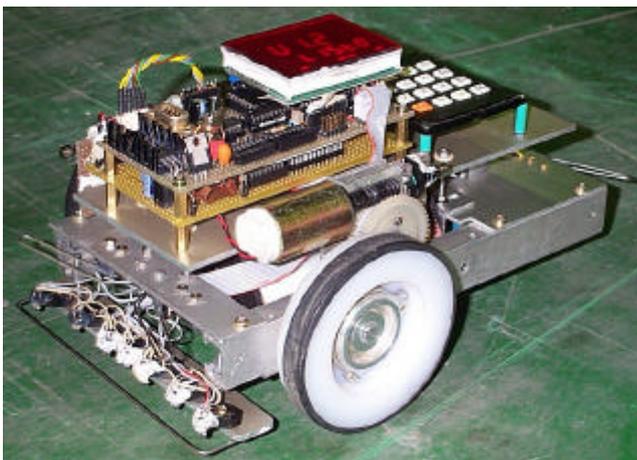


Fig.1. Micro-robot Dixi

Para la mecánica se ha utilizado una configuración clásica de triciclo en el que las ruedas delanteras son las motrices y la trasera gira loca. Los giros se consiguen variando la velocidad de una rueda motriz respecto de la otra. Esto permite una gran maniobrabilidad, a la vez que simplifica la construcción.

La electrónica está montada sobre dos placas de baquelita pretaladrada de 133 x 64 mm y de 133 x 73 apiladas una sobre otra. El conexionado de los componentes en las

placas es mediante cables aislados de 0.3mm, ya que para un prototipo es más rápido de realizar y más fácil de modificar que un circuito impreso.

Los órganos sensoriales del micro-robot son con 7 sensores de infrarrojos para detectar las líneas, 4 parachoques, un teclado de matriz de 4 x 4 teclas y dos encoders incrementales para detectar la velocidad de los motores y la posición de las ruedas.

Esta equipado también con un display de led de 7 segmentos de 4 + 5 caracteres para mostrar el estado de los programas y cambiar parámetros.

El programa, escrito en C, está compuesto de varios módulos con distintas utilidades y contiene varios subprogramas para realizar distintas tareas. Incluye un sistema de regulación de velocidad PID discreto para cada uno de los motores.

2. Plataforma mecánica usada

Todo el micro-robot está construido en aluminio, un material muy resistente y ligero, además de ser muy fácil de mecanizar.

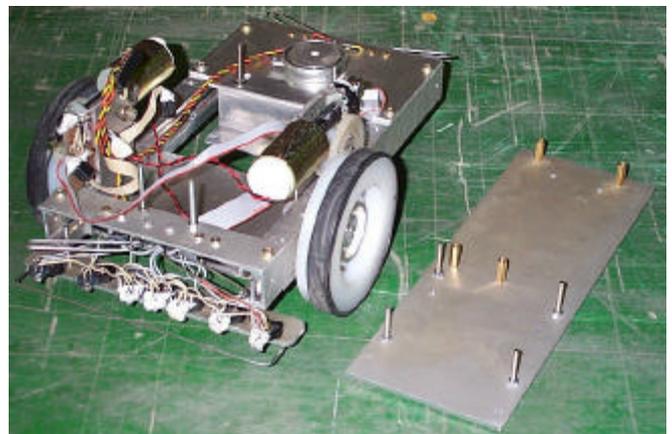


Fig 2. Plataforma mecánica.

El chasis está compuesto por dos perfiles de aluminio de 25 x 14 mm y 2 mm de pared, dispuestos longitudinalmente, y de tres chapas, del mismo material y grosor, colocadas transversalmente. Todo ello unido entre sí mediante tornillos M4 x 10 mm y taladros roscados.

Una pieza rectangular de aluminio, unida al chasis mediante espárragos de M3 x 30 mm, sirve de tapa para el compartimento de la batería y de soporte para la electrónica.

