

Protocolo de Comunicación en Anillo para el Control de un Robot Móvil Modular

¹Granados-Rojas Benito, ¹Jiménez-Saucedo Mario A., ^{1*}Vallejo-Alarcón Manuel A.,
¹González-Navarro Yesenia E., ²Villarreal-Cervantes Miguel G. y ¹Corona-Ramírez Leonel G.

¹Departamento de Tecnologías Avanzadas, UPIITA-IPN.
Av. Instituto Politécnico Nacional 2580, C.P. 07340, México D.F.
²Sección de Mecatrónica, Departamento de Posgrado, CIDETEC-IPN.
Juan de Dios Bátiz s/n, C.P. 07700, México, D.F.
*Correo electrónico de contacto: alejandroval3314@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un protocolo de comunicación para el control maestro-esclavo en un robot móvil modular. Se implementa comunicación en arquitectura tipo anillo por medio del protocolo de comunicaciones serial RS-232, el anillo está conformado por seis módulos, cuatro de ellos dedicados al sistema de locomoción, uno al sistema de expulsión de la carga a transportar y uno a realizar las funciones de maestro que a su vez estará encargado del sistema de detección del tipo de carga, por medio de reconocimiento de color.

Cada módulo esclavo recibe y re-envía la información que no está dirigida a él, recibe instrucciones dirigidas a él, ejecuta y responde, además de re-enviar información dirigida a él y a otros módulos. Cada módulo cuenta con varias direcciones propias y compartidas.

El módulo maestro envía instrucciones y datos dirigidos a uno o a varios módulos esclavo, recibe respuestas, además de coordinar acciones y realizar toma de decisiones, sus tareas no se ven limitadas a esto, tanto el módulo maestro como los esclavos pueden tener dispositivos periféricos.

Resultados experimentales muestran el desempeño del protocolo trabajando sobre la red de arquitectura tipo anillo en un robot móvil modular.

Palabras clave: Comunicación serial, RS-232, microcontrolador PIC, arquitectura anillo, robot móvil, control modular, protocolo de comunicaciones.

1. Introducción

Los sistemas de control centralizados son utilizados ampliamente en gran cantidad de sistemas, como por ejemplo, las computadoras personales en las cuales al terminarse sus puertos disponibles resulta impráctico instalarle nuevos dispositivos, esto resulta a una problemática mayor en las computadoras portátiles, estos sistemas al ser de arquitectura cerrada están limitados, así mismo al tener centralizada la capacidad de procesamiento, los costes de mejora al sistema están basados en el reemplazo total de dispositivos de procesamiento.

Un sistema modular de arquitectura abierta, como el propuesto en este trabajo, puede ser mejorado parcialmente, debido a que cada módulo, al ser un sistema completo, puede ser reemplazado, lo que resulta en un menor costo de mejora al solo cambiar una parte, además de que si para alguna aplicación se requiriera de más o diferentes módulos, basta con agregarlos a la red de comunicación, teniendo así la libertad de añadir los que sean necesarios.

En este trabajo se propone una solución al control de un robot móvil por medio de un sistema modular maestro-esclavo, con arquitectura de red en anillo [1], la cual tiene como característica cableado reducido, así mismo requiere cambios mínimos para la incorporación de otros módulos.

Para la incorporación de dicho esquema de red se diseñó un sistema de direccionamiento, que por medio de un byte indica que tarea se realizará y a que dispositivo o dispositivos está dirigida la información, y por medio de un segundo byte, provee de la información adicional para la realización de la tarea.

2. Esquema de red

La red que se plantea es de anillo unidireccional, es decir, una serie de módulos interconectados entre sí, uno a uno, emisor conectado a receptor formando un ciclo, como se muestra en la Figura 1, donde se aprecia un esquema con n cantidad de módulos esclavo m , así como el módulo maestro y el sentido del flujo de información.

