

Proyecto Final
Robot recolector de residuos
Diseño, implementación y construcción física

Guillermo Campelo
Juan Ignacio Goñi
Diego Nul

June 15, 2010

Abstract

Contents

1	Hardware	3
1.1	Introducción	3
1.2	Posibles diseños e implementación	3
1.2.1	Locomoción	3
1.2.2	Sensado	4
1.2.3	Controlador	4
1.2.4	Recolección	5
1.3	Actuadores	5
1.3.1	Motores principales	6
1.3.2	Actuadores de uso múltiple	6
1.4	Sensores	6
1.4.1	Sensores de distancia por ultrasonido	7
1.4.2	Telémetros infrarrojos	8
1.4.3	Sensores reflectivos de piso	8
1.4.4	Sensado de nivel de batería	9
1.4.5	Encoders y consumo de los motores	10
1.5	Comunicación entre módulos	10
1.5.1	Conectividad entre los módulos de control	11
1.5.2	Protocolo de comunicación	11
1.6	El microcontrolador	12
1.6.1	AUSART	12
1.6.2	Timers	13
1.6.3	ADC	13
1.6.4	PWM	13
1.6.5	Otros	13
1.6.6	Programador	13
1.7	Armado físico del prototipo	14
1.7.1	Placa genérica	14
1.7.2	Placa controladora de motor de continua	14
1.7.3	Placa controladora de servo motores	14
1.7.4	Placa controladora de sensores	14
1.7.5	Controlador principal	14
1.7.6	Accesorios de construcción	14
1.7.7	Construcción del prototipo	14
1.8	Conclusión	15
A	Primer apéndice Hardware	16
B	Segundo apéndice Hardware	16

1 Hardware

1.1 Introducción

Para nosotros, un robot recolector de residuos debía contar con características que permitieran el sensado de un entorno físico y dinámico, actuar según sus propósitos y le proveyeran del mayor nivel de autonomía energética y de interacción humana posible.

Debía tener capacidades para reconocer distintos objetos en su campo de visión y poder discernir entre la basura para recogerla y un obstáculo para evitarlo.

Debía poder desplazarse y tener información de su posición respecto a la base para mantener a la batería recargada y el recipiente interno disponible para nuevos residuos. También debería poder seguir una línea para dirigirse a la base o recalibrar su posición actual.

Según las especificaciones dadas, tuvimos en cuenta varias posibles implementaciones que explicamos y analizamos en la sección 1.2. Detallamos los distintos dispositivos de sensado, modos de locomoción y actuadores que tuvimos en cuenta, sus características principales y por qué los elegimos para la construcción del robot.

En las secciones 1.3 y 1.4 vemos, respectivamente, los actuadores y sensores que utilizamos finalmente para el armado físico del robot. En la sección 1.5 analizamos cuestiones con respecto a la comunicación interna entre los distintos dispositivos. En la sección 1.7 explicamos aspectos de construcción, desde el diseño y armado de las placas controladoras hasta la construcción del primer prototipo del robot.

1.2 Posibles diseños e implementación

Evaluamos distintos factores para la elección de cada dispositivo o módulo presente en el robot. Desde la forma de desplazamiento hasta el método de sensado, pasando por el controlador, captura de imágenes y método de recolección de residuos. Estos son los factores que explicamos y detallamos en este apartado.

1.2.1 Locomoción

Por tratarse de un robot móvil, la locomoción fue un factor importante que tuvimos que resolver. En un principio la forma en que el robot iba a desplazarse, si iba a ser mediante ruedas, orugas o patas. En segundo término, requeríamos poder determinar y asegurar la velocidad a la cual se desplazaba, saber la cantidad y sentido del desplazamiento y conocer su consumo.