Las dos placas que conforman la parte electrónica, están fijadas a esta pieza de aluminio mediante separadores hexagonales de M3 x 13 mm.

El teclado de 16 teclas está fijado a esta misma placa de aluminio mediante tornillos de M2.5 x 25 mm y distanciadores de plástico de 15 mm.

Las ruedas, están construidas en nilón. Estas giran sobre un conjunto de 2 rodamientos, procedente del desguace de una disquetera de 5 y ¼ pulgadas, fijadas a los perfiles de aluminio mediante tornillos de M4 x 35. Los rodamientos de la tercera rueda, que también es de nilón, también proceden de una disquetera.

Las dimensiones finales del conjunto son de 280 mm de largo, 180 mm de ancho y 150 mm de altura.

Todas las piezas de aluminio son recicladas del desguace de un bastidor industrial.

Para la tracción se usan dos motores de corriente continua, de aproximadamente 8 W y 4000 RPM a 12 V, que atacan a dos reductores de tornillo sin fin con una relación de reducción de 43 a 1. La transmisión se realiza a través de dos piñones del mismo diámetro, no realizándose en este paso ninguna reducción. Los motores provienen del desguace de una unidad DAT de la marca TEAC, y los reductores de un reproductor de vídeo marca ORION.

Cada motor tiene acoplado al extremo del eje, mediante una unión elástica de goma, un encoder incremental de 36 pulsos por revolución. Estos encoder, que están contruidos con piezas de un ratón de desguace, sirven para medir la velocidad de los motores y la posición de las ruedas.

3. Arquitectura hardware

Sólo dos placas de circuito componen la electrónica de este micro-robot, junto con un teclado y un display.

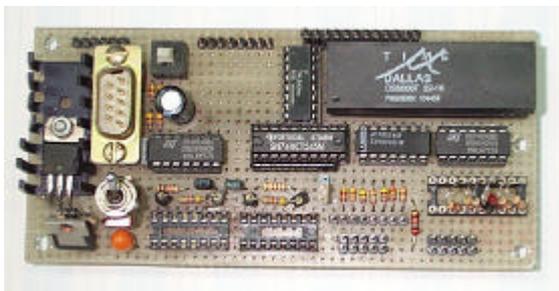


Fig. 3. Placa del uP y de I/O.

La primera, que ocupa la parte superior contiene los siguientes elementos:

- Un interruptor de encendido apagado.
- Un regulador de tensión de 5 voltios 1.5 amperios modelo LM 7805 [2] que genera, a partir de la tensión de 12 voltios de la batería, la tensión usada por toda la electrónica. Al usar circuitos CMOS el consumo total de esta rama de la alimentación es de 400 miliamperios, lo que permite usar un pequeño disipador de 13 cm² sin mayores problemas.
- Un cargador para la batería. Esta compuesto por un regulador LM 317 [2] conectado como generador de corriente. Esta ajustado a 250 miliamperios, la décima parte de la corriente nominal de la batería, para carga

lenta a 14 horas. Necesita una fuente externa de 18 voltios.

- Un driver de línea RS232 y un conector cannon macho de 9 pines que permite conectar el micro-robot a un ordenador para su programación o depuración de programas.
- El microcomputador, un Dallas DS5000 [3], es una versión del 8051 de Intel. Integra en un solo encapsulado el microcomputador, 32K bytes de memoria RAM y una batería de litio de salvaguarda de la memoria. La memoria puede dividirse en una parte para ROM y otra para RAM, siendo toda ella no volátil. Además dispone de 3 puertos de 8 bits disponibles para el usuario. Este microcomputador dispone de un cargador residente en ROM, lo que hace la descarga de programas desde un ordenador muy fácil. La frecuencia de reloj es de 11.0592 Mhz, un poco más baja de la máxima admitida por el circuito pero que permite generar las velocidades de comunicación con un ordenador PC compatible, de 9600 a 57600 baudios, con más precisión. Se ha optado por la utilización de este microcomputador por su facilidad para ser programado, gracias a su cargador residente en ROM, y por existir muchas herramientas software para él, como compiladores de C, etc. Esto hace que tanto la creación como la depuración de los programas sean muy rápidas.
- Circuitos auxiliares [4] que sirven de lógica de decodificación, adaptación de niveles, etc. Se utilizan dos cuádruples schmitt trigger CD 4093, un decodificador SN 74HC42 y un óctuple transceiver triestado SN 74HC245.
- Un display de led de 7 segmentos de 4 + 5 dígitos.

