

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS EN UN REMOLQUE DE ROBOT MÓVIL USANDO UN MÓDULO MULTI-SENSOR

Rojas-Estrada Juan-Antonio*, Arellano-Barragán Hever, Guitierrez-Delgado J.A., Quintero-Alvarez Patricia, Rincón-Martínez Ernesto, López-Saldivar F. R.

Instituto Tecnológico de Nuevo León
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Posgrado en Ingeniería Mecatrónica
Av. Eloy Cavazos 2001
Tel. 81 8157 0500

e-mail: juan.antonio.rojas@itnl.edu.mx, hever.arellano@itnl.edu.mx, juan.gutdel@gmail.com,
patricia.quintero@itnl.edu.mx, ernesto.jesus.rincon@itnl.edu.mx, rsl+itnl@oblivio.org

*Autor correspondiente

RESUMEN

El presente trabajo expone la implementación de una red de sensores, también llamada sistema multi-sensor, en un remolque que trabaja en conjunto con un robot tractor móvil para la detección de objetos y superficies dentro del área inmediata al remolque. Los datos obtenidos de las mediciones de distancia del remolque son compartidos con el tractor para el seguimiento de trayectorias en ambientes con obstáculos. La red se compone de una tarjeta Raspberry Pi (Rpi), dos microcontroladores ATmega y sensores de distancia HY-SFR05 que se comunican por medio de un protocolo de Interfaz Periférica Serial (SPI). Las lecturas obtenidas mediante los sensores son recabadas por los microcontroladores y de estos enviados al RPi, que por medio de señal Wifi, transmite los resultados de las mediciones en una computadora. Los experimentos con el remolque instrumentado arrojaron resultados favorables.

Palabras clave: Microcontroladores, protocolo, red de sensores, Sistema Multi-sensor

ABSTRACT

This paper exposes the implementation of a sensors network, also called multi-sensor system, in a trailer that works in conjunction with a mobile tractor robot for detection of objects and surfaces within the immediate area to the trailer. The data obtained from the distance measurements from the trailer is shared with the tractor for the path tracking in environments with obstacles. The network consists of a Raspberry Pi (Rpi) board, two ATmega microcontrollers and HY-SFR05 distance sensors that communicate through the Serial Peripheral Interface protocol (SPI). The readings obtained by the sensors are collected by the microcontrollers and sent to the Rpi which, through Wifi signal, transmits the measurement results in a computer. The experiments done with the instrumented trailer gave favorable results.

Keywords: Microcontroller, protocol, network of sensors, Multi-Sensor System

1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de sectores en tiempo real es una tarea de gran importancia que tiene como finalidad detectar riesgos o actividades de peligro mediante el análisis de zonas dentro de cierto entorno. Con frecuencia se realiza un análisis simultáneo de las distancias significativas de un cuerpo rígido a los

diferentes lados en un sector para conocer las distancias en distintas direcciones en un determinado momento. Tomando en cuenta que un remolque de un robot móvil, para poder conseguir los datos en tiempo real de diferentes direcciones y evitar colisionar por alguno de sus cuatro lados, requiere de dispositivos que hagan la adquisición de distancia. Por tal motivo se propone el uso de una red de sensores que permita obtener información actual, mediante la recolección de datos a través de la red, haciendo posible la detección de obstáculos durante el desplazamiento de robots de manera autónoma [1] o la localización del vehículo mientras realiza navegación en áreas cerradas [2]. Otras aplicaciones de redes de sensores son el monitoreo para controlar el uso de sectores, así como aplicaciones en otras áreas, ver [3].

Una red de sensores es un conjunto de nodos interconectados que comprenden dos tipos, sensor y servidor, los nodos tipo sensor permiten la adquisición de datos del entorno en el que han sido implementados. Esta información se envía y se concentra en el nodo servidor, el cual puede estar conectado a una computadora en la que se procesarán los datos. De este modo, la red permite realizar monitoreo completo del área en tiempo real. Existen dos tipos principales de redes de sensores, la red cableada, que puede realizar un funcionamiento continuo debido a su alimentación sin limitante, como la abordada en [4] y la red de sensores inalámbrica, como la descrita en [5] y [6], que puede llegar a realizar un monitoreo en sectores de mayor dimensión y puede laborar en periodos largos evitando sustitución constante de la fuente de alimentación de los sensores de la red. En esta configuración el consumo de energía necesario de los sensores es mínimo.