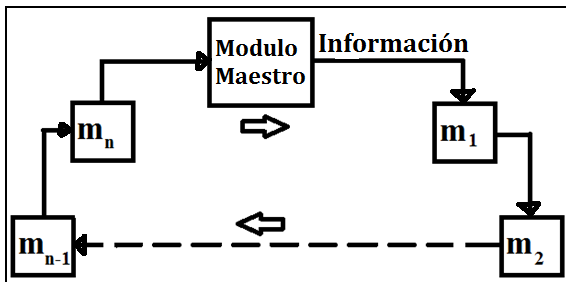


Fig. 1. Esquema de red en configuración de anillo.

En esta arquitectura de red, si cada módulo tiene su propia alimentación, solo se requieren dos cables para la transmisión de datos, los cuales son la referencia a tierra y la información. Dentro de este robot móvil modular se comparte la fuente de alimentación y por ello la comunicación solo requiere de un cable, es decir la línea de datos.

Para la transmisión de información entre módulos, se propuso usar un protocolo estándar de comunicaciones, el cual además de ser asíncrono (para poder usar una sola línea para la transmisión), debía poderse implementar en un microcontrolador de una cantidad reducida de pines, por ello se eligió usar el protocolo de comunicación serial RS-232 [1], el cual se usa para transferir paquetes de datos de un byte.

3. Protocolo de comunicación

Si bien se usa RS-232 para las transmisiones, debe de establecerse un protocolo por el cual la información que se envía por la red sea interpretada y procesada, o, si es el caso, retransmitida.

Se propuso desarrollar un sistema de direccionamiento de módulos dentro de la red por medio de dos bytes, el primero indica a que módulo está dirigida la información y el segundo contendría los datos que desean enviarse a dicho módulo. Como adición a esto se asignaron varias direcciones a cada uno de los módulos, aumentando así la disponibilidad de bits dedicados a datos dentro del segundo byte e incluyendo la instrucción y la dirección en el primer

byte, si bien esto hace que la cantidad de módulos direccionables sea menor, la efectividad de la información se incrementa y se evita requerir de bytes adicionales.

Al efectuarse una transmisión, cada módulo recibe dos bytes, los almacena temporalmente y revisa si el primer byte corresponde a alguna dirección que le haya sido asignada, si no es así, re-envía el byte de dirección y el byte de datos; en el caso de ser alguna dirección asignada a él, observa si es una dirección únicamente dirigida a él o si es una dirección compartida, en caso de ser una dirección compartida procede a re-enviar la dirección y los datos a los módulos con que se comparte dicha dirección, en ambos casos, posteriormente se ejecuta la tarea solicitada y, si la instrucción enviada lo requiere, envía una respuesta al finalizarse la tarea. Esto se muestra en un diagrama de flujo en la Figura 2.

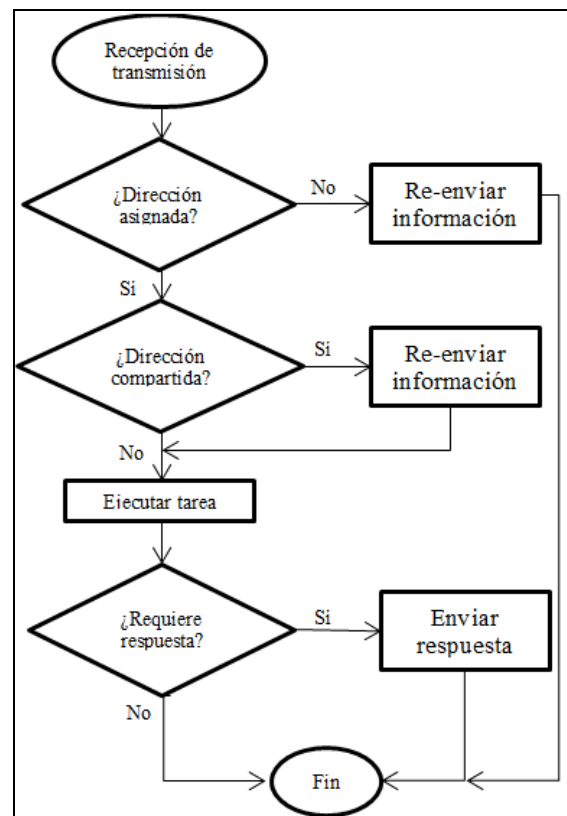


Fig. 2. Diagrama de flujo del protocolo de comunicaciones.