A esta placa están también conectados los sensores de líneas, los parachoques, el teclado y la batería.

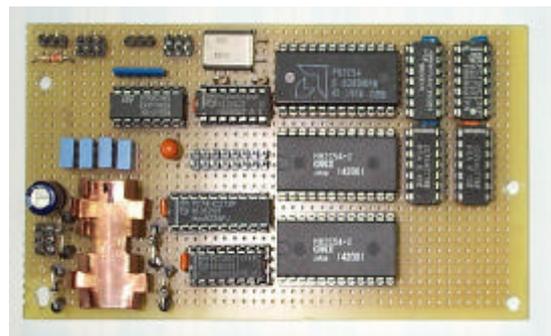


Fig. 4. Placa de control de motores.

La segunda placa electrónica contiene los circuitos relacionados con los motores y los encoder. Esta situado bajo la primera unida mediante dos conectores, uno de alimentación y otro de bus. Esta placa contiene:

- El driver de los motores, un L283B de SGS-Thomson [5], junto con sus componentes auxiliares. El control de la tensión aplicada a los motores se realiza por modulación de anchura de pulso (PWM) a través de este circuito.

- Tres triples contadores de 16 bits i82C54 [6].
- Completan esta placa dos séxtuples schmitt trigger SN 74HC14, un doble decodificador SN 74HC139, y un óctuple latch SN 74HC273. Los dos motores y los dos encoder se encuentran conectados a ésta placa.

De los seis contadores tres se usan como moduladores de anchura de pulso y cuatro más para contar los pulsos de los encoder. Un cristal de 4 Mhz proporciona la frecuencia patrón para estos circuitos. Un contador de 16 bits divide esta señal para generar la frecuencia base de los moduladores. Dos contadores más, conectados como monoestables, generan los pulsos del ancho programado. El uso de estos contadores permite una resolución máxima de 65535 pasos de velocidad a una frecuencia de 61 Hz. En el modelo final se ha optado por una resolución de 16384 pasos a 244 Hz. En la figura 5 puede verse el conexionado de estos contadores para formar el modulador de anchura de pulsos.

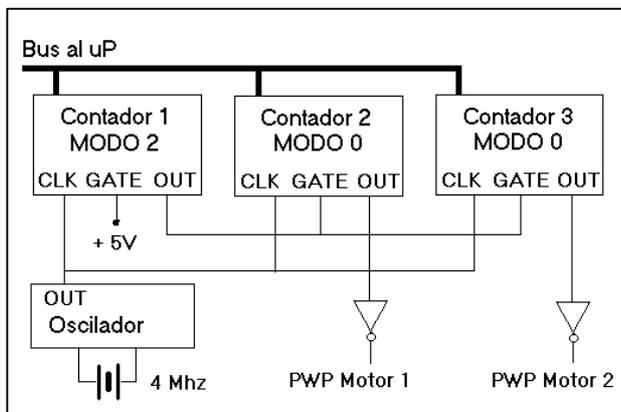


Fig. 5. Modulador de anchura de pulsos.

Otros cuatro contadores se usan para contar los pulsos de los encoder. Se utilizan dos circuitos idénticos, uno para cada encoder. Como los contadores no son reversibles se utilizan dos contadores por cada encoder de forma que uno cuenta pulsos cuando el encoder gira a la derecha y el otro cuando gira a la izquierda. Restando uno de otro se puede saber en que sentido se ha movido el encoder. Realizando esta operación a intervalos conocidos (20 milisegundos en este caso) se puede saber la velocidad de giro.