Una red de sensores se puede implementar para la detección de objetos en un entorno, ya sean objetos estáticos o dinámicos y se puede establecer si el envío de datos se hace a intervalos iguales o cuando se detecten cambios en las mediciones [7]. Inclusive se pueden llegar a implementar diferentes métodos de ajuste para mejorar la precisión de las lecturas de distancia entre objetos [8]. Otros usos de las redes de sensores, son la asignación de posición de objetos en base a sus dimensiones [9] y la recopilación de datos de diferentes sectores eliminando el error manual en las mediciones [10].

Los módulos multi-sensores representan un concepto novedoso que se implementan con la ayuda de las redes de sensores permitiendo un uso de sensores de manera eficiente en combinación con protocolos de bus en serie ya sea SPI [11] u otros como lo que se describe en [12].

2. DESARROLLO

2.1. Módulo multi-sensor de distancia

Se denomina módulo multi-sensor al conjunto de dos o más sensores que trabajan en colaboración realizando una función específica. Su funcionamiento permite el uso de varias entradas que son las señales adquiridas de parte de los sensores, para la salida del módulo se habilita solo una de las entradas, es decir que se define que sensor del módulo se va a sensor de modo que dicho componente se determina como la entrada habilitada. Esto es, el módulo multi-sensor permite obtener la información de cada entrada en forma ordenada y de acuerdo a una secuencia programable.

Los sensores ultrasónicos HY-SFR05 como el que se muestra en la Figura 1, son utilizados comúnmente para determinar la distancia entre objetos, dependiendo del modelo de sensor, se pueden llegar a alcanzar rangos de operación más amplios. El tipo de sensor a utilizar en la red de sensores descrito en este trabajo, puede llegar a realizar mediciones dentro de un rango de 4 cm hasta 450 cm.

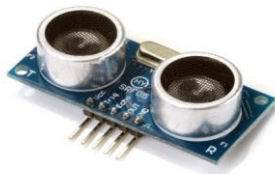


Figura 1. Sensor ultrasónico HY-SFR05

La Figura 2 muestra el principio del funcionamiento de los sensores, los cuales emiten un sonido que es reflejado al llegar a una obstrucción, al momento en que el eco del sonido retorna al sensor permite calcular la distancia entre el punto inicial y el objeto. Como la distancia varía, el tiempo que tarda el sensor en proporcionar una medición válida puede cambiar en función de esta.

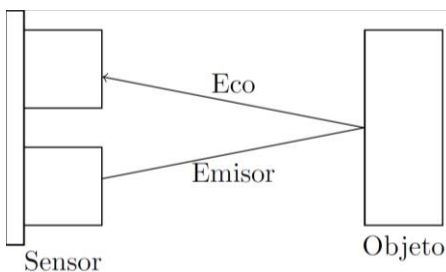


Figura 2. Funcionamiento de sensor ultrasónico

2.2. Protocolo SPI

El protocolo SPI ver [13] permite a varios dispositivos comunicarse en serie entre ellos, siempre y cuando los dispositivos permitan el uso de flujo de bits por reloj. Como parte principal de este protocolo se manejan dos tipos distintos de dispositivos llamados maestro (servidor) y esclavo (cliente), el Bus SPI maneja cuatro señales distintas para realizar el funcionamiento de este bus, la principal es la señal SCLK que realiza el trabajo de la sincronización entre dispositivos, conforme pasa un pulso de reloj se envía un bit y así se lleva a cabo la sincronización, la señal MISO es la encargada de enviar al dispositivo maestro la señal de salida del dispositivo denominado esclavo, de modo opuesto la señal MOSI envía la salida del maestro al cliente o esclavo y por último la señal SS (select-slave) para seleccionar con cual dispositivo se va a trabajar. Por dispositivo maestro se toma la tarjeta Rpi como la mostrada en la Figura 3, debido a que permite el uso del bus SPI, por defecto tiene dos pines dedicados para SS de este protocolo, además que permite con facilidad ajustar una memoria tipo micro *sd* para cargar los programas a ejecutar.