La coordinación de las patas y el equilibrio del cuerpo implicaba una complejidad que escapaba al alcance del proyecto. El uso de orugas era una excelente opción como base para soporte del peso y proveía buen equilibrio, pero la fricción de las mismas generaba una posible falta de precisión que nos podía traer problemas para la detección de la cantidad de giro o desplazamiento y por ende, una incorrecta localización en el terreno. El uso de dos ruedas de tracción y con al menos una tercer rueda de tipo castor para proveer equilibrio fue nuestra elección. En la sección 1.3 explicamos detalladamente la elección de los actuadores para esta y otras tareas.

1.2.2 Sensado

El sensado del ambiente englobaba varios puntos que debíamos tener en cuenta a la hora de elegir la cantidad, forma, rango, método y costo de los sensores. En principio los requerimientos eran claros, necesitábamos poder detectar objetos en el ambiente, evitar obstáculos y realizar mediciones internas al robot, como eran el nivel de batería, consumos y posición de los motores.

La captura de imágenes debía ser realizada por medio de una cámara de video o webcam. Esta proveía de la principal fuente de datos para el proceso de reconocimiento de residuos explicado en el documento. Las distintas características de la cámara como su resolución, refresco, nivel de ruido, mejoras de la imagen y su velocidad de respuesta nos determinarían la elección de la misma.

La detección de obstáculos implicaba otras características de sensores. Principalmente de necesitábamos sensores de distancia con la apertura necesaria para cubrir lo mejor posible, el perímetro del robot, otorgando un rango de detección lo suficientemente olgado que permitiera una adecuada velocidad de respuesta al controlador principal para reaccionar y poder evitar objetos desconocidos o marcados como obstáculos.

Entre los distintos tipos de sensores de distancia estaban los de ultrasonido, telémetros infrarrojos y scanners láser. Los sensores de distancia por ultrasonido tienen un rango aproximado entre 2 centímetros y 4 metros en la zona de detección y un ángulo de apertura variable según la distancia al objetivo. El tiempo de espera que se debe tener entre disparo y disparo del sensor por posibles rebotes del pulso de sonido es relativamente elevado, lo que no lo hace el más adecuado para la colocación a lo largo del perímetro del robot. En contraparte los telémetros infrarrojos no poseen esta limitación debido a que la velocidad de la luz es superior a la del sonido. Pero los rangos efectivos de detección de objetos no cubrían completamente nuestras necesidades.

Debido a las características de los sensores decidimos combinarlos para aprovechar los beneficios de cada uno de ellos y suplir las falencias de un tipo con otro el tipo. Un anillo de 8 telémetros distribuidos de forma tal que haya una mayor resolución en la zona frontal del robot contra la zona trasera y lateral y un único sensor de distancia por ultrasonido al frente para captar objetos a mayor distancia.

El uso de un scanner láser hubiera sido ideal para un análisis topográfico del terreno pero no era el caso y el elevado costo de los mismos los dejó fuera de escala para el proyecto.

La detección de una línea en el piso la resolvimos mediante el uso de sensores ópticos reflectivos apuntando hacia el piso de manera tal que permitieran diferenciar entre distintos niveles de reflexión y por ende, diferenciar una línea del piso.

Las características de los sensores elegidos se explican con más detalles en la sección 1.4.

1.2.3 Controlador

Teníamos especificaciones que nos generaban la necesidad de ejercer control sobre los distintos dispositivos presentes en el robot, ya sea para obtener la información que proveen, configurar los sensores, para controlar la velocidad de las ruedas o mismo para comunicar las distintas partes. No existía una única

forma para realizar esto.

Experiencias previas nos daban la idea de tener un único controlador que mantuviera el control de cada dispositivo. Esto generaba grandes exigencias de hardware y una alta complejidad de diseño a nivel software para mantener en funcionamiento cada dispositivo. Otra opción era la existencia de pequeños controladores distribuidos con menor capacidad de procesamiento, destinados a pocas o una única tarea, de diseño simple y con una menor complejidad a nivel software. Esta solución combinada con una buena modularización y una comunicación acorde, generaba a nuestra visión y según nuestras necesidades, la mejor opción y por ende, fue la elegida. En la sección 1.5 se explica todo lo referente a la comunicación entre módulos, en la sección 1.6 explicamos detalladamente la elección de los controladores y en la sección 1.7 el diseño y construcción de las placas.