Fig. 6. Detalle del conjunto de detectores

El conjunto de 7 detectores, que es el principal órgano sensorial del micro-robot, se encuentra montado sobre una placa de aluminio, que puede alejarse o acercarse al suelo según convenga. Cada detector consta de un emisor y de un receptor de infrarrojos obtenidos del desguace de varias disqueteras de 5 y ¼ marca SAFRONIC. Los emisores se

encuentran conectados en serie a un regulador de corriente de 16 miliamperios, alimentado a 12 voltios. Los receptores, que son fototransistores, se encuentran polarizados a través de unas resistencias de colector, variables de 10 K a 50 K, y atacan a unos inversores schmitt trigger CMOS. Mediante estas resistencias variables es posible regular la sensibilidad de los detectores para adaptarse a las características de las distintas superficies sobre las que ha de circular.

Los encoder incrementales, mencionados anteriormente, están contruidos usando piezas de un ratón de ordenador averiado. Cada uno consta de un disco con 36 ranuras, que está unido al eje del motor, y de dos emisores y dos receptores de infrarrojos. Los cuatro emisores, dos en cada encoder, se encuentran conectados en serie a 12 voltios a través de una resistencia limitadora de 220 ohmios. Los receptores, fototransistores, están polarizados mediante unas resistencias de 10 K en su colector y conectados a unos inversores schmitt trigger. La salida del schmitt trigger de cada pareja de detectores esta conectada a una pareja de contadores según el esquema de la figura 7. La entradas CLK son activas por flanco descendente y las entradas GATE son activas por nivel alto. Este conexionado hace que el contador 1 cuente sólo cuando estando FASE2 a nivel alto caiga FASE1. El contador 2 cuenta sólo cuando FASE1 esté a nivel alto y caiga FASE2. De esta manera cada contador cuenta sólo pulsos en un sentido de giro.

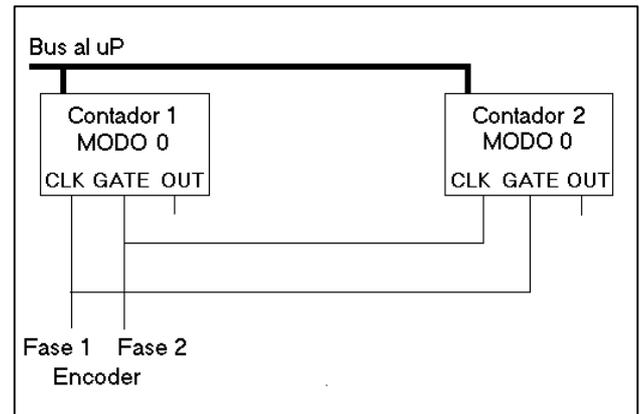


Fig. 7. Contadores de un encoder

Todos los elementos electrónicos que componen estas dos placas provienen de desguaces de maquinas recreativas (pimballs, máquinas de premio, máquinas de videojuegos etc.).

La energía para todo el sistema la proporciona una batería de niquel-cadmio de 12 voltios y 2.5 amperios hora, procedente de un antiguo ordenador portátil.

4. Software y estrategias de control

El programa del micro-robot está escrito en lenguaje C. Se ha utilizado un compilador de la casa Keil Software [7], que es muy óptimo en cuanto a la generación de código. El disponer de ésta herramienta de programación es uno de los motivos que ha llevado a utilizar un micro compatible con el Intel 8051, pese a ser poco potente y anticuado.

El programa está estructurado en varios módulos, encargándose cada uno de ellos de una tarea precisa.