Figura 3. Tarjeta Raspberry pi B+

Por parte de los dispositivos esclavo se implementaron dos microcontroladores atmega los cuales tienen conectados seis sensores ultrasónicos cada uno mediante arneses que permiten posicionar los sensores en diferentes direcciones para usarlos para la detección de objetos en el rango de operación. En la red implementada en este trabajo el alcance de medición es de 90 cm, los datos adquiridos son al final enviados hacia una computadora de modo que se pueda confirmar que las lecturas son similares a la distancia real con un margen de diferencia no significativo. Este proceso se ilustra en la Figura 4, desde la toma de la lectura hasta el Rpi.

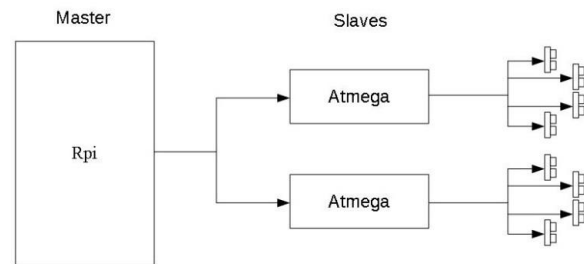


Figura 4. Proceso de lectura de datos

2.3. Instalación

La red de sensores es implementada en un remolque en el cual se colocan los sensores dirigidos en diferentes posiciones de modo que se pueda establecer un radio de trabajo, en la Figura 5 se muestra como han sido instalados los sensores tanto en la parte frontal (5a) y posterior (5b), de la parte superior. Ya implementados los sensores se realizaron pruebas para determinar los resultados de los módulos multi-sensor.



5. a Vista frontal

5. b Vista posterior

Figura 5. Instalación red de sensores

Primeramente se procede a realizar pruebas cuando el conjunto robot-remolque se encuentra estático para determinar que el funcionamiento sea adecuado de forma estática. Una vez determinado el funcionamiento en las pruebas sin movimiento se pretende llevar a cabo pruebas para su funcionamiento de forma dinámica, para esto se pone en marcha el robot tractor para llevar al conjunto robot-remolque a situaciones donde existan obstáculos. En la Figura 6 se muestra una imagen de este procedimiento.



Figura 6. Remolque trasladado por tractor

Mediante la ayuda de un software implementado en el protocolo SPI en conjunto con una interfaz que permite de modo gráfico la visualización de objetos cercanos al remolque en tiempo real, se puede determinar la distancia a los obstáculos

del remolque que se encuentran en distancias dentro del rango de los sensores.

De las pruebas realizadas con el remolque de forma inmóvil así como en las que se utiliza el robot tractor para transportarlo y hacerlo en forma dinámica, se prueba que la red de sensores es funcional a velocidades de 1m por segundo, siendo esta la velocidad alcanzada por el robot transportador. Como objetos para su detección se utilizaron obstáculos de apariencia sólida.

3. RESULTADOS

Se realizaron pruebas estáticas donde se posicionó el remolque con la red de sensores en un área libre de un radio de un metro, tomando como objetos para su detección cajas de superficie lisa, situándolos en diferentes ángulos y posiciones permitiendo la detección de obstáculos en las direcciones de los sensores que se encuentran ordenados como en la Figura 7.

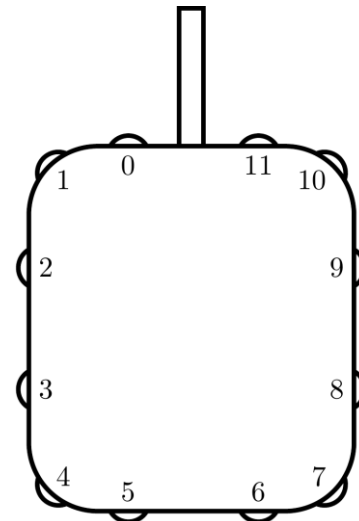


Figura 7. Numeración de sensores

En la Figura 8 se muestra el remolque rodeado por dos obstáculos dentro del perímetro de medición, mientras que en la Figura 9 se encuentra el resultado obtenido de la interfaz gráfica utilizada desde una computadora