Como la captura de imágenes se realizaría por medio de una cámara de video, webcam o algún otro tipo de cámara integrada y todo el procesamiento de imágenes requiere grandes capacidades de cálculo, se resolvió por simplicidad el uso de una computadora preferentemente de arquitectura x86 para facilitar la compatibilidad a nivel software y por ende la inclinación al uso de una webcam con puerto USB como principal dispositivo de captura de imágenes. Por su batería propia de gran capacidad, facilidad de uso, disponibilidad de sistema operativo y entorno de desarrollo, costos y soporte a nivel repuestos, se eligió una netbook como controlador principal del robot.

1.2.4 Recolección

La necesidad de recolección de basura del robot nos sugería la existencia de un mecanismo que permitiera tomar objetos y llevarlos al recipiente interior para la futura descarga. Entre las opciones que tuvimos en cuenta la existencia de un brazo mecánico con los suficientes grados de libertad para realizar la tarea, idea que rechazamos por las dificultades de control y construcción que sólo el brazo generaban. Otra opción fue un mecanismo de aspirado de los residuos hacia el interior, pero esta solución no nos permitía diferenciar entre lo que se recolectaba, juntar colillas de cigarrillos, vasos o botellas y generaba gran consumo de energía. Finalmente elegimos una solución que constaba de una pala que se extendía, recogía y contraía para dejar los residuos en el recipiente. Aunque por falta de tiempo el mecanismo no fue implementado para la presentación y armado físico del prototipo.

1.3 Actuadores

Los actuadores son la principal forma en que el robot puede interactuar en forma activa con el medio que lo rodea. Hay distintas partes que necesitan este tipo de dispositivos, la tracción principal de las ruedas, el movimiento del módulo de recolección y de otras partes como podrían ser una cámara con paneo y giro o un sensor de ultrasonido colocado en la parte superior haciendo las veces de radar. Estas cuestiones se analizan en este apartado.

Característica	Unidad	Mínimo	Nominal	Máximo
Tensión	V	8	9	12
Corriente	A	0.6	1.2	2.4
Velocidad	RPM	1	60	60
Aceleración	$1/s^2$	0.1	0.1	0.5
Torque	kgf*cm	0	1.2	6.4

Table 1: Características del motor Ignis MR-2FA.

1.3.1 Motores principales

Eran parte de los requerimientos el poder garantizar una velocidad determinada en los motores para la tracción de las ruedas, poder mantener un control de la cantidad de movimiento independiente en cada rueda, conocer las vueltas dadas por cada una de las ruedas y era deseable la posibilidad de poder especificar la cantidad de vueltas a realizar para luego detenerse sin intervención del controlador principal.

Para este trabajo elegimos motores de corriente continua ya que podíamos satisfacer todas las necesidades con simplicidad para su control. Los motores elegidos son de la marca Ignis ¹ modelo *MR-2FA* que esta provisto de una caja reductora con características expresadas en la tabla 1, también poseen un encoder de 4 estados por vuelta en el eje del motor y un sensor de revolución completa a la salida de la caja reductora. En la sección 1.4.5 explicamos detalladamente el funcionamiento de los encoders y medición del consumo del motor.

En la sección 1.7.2 explicamos detalladamente la construcción y principios de funcionamiento de la placa controladora para estos motores.