La rutina MAIN, llamado tras un RESET, es la que inicializa el hardware y entra en un bucle esperando que se seleccione un programa determinado usando el teclado. Esta rutina lee el teclado y, dependiendo de la tecla pulsada, llama a uno de los 5 programas previstos.

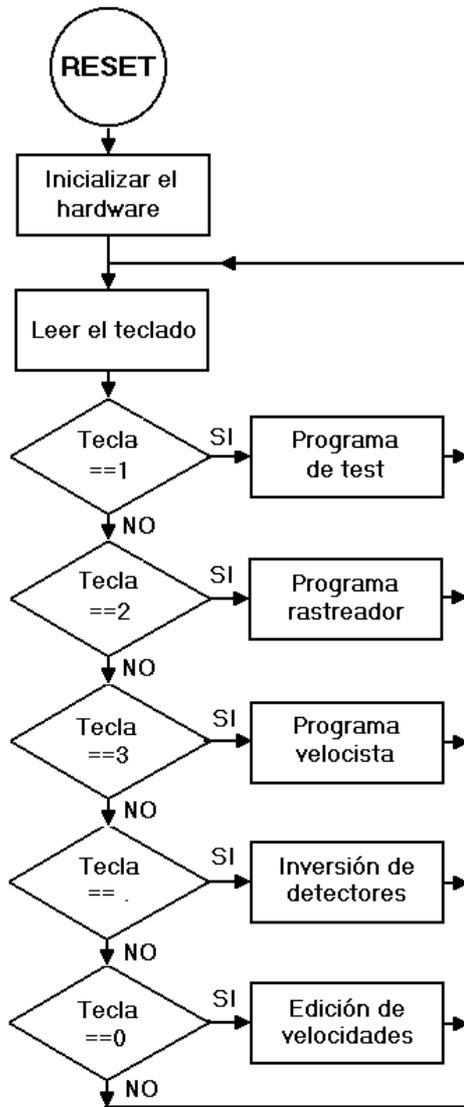


Fig. 8. Rutina MAIN

Paralelamente, una vez inicializado el hardware, un temporizador de 16 bit genera una interrupción cada 2 milisegundos. En esta interrupción se realizan las tareas más importantes del sistema. Estas tareas son:

- Enviar los datos multiplexados al display de 7 segmentos, un dígito cada interrupción.
- Leer el estado de las entradas multiplexadas de teclado, parachoques y sensores infrarrojos, dejándolo en variables en RAM para que pueda ser usado por otras rutinas.
- Cada 10 interrupciones (20 milisegundos) leer los valores de los encoder y restarlos del valor de la última

lectura para conocer la velocidad real de los motores. A continuación se comparan con las consignas de velocidad y se ejecuta un algoritmo PID discreto [8] para cada uno de los motores. El resultado se envía a los moduladores PWP. Este proceso de regulación PID, realizado cada 20 milisegundos, proporciona un control muy exacto de la velocidad de los motores. Esta es la operación más importante de todo el programa y es lo que proporciona a Dixi una elevada precisión en el seguimiento a alta velocidad.

- Acumular en una variable de 32 bits el valor de los contadores para saber en que posición se encuentra cada rueda y, en consecuencia, donde se encuentra el micro-robot en el espacio. Esto permite, por ejemplo, realizar recorridos sin perderse sin otra referencia que el punto de partida.

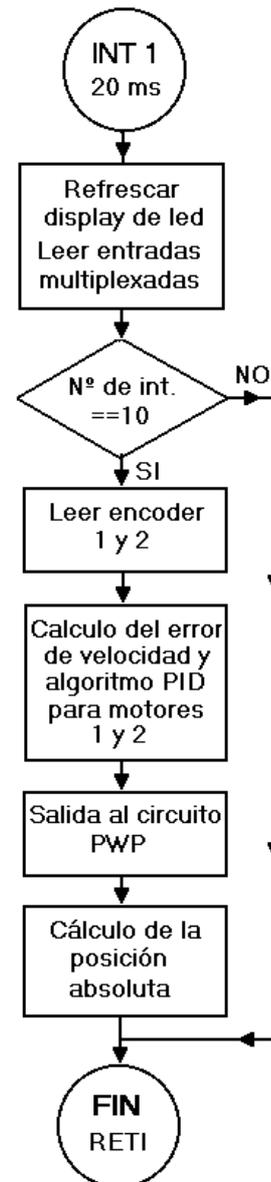


Fig.9. Interrupción cada 20 ms.