Debido a que la arquitectura es abierta, existe la posibilidad de crear las direcciones y funciones especiales que sean requeridas. El sistema no se ve limitado a esas opciones, pudiendo, si es el caso, enviar instrucciones dirigidas a varios módulos y que

la respuesta enviada al módulo maestro contenga información referente a todos los módulos direccionados.

4. Módulos del móvil

Todo módulo en el sistema debe de ser capaz de poder enviar y recibir transmisiones bajo el protocolo serial RS-232, además de incluir su propia fuente de alimentación y contar con los periféricos requeridos para la realización de la tarea asignada.

Por ello, cada módulo cuenta con un microcontrolador, el cual se encarga de la gestión de transmisiones, interpretación de instrucciones recibidas y ejecución de dichas instrucciones. Para poder hacer uso del microcontrolador, se requiere proveerlo de la tensión eléctrica requerida por el mismo, en el caso particular de este microcontrolador, la tensión es de 5v, además de incluir los puertos necesarios para comunicación, programación del microcontrolador, alimentación, las salidas y entradas requeridas por los periféricos, así como de los dispositivos requeridos para hacer funcionar a los periféricos. Para la selección del microcontrolador se buscó el microcontrolador de menor cantidad de pines que pudiese realizar la tarea asignada.

4.1 Módulo de locomoción (esclavo)

En el robot móvil se cuenta con cuatro módulos dedicados a locomoción, cada uno de ellos cuenta con una rueda actuada por medio de un motor-reductor, dicha rueda conjuntamente cuenta con un sistema de orientación propio, actuado por medio de un servo-motor. Se requiere que cada rueda cuente con control de posición en lazo cerrado y que cada módulo de locomoción pueda detectar el color del piso, blanco o negro, en dos posiciones cercanas al punto de contacto de la rueda con el piso.

Para cumplir con las tareas propias del módulo de locomoción se eligió el microcontrolador PIC16F684-I/SO [2] de Microchip® de 14 pines, que cuenta con hardware dedicado a la modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés) [1], un temporizador de dieciséis bits con capacidad para generar interrupciones, el cual es usado para generar las señales de control del servomotor, entradas/salidas de propósito general y un módulo de conversión de analógico a digital, ADC por sus siglas en inglés, de 10 bits de resolución direccionable a 8 pines.

Para poder hacer uso del motor-reductor se usó un puente H completo, el MCP1404-E/SO [3] de

Microchip®, y para la regulación de tensión se usó un regulador de 5v, el KA7805R [4] de Fairchild Semiconductor®. Para la detección del color del piso se usaron dos sensores QRE1113GR [5] de Freescale Semiconductor® en un circuito impreso externo al circuito principal del módulo, así mismo se usaron otros dos QRE1113GR para medir la posición de la rueda. Con esto y por medio de diseño del diagrama esquemático se obtiene el diseño del circuito impreso, PCB por sus siglas en inglés, mostrado en la Figura 3.

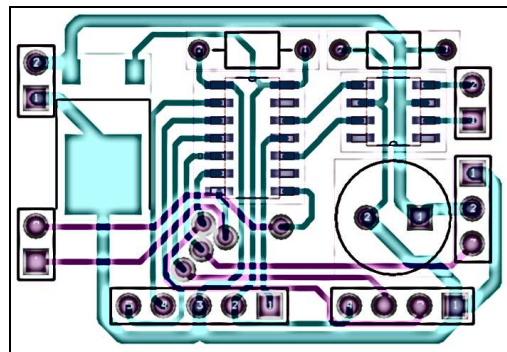


Fig. 3. Diseño de PCB para el módulo de locomoción.