1.3.2 Actuadores de uso múltiple

Otros tipos de actuadores también eran necesarios para poder realizar la tarea de la recolección de residuos, ya sea para accionar el mecanismo que juntaría la basura o inclinar el robot para una mejor recolección. Para estas tareas los servo motores nos parecieron ideales por su facilidad de uso y control, pero el torque que poseían no era suficiente para todas las tareas. En consecuencia luego de buscar otras alternativas, elegimos nuevamente el uso de motores de continua con un mecanismo con un tornillo sin fin para aumentar el torque final de los mismos. Nuevamente elegimos la combinación de ambas soluciones. En la sección 1.7.3 explicamos en detalle el diseño de las placas controladoras de servos, aunque no fueron contruidas porque no se había terminado el diseño del mecanismo de recolección a la fecha de la construcción del prototipo. Para el control de los motores de continua podrían utilizarse placas similares a las explicadas en la sección 1.7.2 con las modificaciones que requiera la aplicación.

1.4 Sensores

En este apartado explicamos detalladamente cada uno de los tipos de sensores que utilizamos para realizar tanto las mediciones externas como las internas al al robot. Analizamos las ventajas de cada uno, los posibles problemas que

¹<http://www.ignis.com.ar>

pueden surgir y las soluciones a los mismos. En la sección 1.7.4 explicamos el diseño y construcción de las placas que controlan todos los sensores del robot.

1.4.1 Sensores de distancia por ultrasonido

El sensor de distancia por ultrasonido que elegimos es el modelo *SRF05* de la marca Devantech Ltd ². Es la versión mejorada del modelo *SRF04*, la cual aumenta el rango de detección y mejora el modo de control y lectura de los datos, permitiendo hacerlo mediante un único pin.

El principio de funcionamiento es relativamente sencillo, mediante un pequeño pulso en el pin de *TRIGGER*, se genera un tren de 8 pulsos ultrasónicos y luego se espera como respuesta, el mismo tren de pulsos que debería haber rebotado contra el objetivo. En base a la diferencia de tiempo entre la emisión del tren de pulsos y la respuesta, se calcula la distancia a la que se encuentra el objetivo. La distancia es codificada en el ancho de un pulso que varía de $100\mu s$ a $25ms$. Si dentro del rango de detección no se encuentra ningún objeto, el pulso tendrá un ancho de 30 milisegundos.

En la tabla 2 detallamos las características del sensor *SRF05* y en la figura 1 mostramos el haz ultrasónico del sensor.

Característica	Unidad	Valor
Tensión de alimentación	<i>V</i>	5
Frecuencia de trabajo	<i>KHz</i>	40
Rango máximo	<i>cm</i>	400
Rango mínimo	<i>cm</i>	1.7
Duración mínima del pulso de disparo	μs	10
Duración del pulso eco de salida	μs	100 - 25000
Tiempo mínimo de espera entre mediciones	<i>ms</i>	20

Table 2: Características del sensor de distancia por ultrasonido SRF05.

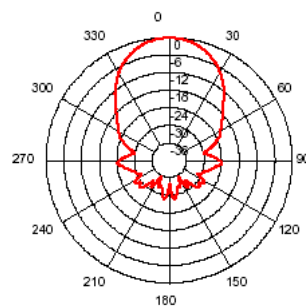


Figure 1: Haz ultrasónico del sensor de distancia por ultrasonido SRF05.

²<http://www.robot-electronics.co.uk/>

1.4.2 Telémetros infrarrojos

Los telémetros por infrarrojo que elegimos son el modelo *GP2D120* de Sharp ³.

El principio de funcionamiento de este tipo de sensores es mediante un haz de luz infrarroja que es emitido hacia el objetivo, el cual es reflejado y captado a través de un lente por un sensor de posición relativa en el interior del sensor. En base a esta medición se calcula la distancia entre el sensor y el objeto reflectivo que se encuentra frente a él. La salida es analógica para este modelo específico.

Característica	Unidad	Valor
Rango máximo	<i>cm</i>	30
Rango mínimo	<i>cm</i>	4
Tensión para la máxima distancia	<i>V</i>	1.95
Tensión para la mínima distancia	<i>V</i>	2.55
Tensión de alimentación	<i>V</i>	5
Consumo máximo	<i>mA</i>	50

Table 3: Características del sensor de distancia por ultrasonido SRF05.