Figura 8. Remolque en la serie de pruebas 1

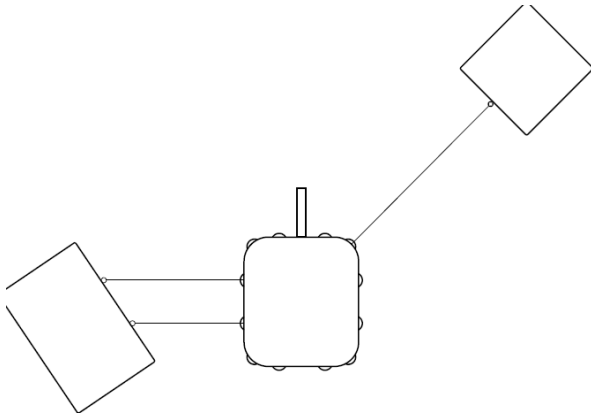


Figura 9. Esquema de objetos prueba 1

Los resultados de las pruebas son determinados por los sensores 2, 3 y 10. Tomando los valores obtenidos durante los muestreos de la prueba uno, se obtuvieron los datos de la tabla 1 mientras que en la tabla 2 se hace una comparación de la medición real con las obtenidas por la red de sensores.

Tabla 1 Resultados de mediciones de la prueba 1 (cm)

Muestreo	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 10
1	50.74	40.36	70.34
2	50.74	40.36	71.49
3	50.74	40.36	70.34
4	50.74	40.36	70.34
5	50.74	40.36	71.49
6	50.74	40.36	71.49
7	50.74	40.36	71.49
8	50.74	40.36	71.49
9	50.74	40.36	71.49
10	50.74	40.36	71.49
Promedio	50.74	40.36	71.15

Tabla 2 Comparación de distancias (cm)

Medición	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 10
Real	50.00	40.00	70.00
Obtenida	50.74	40.36	71.15
Diferencia	00.74	00.36	01.15

Con los datos obtenidos de las muestras se generó la gráfica de la Figura 10 (prueba 1.1) y la Figura 11 muestra los datos resultantes de los mismos sensores pero en otras muestras, (prueba 1.2), esto con el fin de verificar la consistencia en las mediciones proporcionadas por los sensores.

Tomando diferentes sensores de la red para la prueba número dos con tres objetos que se muestra en la Figura 12 y un esquema en la Figura 13 los resultados obtenidos reflejan la detección de obstáculos como se muestra en la tabla 3 que contiene los valores de las iteraciones de cada sensor así como en la tabla 4 que muestra la diferencia entre las mediciones