Los 5 programas que contiene la memoria del micro-robot son:

- Tecla 1: Programa de test, mando manual de los motores.
- Tecla 2: Programa rastreador.
- Tecla 3: Programa velocista.
- Tecla (punto): Inversión del funcionamiento de los detectores de líneas.
- Tecla 0: Edición de velocidades.

En cualquier momento la tecla C cancela el programa en curso. En los programas que incluyen movimiento los parachoques realizan la misma función de cancelación.

Dada la complejidad de los programas de test, rastreador, velocista y de edición de velocidades no considero conveniente incluir sus diagramas de flujo que llenarían varias páginas. Simplemente trataré de describir como están estructurados.

El programa de test permite probar el funcionamiento de los motores, de los encoder, la parte electrónica etc. Pulsando unas determinadas teclas se incrementa o decrementa la velocidad de cada una de las ruedas, o se invierte el sentido de giro, y se muestra en el display el valor de consigna de velocidad y la velocidad real leída por los encoder. Esta compuesto por un bucle infinito en el que hay una llamada a la rutina de lectura del teclado y una sucesión de IF-ELSE que discrimina qué tecla se ha pulsado, variando los valores de velocidad de los motores en consecuencia. La tecla C o los parachoques producen un BREAK del bucle infinito. La rutina de interrupción, anteriormente descrita, se encarga transformar estos valores de velocidad a valores de tensión y enviarlos al circuito PWP.

El programa rastreador esta basado en estados. En cada estado el programa ordena una velocidad preestablecida a cada rueda y consulta unos determinados detectores para comprobar si debe cambiar a otro estado distinto. Cada estado corresponde a un nivel distinto de error en el seguimiento de la línea y se ordenan unas velocidades distintas para tratar de corregirlo. Esta compuesto por otro bucle infinito en el que sale mediante la tecla C o la detección de los parachoques. Inicialmente se ordena la velocidad V2 y se pasa a estado 0, que significa seguimiento correcto. En este estado se comprueba el valor de los detectores más cercanos al central y si alguno esta activo se pasa a estado 1 si error es a la izquierda o 2 si el error es a la derecha. En el estado 1 se ordenan las velocidades V3 a la rueda izquierda y V2 a la rueda derecha, y se comprueba el estado de los detectores para regresar a estado 0 si se ha recuperado la línea o pasar a estado 3 si se produce una mayor desviación. En el estado 2 se ordena velocidad V2 a la rueda izquierda y V3 a la derecha y se comprueban los detectores del mismo modo que en el estado 1. El resto de estados es similar, variando la velocidad ordenada a cada rueda y los detectores que provocan la transición de estados. Las velocidades usadas, V0 a V3, pueden cambiarse usando el programa de edición de velocidades. Esto permite cambiar la forma en que el micro-robot toma las curvas sin necesidad de cambiar el programa.

El programa velocista es, básicamente, una copia del programa rastreador. En este programa el micro-robot en vez de centrarse sobre la línea tiene que mantenerse alejado de ella. En este caso el seguimiento correcto se consigue al no haber ningún detector activo, y los detectores más extremos son los que indican menor error. Las velocidades usadas, V5 a V8, y las condiciones para cambiar de estado. El programa de inversión de sensores permite, con solo pulsar una tecla, que el micro-robot trabaje siguiendo una línea blanca sobre fondo negro o una línea negra sobre fondo blanco. Esto lo realiza mediante una simple operación OR EXCLUSIVA de 0 o FF (hex) sobre la variable que contiene el estado de los detectores de líneas. Esta función es útil para realizar pruebas porque permite utilizar distintos trazados de líneas sobre superficies improvisadas de distintos colores.