4.2 Módulo de expulsión (esclavo)

El robot cuenta con un módulo dedicado a la expulsión de carga, el cual utiliza un motor-reductor como actuador. Para este módulo sólo se requiere controlar las 2 posiciones extremas del mecanismo expulsor, por lo que se emplean dos interruptores de fin de carrera.

Para realizar las tareas de este módulo se eligió el microcontrolador PIC16F684-I/SO, sí bien, para la tarea requerida se puede prescindir de varias de las características de este microcontrolador, se eligió para uniformizar el tipo de microcontrolador, contribuyendo a la reducción de costos. De la misma manera que en los módulos de locomoción, se utilizó el regulador KA7805R. Para suministrar potencia al motor-reductor se usó el puente H completo L6205N [6] de STMicroelectronics®, con esto, y por medio del diseño del diagrama esquemático realizó el diseño de PCB mostrado en la Figura 4.

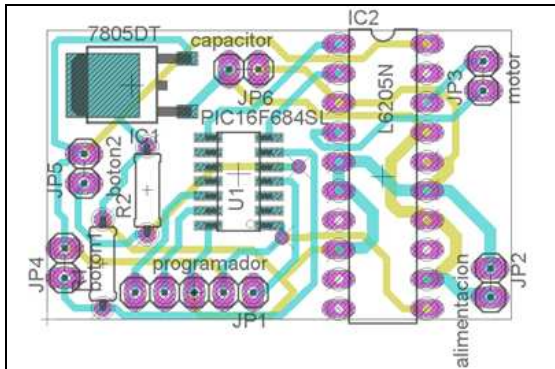


Fig. 4. Diseño de PCB para el módulo de expulsión.

4.3 Módulo de reconocimiento de color (maestro)

El módulo maestro requiere, como los demás módulos, capacidad de emisión y recepción de datos vía RS-232, asimismo requiere una fuente de alimentación para poder energizar sus dispositivos y como agregado a las funciones básicas del módulo, se requiere que pueda clasificar cinco colores además de coordinar y dirigir al resto de los módulos, y tomar decisiones.

Tomando en cuenta los requerimientos, y a que el problema de clasificación de colores se resolvió por medio de aplicación de redes neuronales artificiales con ayuda del sensor ColorPAL [7] de Parallax®, se eligió el microcontrolador PIC18F2550-I/SO [8] debido al tamaño de memoria de programa, tener la capacidad de multiplicar por medio de hardware y a su módulo de ADC. Este módulo también cuenta con el regulador KA7805R y los puertos necesarios para comunicación, programación del microcontrolador, alimentación e interacción con sus periféricos.

Tomando en cuenta estos requerimientos y llevando a cabo el desarrollo del diagrama esquemático del módulo, se realiza el diseño PCB, el cual es mostrado en la Figura 5.

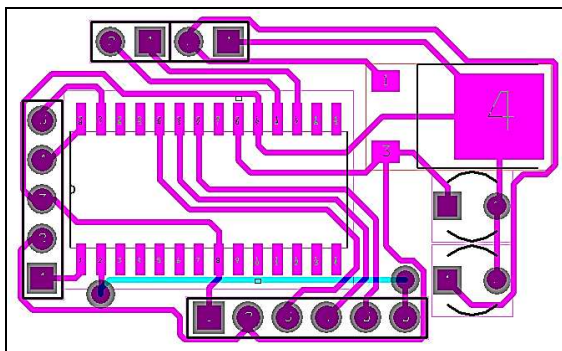


Fig. 5. Diseño de PCB para el módulo maestro.

El PCB del módulo maestro resultó tener menor cantidad de componentes y con ello también se tiene menor necesidad de hacer uso de la segunda capa del circuito impreso. Al tener la tarea de dirigir al resto de los módulos su trabajo resulta imprescindible en el sistema, a diferencia del resto de los módulos que de no ocuparse directamente alguno de ellos, se puede retirar sin afectar el funcionamiento del resto de los módulos.