En la tabla 3 detallamos los valores característicos del modelo. En la figura 2 mostramos la tabla de conversión entre voltaje de salida y distancia al objeto, y en la figura 3 mostramos el ángulo de apertura de la zona de detección según la distancia al objetivo.

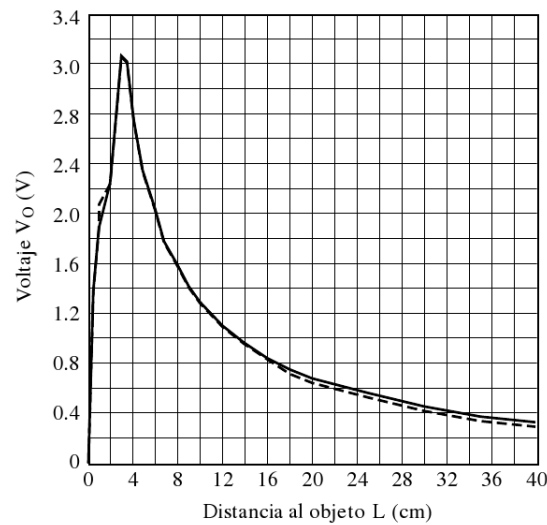


Figure 2: Voltaje de salida según la distancia al objeto del telémetro GP2D120.

1.4.3 Sensores reflectivos de piso

Los sensores que elegimos para sensar la línea reflectiva en el piso son el modelo *CNY70* de la marca Vishay Semiconductor ⁴.

³<http://sharp-world.com/products/device>

⁴<http://www.vishay.com/>

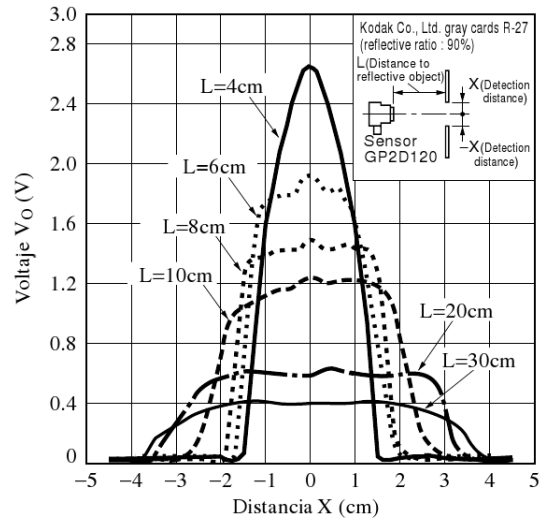


Figure 3: Ángulo de apertura según la distancia del télometro GP2D120.

Son sensores opticos reflectivos que captan el nivel de luz emitida por el mismo sensor y reflejada sobre la superficie a sensar como se muestra en la figura 4. En la figura 5 mostramos la corriente que circula por el colector del fototransistor en base a la distancia al objeto medido.

El rango efectivo de sensado ronda los $3m$ de distancia, aunque con un incremento en la corriente que circula por el emisor de luz se puede llegar a una distancia mayor que permita un uso más acorde al proyecto.

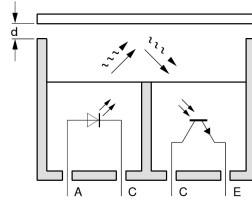


Figure 4: Principio de funcionamiento del sensor reflectivo CNY70.

1.4.4 Sensado de nivel de batería

El sensado del nivel de tensión en la batería lo hacemos mediante un divisor de tensión entre los polos de la batería. La salida es sensada de igual forma que los otros sensores. En la sección 1.7.4 explicamos mas en detalle la conexión. En la figura 6 mostramos el diagrama del divisor de tensión.