El programa de edición de velocidades sirve para poder cambiar las velocidades que usa el micro-robot en cada estado del programa. De esta forma es muy fácil ajustarlo para conseguir una gran velocidad de seguimiento y, a la vez, una gran precisión. Puede usarse también para consultar las velocidades actualmente en uso para salvarlas, realizar seguimiento de las mejoras, etc.



Fig. 10. Componentes electrónicos usados.

5. Características físicas y eléctricas más relevantes

Gracias al sistema de tracción y dirección, un triciclo con dos ruedas motrices independientes, el micro-robot tiene una capacidad de maniobra excelente. La robustez del chasis de aluminio le permite desarrollar aceleraciones bastante altas y tomar curvas de radios muy pequeños a altas velocidades sin peligro para la estructura. Puede girar sobre sí mismo y trazar curvas de cualquier radio. Sin embargo, para poder controlarlo, es necesario una regulación de velocidad de cada una de las ruedas muy precisa. Además se ha construido utilizando materiales de deshecho y retales, como se planteo en un principio.

Las características más relevantes de Dixi son su sistema de modulación de anchura de pulsos y su sistema de lectura de velocidad y posición. Estos sistemas hacen que se pueda mover a cualquier velocidad con gran precisión, y simplifica el seguimiento en las pruebas de rastreo y velocidad. Además están contruidos usando piezas corrientes y fáciles de conseguir, como se planteo en un principio. Los circuitos PWP y los contadores de los encoder están basados en unos circuitos muy corrientes, los

i82C54, que originariamente no sirven para estas funciones. Gracias a la originalidad del conexionado es posible usar estos simples contadores para funciones complejas como el circuito PWP o para contar/descontar los pulsos de los encoders.

La parte más sofisticada del programa es el algoritmo PID discreto [8] que se ejecuta cada 20 milisegundos. Gracias a él es posible llevar a cabo un control preciso de las velocidades de cada una de las ruedas. El algoritmo utilizado es el siguiente:

$\text{Error} = \text{Consigna} - \text{ValorReal}$

$\text{Incremento} = (\text{Error} * q_0 + \text{ErrorAnterior} * q_1 + \text{ErrorAnteAnterior} * q_2)$

$\text{Salida} = \text{Salida} + \text{Incremento}$

Esto se repite para cada uno de los motores. Los coeficientes q_0 , q_1 y q_2 se calculan en el arranque del sistema partiendo de la ganancia, el tiempo integral, el derivativo y el periodo de muestreo. A causa de la poca capacidad de cálculo del uP todas las operaciones se realizan en enteros de 16 bits, para no cargar mucho el sistema.

Además, al integrar los pulsos cada 20 milisegundos, Dixi es capaz de conocer con precisión la posición en que se encuentra en el espacio, relativa al punto de partida. Esto le permite realizar rutas complejas y sortear obstáculos, a partir de un mapa informatizado introducido en su memoria. Estas características no se han usado en los programas actuales, pero quizás en otra ocasión sean útiles.

6. Conclusiones

Tras la finalización de la mecánica y de la electrónica del proyecto, algunos ajustes y correcciones de errores, y mil pruebas de los programas por fin Dixi puede correr por las pistas con cierta seguridad. En la realización del proyecto se ha podido comprobar que no todas las buenas ideas que se han intentado han dado buenos resultados ya que la realidad es, casi siempre, bastante distinta de lo que uno ha calculado.

Otra cosa que se ha podido comprobar es que la parte de programación y puesta a punto ha sido la más dura y larga mientras que el diseño y montaje ha sido más sencillos de lo que parecía en un principio.