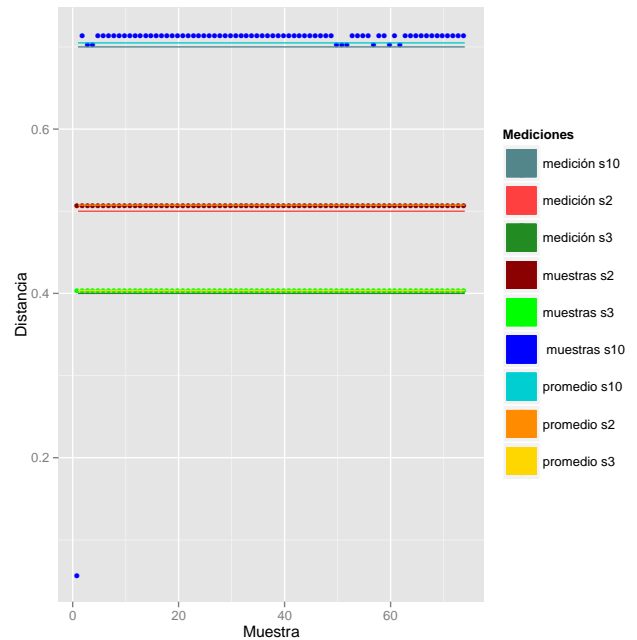


Figura 10. Gráfica de resultados de la prueba 1.1

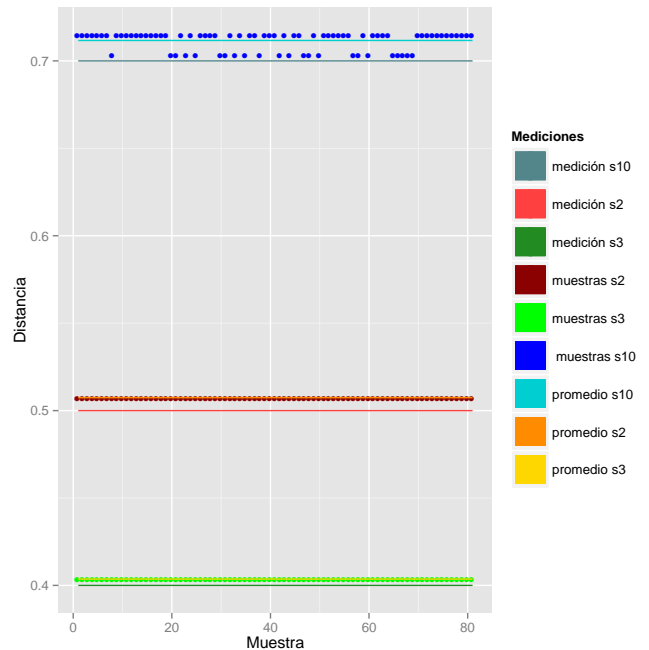


Figura 11. Gráfica de resultados de la prueba 1.2

reales y las obtenidas, los resultados de las iteraciones son mostrados en la Figura 14 y Figura 15 respectivamente las cuales muestran dos conjuntos de muestras, prueba 2.1 y prueba 2.2, respectivamente.



Figura 12. Remolque en la serie de pruebas 2

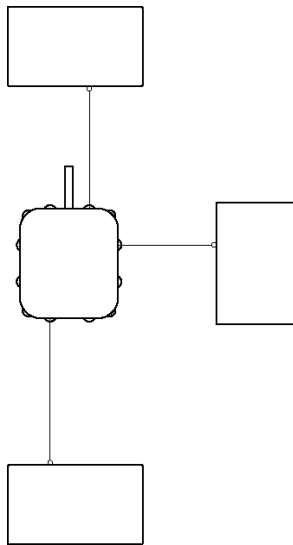


Figura 13. Esquema de objetos prueba 2

Tabla 3 Resultados de mediciones de la prueba 2 (cm)

Muestreo	Sensor 5	Sensor 9	Sensor 11
1	59.96	40.36	50.74
2	59.96	40.36	50.74
3	61.11	40.36	50.74
4	59.96	40.36	50.74
5	59.96	40.36	50.74
6	59.96	40.36	50.74
7	59.96	40.36	50.74
8	59.96	40.36	50.74
9	59.96	40.36	50.74
10	59.96	40.36	50.74
Promedio	60.08	40.36	50.74

Tabla 4 Comparación de distancias (cm)