En la tabla 4 mostramos las posibles tensiones en la batería y la tensión de salida en el divisor. También incluimos el valor aproximado para un conversor analógico digital con tensión de referencia a $5V$ que leería la salida del divisor. El rango de voltajes que analizamos tiene en cuenta la posibilidad de efectuar mediciones durante la carga de la batería y sabiendo que con una tensión menor a $5V$ la lógica del prototipo construido comenzaría a fallar.

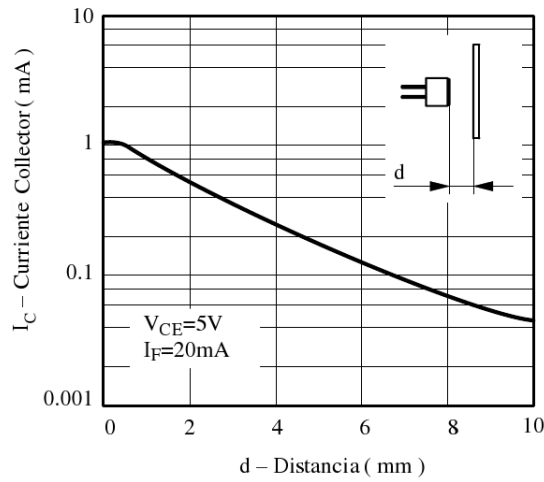


Figure 5: Corriente en el colector según la distancia del sensor CNY70.

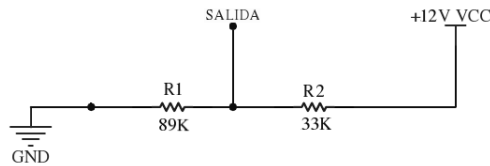


Figure 6: Divisor de tensión para el sensado de la batería.

1.4.5 Encoders y consumo de los motores

Los motores *MR-2FA* tienen encoders de cuadratura conectados al eje, previo a la caja reductora. Estos encoders son de tipo fotoeléctricos, están dispuestos a 135° uno del otro y marcan 4 estados por cada vuelta del motor. Los utilizamos para medir y controlar la velocidad de los motores tomando la cantidad de vueltas por escala de tiempo.

El consumo de los motores, lo medimos leyendo el pin de sensado que se encuentra en el puente H que alimenta al motor, como explicamos en la sección 1.7.2.

1.5 Comunicación entre módulos

La comunicación entre los distintos componentes del robot es imprescindible para su correcto funcionamiento. Todos los comandos originados en el controlador principal viajan por este medio de comunicaciones y debemos asegurarnos que llegan de forma correcta y a tiempo para realizar las distintas tareas que se necesiten.

En este apartado explicamos en detalle las decisiones que tomamos para crear una comunicación acorde a nuestras necesidades.

Batería (V)	Salida (V)	Valor en el ADC (5V)
16	4.327	886
15	4.057	831
14	3.786	776
13	3.516	720
12	3.245	665
11	2.975	609
10	2.704	554
9	2.434	499
8	2.163	443
7	1.893	388
6	1.623	332
5	1.352	277

Table 4: Tensión de la batería y la tensión de salida en el divisor.

1.5.1 Conectividad entre los módulos de control

Para establecer el canal de comunicaciones decidimos emplear una configuración basada en el método *Daisy-Chain* ⁵ entre las distintas placas controladoras creando un anillo donde cada nodo de la cadena se comunica con su vecino retransmitiendo cada paquete hacia adelante hasta su destinatario como mostramos en la figura 7.

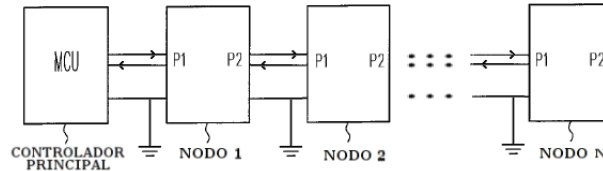


Figure 7: Diagrama general del método daisy chain

La configuración que elegimos para realizar la comunicación fue una velocidad de 115200 baudios, 8 bits, con 1 bit de parada, sin bit de paridad y sin control de flujo. Logramos una gran velocidad de respuesta a los comandos de esta forma.