En este proyecto se ha demostrado que todo eso que llamamos chatarra o basura, convenientemente reciclado, puede tener mucha utilidad. El coste total de los materiales del proyecto ha sido cero pesetas. La mayor parte de las piezas provienen de desguaces de material informático y de aparatos de audio y vídeo que se dejan de usar rápidamente, pese a funcionar perfectamente, por estar anticuados.

Finalmente también se ha podido experimentar la satisfacción de que todos los esfuerzos han dado su fruto, y que por fin Dixi este terminado y funcionando.

7. Agradecimientos:

Agradezco a Antonio Mayor Fernández que perdiera unos minutos torneando las ruedas motrices de Dixi, a Luis

Peña López que me diera la solución al problema de las bifurcaciones, y a Custodio Piris que, con sus continuas críticas, hizo que perfeccionara más y más el sistema de control.

Agradezco a la Conchi R. Pastor su infinita paciencia, por aguantarnos a mí y a Dixi, durante el periodo de diseño, montaje y durante las infinitas pruebas.

Gracias, también, al cristal de la mesa del salón por no romperse y aguantar las distintas pistas donde realicé las pruebas.

8. Ficha técnica.

Construido con perfiles y chapas de aluminio de 2mm de grosor.

Largo x Ancho x Alto: 280 x 185 x 150 mm.

Peso: 1.5Kg.

Velocidad máxima: 45 cm/seg.

Autonomía: Aproximadamente 2 horas a media velocidad.

Motores, reductores y ruedas:

- 2 motores de 8W y 4000 PRM a 12 V.
- Reductores de tornillo sin fin y corona de 43:1.
- Ruedas de nilón, forradas de caucho, de 91 mm de diámetro.

Alimentación: Batería de NI-CD de 12 V y 2.5 Ah. Compuesta por 10 células cilíndricas conectadas en serie.

Consumo: 300 mA en reposo, 750 mA nominal, 1800 mA Máximo

Control: Microcomputador DALLAS DS5000-32-12 a 11.0592 Mhz, compatible con el Intel i8051. 16 K de memoria de programa y 16 K de memoria de datos. 24 pines de I/O. Posibilidad de conexión con ordenador PC compatible.

Organos sensoriales:

- 7 detectores infrarrojos de reflexión, de construcción casera.
- Dos encoders incrementales de 2 fases y 36 pulsos/revolución.
- 4 microinterruptores accionados por los 4 parachoques.
- Teclado de matriz de 16 teclas.

Indicadores: 1 display de led de 7 segmentos de 4 + 5 dígitos y 25 led individuales.

Salidas: 2 salidas de 0 a 12 V por PWP. Corriente máxima 1 A. Posibilidad de usar, además, 2 controladores de motores paso a paso SAA1042.

Coste total del proyecto:

- Materiales: 0 Ptas. Dixi está construido íntegramente con materiales de deshecho, reciclados.
- Diseño y construcción de la parte mecánica: 40 horas.
- Diseño y construcción de la parte electrónica: 64 horas.

- Programación y puesta a punto: 120 horas.
- Documentación: 60 horas.

Referencias

1. <http://www.depeca.alcala.es/alcabot2001/>
2. *Voltage regulator handbook*. Edición de 1980. National Semiconductor. <http://www.national.com/>
3. *DS5000 Soft microcontroller user's guide V1.0*. Edición de 1987. Dallas Semiconductor. <http://www.dalsemi.com/>
4. *CMOS databook*. Edición de 1984. National Semiconductor. <http://www.national.com/>
5. *Industrial and computer peripheral IC's databook*. Primera edición, Octubre de 1988. SGS- Thomson. <http://us.st.com/>
6. *Peripheral components*. Edición de 1991. Intel Corporation. <http://developer.intel.com/>
7. <http://www.keil.com/>
8. *Sistemas discretos de control*. R. Arancil Santonja y A. Jimenez Avello. Cátedra de automática, Universidad Politécnica de Madrid. Pag. III-11-20.