5. Implementación del esquema de red y el protocolo de comunicaciones en un robot móvil modular

Para la implementación del protocolo de comunicaciones sobre el esquema de red en el robot móvil modular, se asignaron direcciones a los módulos esclavo, en cambio, el módulo maestro puede usar cualquier dirección no asignada, para recibir respuestas de los esclavos.

El sistema de protocolo de la red tiene direcciones asignadas para los módulos de locomoción individual y conjuntamente, así como una dirección propia para el módulo de expulsión.

Los módulos de locomoción deben tener la capacidad de recibir una orden para obtener una orientación individualmente, así mismo ordenar ya sea una velocidad o una posición individual o ambas, además de poder realizar tareas donde se oriente las ruedas y se mueva el móvil una distancia preestablecida por medio de una sola instrucción, de igual forma, el módulo maestro debe obtener la información generada por los sensores de piso de todos los módulos de locomoción, que en total son ocho sensores.

Para esto se crearon doce direcciones: seis de ellas para locomoción de manera conjunta; cuatro para los módulos de locomoción individualmente, una por cada módulo de locomoción; una para la obtención de datos de los sensores de piso y una para el módulo de expulsión, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Direcciones usadas en el protocolo de comunicaciones.

Dirección	Módulos	Tarea a realizarse
1	Locomoción (Todos)	Paro o inicio general.
2	Locomoción (Todos)	Movimientos preestablecidos.
3	Locomoción (Todos)	Movimientos preestablecidos.

4	Locomoción (Todos)	Movimiento diferencial de ruedas entre derecha e izquierda.
5	Locomoción (Todos)	Movimiento diferencial entre ruedas del frente y de atrás.
6	Locomoción (Todos)	Petición de confirmación de tarea.
7	Locomoción A	Posición y velocidad para el módulo A.
8	Locomoción B	Posición y velocidad para el módulo B.
9	Locomoción C	Posición y velocidad para el módulo C.
10	Locomoción D	Posición y velocidad para el módulo D.
11	Sensores de Piso	Obtención de la información conjunta de los sensores de piso.
12	Expulsión	Expulsar o regresar a la posición inicial.

Con esto el módulo maestro puede ordenar a los módulos esclavo realizar las tareas requeridas por el sistema.

El diagrama de la arquitectura de red en anillo para el robot móvil modular se muestra en la Figura 6, en donde se observan los módulos que lo conforman, los módulos de locomoción están representados por R, el módulo de expulsión por E, los sensores en los módulos de locomoción por S y el modulo maestro por C.

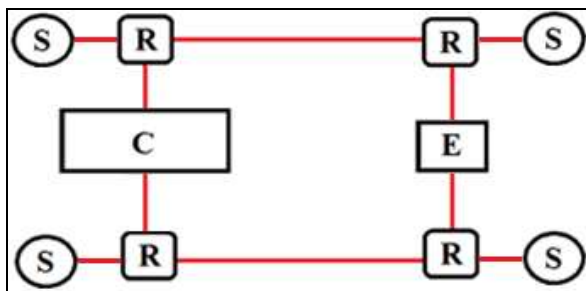


Fig. 6. Arquitectura de red para el robot móvil modular.

6. Resultados experimentales

La red se probó para que el robot móvil realizara movimientos sencillos, y tareas con varias clases de movimientos, así mismo se probó la velocidad máxima estable del flujo de información en la red.

La red admitió que se realizaran transferencias de datos a 4800baudios debido a que los módulos

esclavo no cuentan con el hardware propio para el uso de RS-232 y a que el tamaño de sus programas limitó la frecuencia de revisión de la entrada de datos; no obstante se logró transmitir un promedio de cuarenta paquetes de datos de dos bytes, por segundo, es decir cualquier instrucción tarda aproximadamente 25ms en ir desde y hasta el módulo maestro y el retraso entre la recepción de instrucciones del primer al último módulo esclavo es de aproximadamente 16.6ms, lo cual resulta apropiado para la coordinación de los módulos esclavo y no conlleva generación de error significativo, debido a la diferencia de velocidades entre los dispositivos mecánicos y los electrónicos.