1.5.2 Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación está formado por paquetes que tienen un formato específico y representan un pedido de información o comando que debe ser ejecutado en el destino.

El paquete consta de un header común con datos que identifican el emisor y receptor del paquete, el comando a enviar y posibles datos extras que sean requeridos. En el cuadro 5 se muestra la estructura interna de un paquete típico.

Todos los paquetes tienen una respuesta obligatoria de confirmación de recepción. Cuando el paquete requiera una respuesta con datos, la confirmación

⁵Patente US20090316836A1

LARGO	DESTINO	ORIGEN	COMANDO	DATO	CRC
-------	---------	--------	---------	------	-----

Table 5: Formato y header del paquete de datos

irá acompañada de la información requerida.

El control de errores se realiza mediante el checksum calculado haciendo un *XOR* con cada byte del contenido del paquete y colocado en el campo *CRC*. Cuando un paquete se encuentre con errores o esté mal formado, el destinatario debería pedir la retransmisión. De igual forma, creamos un control adicional por medio una lista de paquetes no confirmados mantenida por el controlador principal.

Creamos un grupo de identificación para cada placa controladora y un número que identifica a distintas placas de un mismo tipo. De esta forma cada placa tiene un código único dentro de la cadena de comunicación evitando así errores en el destinatario del mensaje.

El listado de grupos y comandos correspondientes a cada grupo de controladores se encuentra en el apéndice A.

1.6 El microcontrolador

El microcontrolador que elegimos para realizar las tareas de control, configuración y comunicación a bajo nivel es el *PIC16F88* de Microchip ⁶. Cuenta con una memoria *FLASH* para 4096 instrucciones de programa, una memoria *RAM* de 368 bytes y una memoria *EEPROM* de 256 bytes. Tiene un set de instrucciones básicas reducido, todas con el mismo tiempo de ejecución. En este apartado nombramos algunos de los principales periféricos incluidos en el microcontrolador y la utilidad dentro del proyecto que encontramos para ellos. Utilizamos con un cristal externo de 20MHz como clock.

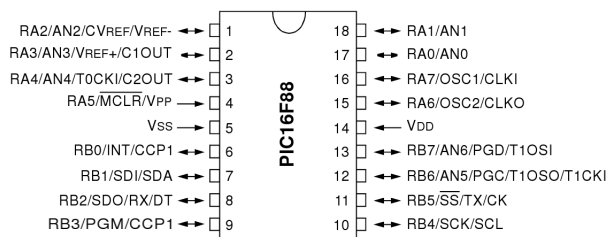


Figure 8: Diagrama del microcontrolador PIC16F88.

El microcontrolador tiene 2 puertos de 8 entradas y salidas cada uno de tipo TTL y CMOS. Como mostramos en la figura 8 cada pin se encuentra multiplexado con uno o más periféricos internos.

1.6.1 AUSART

Cuenta con un módulo de UART para comunicación sincrónica o asincrónica con un buffer por hardware de 3 bytes.

⁶<http://www.microchip.com/>

Este módulo lo utilizamos para la implementación del daisy chain por RS-232 que comunica a todas las placas entre ellas y a la controladora principal como explicamos en la sección 1.5.

1.6.2 Timers

Cuenta con 3 timers o contadores.

El *TMR0* es de 8 bits y contiene un *preescaler* de 8 bits, es usado como WDT. También puede ser utilizado como contador externo por el pin *RA4*.

El *TMR1* es de 16 bits y contiene un *preescaler* de 2 bits. Puede ser utilizado como contador externo por el pin *RB6* o con un cristal externo conectado a los pines *RB6* y *RB7*.