Así mismo, al probar el funcionamiento de la velocidad de la red para la realización de tareas que requieran el uso de sensores, como lo es detenerse al encontrar un borde negro habiendo estado moviéndose sobre una superficie blanca, se encontró una adecuada capacidad de respuesta de la red.

También se probó la realización de tareas en las cuales después de realizar varios movimientos se expulsa la carga, sin afectar la funcionalidad del resto de los módulos, lo cual muestra la flexibilidad al poder colocar módulos según sea necesario.

Si bien, al aumentar la cantidad de módulos del sistema, la velocidad de la red se ve disminuida, pudiendo llegar a afectar el rendimiento del sistema, se puede usar microcontroladores que contengan el hardware de RS-232 aumentando así la velocidad de transferencias por cada módulo y en conjunto poder soportar mayor cantidad de dispositivos.

7. Conclusiones

En este trabajo se expone el desarrollo e implementación de un protocolo de comunicación en anillo vía RS-232 para el control de un robot móvil modular mediante el cual, después de realizar pruebas experimentales, se logró establecer una comunicación con flujo de datos estable y direccionamiento correcto de los módulos con una velocidad de respuesta apropiada al tiempo de respuesta de los implementos mecánicos del robot.

Se resalta la ventaja del protocolo de comunicación y estructura de la red que se han propuesto, al haber conseguido capacidad para manejar seis módulos en total dentro de la red, sin realizar alguna modificación al sistema ni comprometer la capacidad de respuesta del mismo.

Debido a que dentro de este esquema de comunicación cada módulo es capaz de interpretar y realizar sus propias tareas, se concluye que el protocolo de comunicación presentado en este trabajo es aplicable a problemas donde la necesidad de una gran capacidad de procesamiento o un alto costo, impidan utilizar un elemento de procesamiento completamente centralizado.

Por último, para el caso particular de este trabajo, el protocolo de comunicación se implementó en un robot móvil, sin embargo, se destaca que gracias a la flexibilidad que brindan el protocolo de comunicación y la arquitectura de red, estos son aplicables para cualquier otra problemática que involucre dispositivos o módulos trabajando en conjunto dentro de una misma red.

Reconocimiento

Se agradece el apoyo otorgado de la COFAA y la SIP del Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto con número SIP-20110165 y al SNI del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Referencias

- [1] Horowitz P., Hill W. “*The Art of Electronics*”, Cambridge University Press., Estados Unidos de América, 2da edición, 1994.
- [2] Microchip Technology Inc. “*PIC16F684*”, hojas técnicas, Versión F, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/deviceDoc/41202f-print.pdf> Revisado el día 26 de agosto de 2011.
- [3] Microchip Technology Inc. “*MCP1403/4/5*”, hojas técnicas, Versión B, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22022b.pdf> Revisado el día 26 de agosto de 2011.
- [4] Fairchild Semiconductor Corporation. “*KA78XX/KA78XXA*”, hojas técnicas, Revisión 1.0.0, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/99462/FAIRCHILD/KA7805R.html> Revisado el día 26 de agosto de 2011.
- [5] Fairchild Semiconductor Corporation. “*QRE1113, QRE1113GR*”, hojas técnicas, Revisión 1.7.0, http://www.fairchildsemi.com/ds/OR/QRE1113_GR.pdf Revisado el día 26 de agosto de 2011.
- [6] STMicroelectronics. “*L6205*”, hojas técnicas, 2003, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22533/STMICROELECTRONICS/L6205N.html> Revisado el día 26 de agosto de 2011.
- [7] Parallax Inc. “ColorPAL (#28380): Color and Ambient Light Sensor and Color Generator”, hojas técnicas, Versión 1.0, <http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/sens/28380ColorPAL.pdf> Revisado el día 26 de agosto de 2011.
- [8] Microchip Technology Inc. “*PIC18F2455/2550/4455/4550*”, hojas técnicas, Versión E, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf> Revisado el día 26 de agosto de 2011.