El *TMR2* es de 8 bits, contiene un *preescaler* de 2 bits y contiene un *postscaler* de 4 bits. Es de vital importancia para el módulo de PWM por hardware.

Estos timers los utilizamos como base de tiempo o contadores en las placas controladoras como explicamos en las secciones 1.7.2, 1.7.4 y 1.7.3.

1.6.3 ADC

Cuenta con un conversor analógico digital de 8 o 10 bits multiplexado en 7 canales, 5 canales en el puerto A y 2 en el puerto B. Es posible definir voltajes de referencia mediante ciertos pines o usar valores internos de referencia como *Vcc* y *GND*.

Lo utilizamos para realizar las mediciones sobre las salidas de los sensores de piso, los telémetros infrarrojos, el nivel de tensión en la batería y para medir el consumo generado por los motores de continua.

1.6.4 PWM

Cuenta con un módulo de generación de un PWM por hardware de 10 bits de resolución con el ciclo y período configurable mediante el *TMR2*.

Lo usamos para generar pulsos de ancho controlado para manejar la potencia que reciben los motores principales y en consecuencia, la velocidad de las ruedas.

1.6.5 Otros

Para mayor información respecto a los periféricos o configuración del microcontrolador, recomendamos revisar las hojas de datos en el sitio del fabricante.

1.6.6 Programador

El programador que utilizamos es el modelo *ICD2* de la empresa Microchip. El cual nos provee una interfaz tanto para la carga y descarga de firmware al microcontrolador, sino que también permite debuggear dicho código.

La IDE de programación que usamos fue *Microchip MPLAB* debido a su completa integración con el producto.

El lenguaje de programación fue *C* y el compilador elegido *CCS PCM V4.023*.

1.7 Armado físico del prototipo

armado físico -¿ placas, ruedas, chasis, batería, netbook

*** NO TERMINADO ***

1.7.1 Placa genérica

placa base - principio de funcionamiento, diseño y circuito a un apéndice? comunicación, configuración, módulo para la comunicación, pines, conectores, switch

*** NO TERMINADO ***

1.7.2 Placa controladora de motor de continua

En la placa controladora de los motores de tracción principales, utilizamos el timer *TMR0* como reloj para controlar la velocidad de las ruedas. Configurado para que genere una interrupción cada aproximadamente *6.25ms*. El *TMR1* lo utilizamos como contador externo de las cuentas del encoder. Usando la base de tiempo generada por el *TMR0*, conocemos con precisión la velocidad de las ruedas.

controladora de motorDC. principio de funcionamiento. configuración x hardware, valores máximos y mínimos que soporta. diseño y circuito a un apéndice?

*** NO TERMINADO ***

1.7.3 Placa controladora de servo motores

controladora de servos. principio de funcionamiento. configuración x hardware, valores máximos y mínimos que soporta. diseño y circuito a un apéndice?

*** NO TERMINADO ***

1.7.4 Placa controladora de sensores

En la placa controladora de los sensores, usamos al *TMR1* para medir el ancho del pulso generado por el sensor de distancia por ultrasonido.

controladora de sensores. principio de funcionamiento. diferenciación entre los tipos de sensores que pueden conectarse, a donde van. rangos de voltaje soportados, valores y configuración x hardware. diseño y circuito a un apéndice?

*** NO TERMINADO ***

1.7.5 Controlador principal

elección de la netbook. especificaciones, características, peso, batería.

*** NO TERMINADO ***

1.7.6 Accesorios de construcción

elección de la batería, ruedas. especificaciones.

*** NO TERMINADO ***

1.7.7 Construcción del prototipo

elección de los materiales de construcción y armado final. planos.

*** NO TERMINADO ***

1.8 Conclusión

posibles extensiones

*** NO TERMINADO ***

A Primer apéndice Hardware

protocolo de comunicacion.

conexionado y configuracion de la comunicacion.

circuitos de las placas.

codigo fuente de las controladoras.

costo del prototipo.

B Segundo apéndice Hardware