Medición	Sensor 5	Sensor 9	Sensor 11
Real	60.00	40.00	50.00

Obtenida	60.08	40.36	50.74
Diferencia	0.08	00.36	00.74

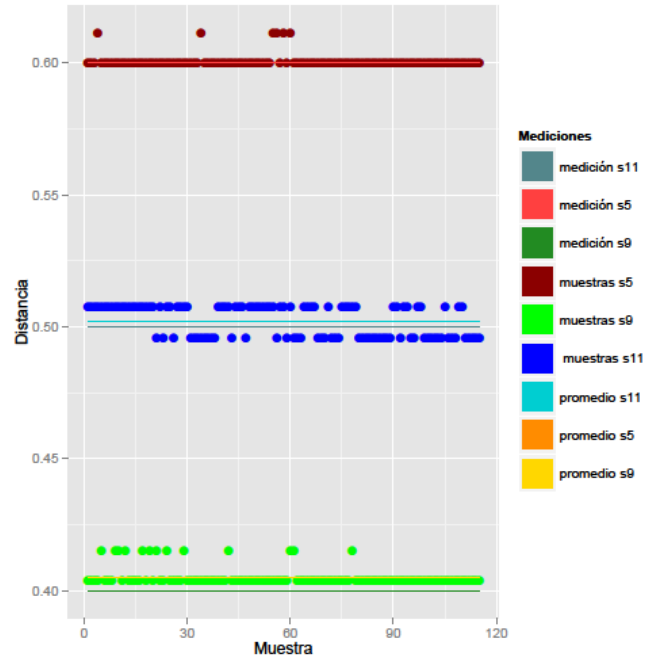


Figura 14. Gráfica de resultados de la prueba 2.1

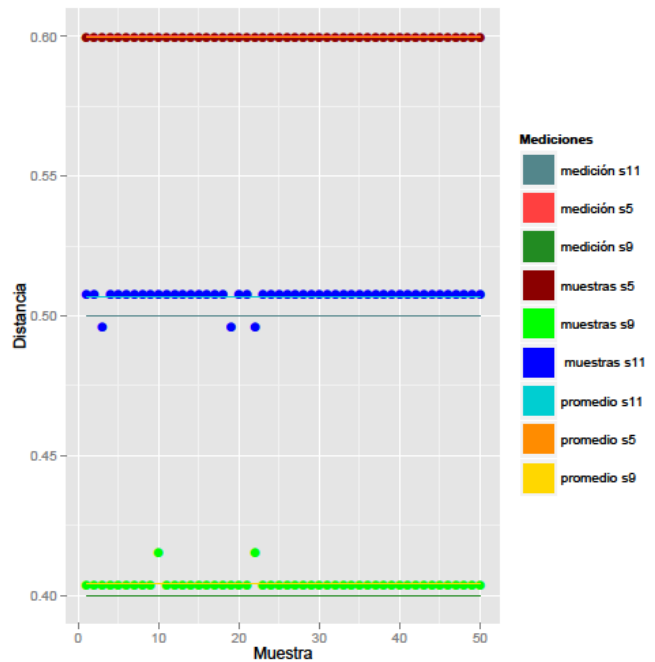


Figura 15. Gráfica de resultados de la prueba 2.2

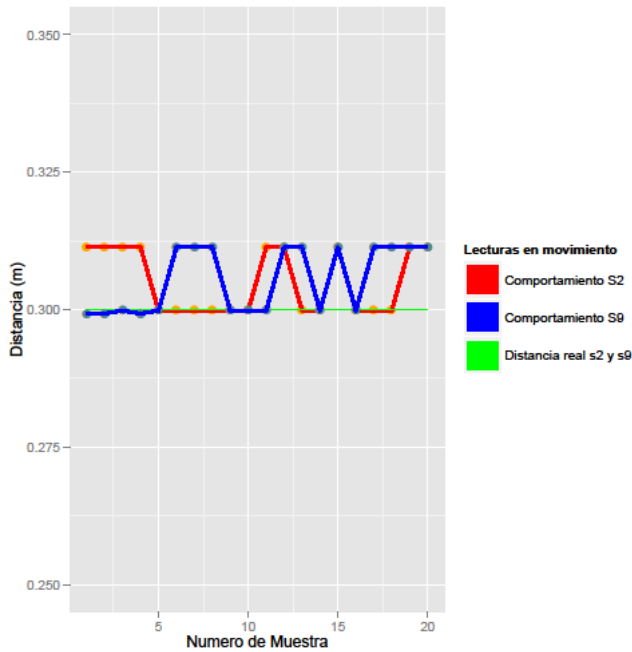


Figura 16. Gráfica de resultados de la prueba dinámica. Escala en m.

En la Figura 16, se muestra una gráfica del comportamiento de los sensores mientras se realiza un desplazamiento por parte del remolque al ser trasladado por un robot tractor. Se tomaron los sensores laterales 2 y 9 para detectar las superficies de objetos a través de una distancia de 2.9 metros en los que el remolque se mueve a 0.25 metros por segundo. La longitud entre el remolque y los obstáculos es de 30 centímetros para cada sensor, notándose una variación máxima en 20 muestras de aproximadamente 1.25 cm. En un total de 72 muestras se tuvo una variación de 0.4 milímetros debido al movimiento lineal del robot tractor-remolque. Las variaciones de las mediciones son congruentes con la distancia real a detectar a pesar del movimiento.

4. CONCLUSIONES

Las redes de sensores de distancia ultrasónicos implementando en vehículos móviles junto con un protocolo de comunicación en serie (SPI) como el implementado en este trabajo, resultan en una herramienta efectiva para la detección de obstáculos. La información que proporcionen la red de sensores será de utilidad para cualquier estrategia de navegación que sea implementada para el conjunto robot tractor-remolque.

La herramienta también puede ser utilizada para la instrumentación en la medición de otras variantes de vehículos móviles e incluso utilizando el mismo procedimiento para el caso de robots tractores con más de un remolque o también en el caso de robótica bípeda. El sistema presentado en este trabajo, representa un módulo muy compacto con capacidad de extensión en número de sensores y con facilidad de comunicarse con las tarjetas de desarrollo de microprocesadores comerciales.

5. REFERENCIAS

- [1] W. Chen et al, "WITS: A Wireless Sensor Network for Intelligent Transportation System", IMSCCS, 2006.
- [2] T. Jin, H. Hashimoto. "Simultaneous Localization and Mobile Robot Navigation using a Sensor Network", *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 6, 2006, pp. 161-166.
- [3] I. Stoianov et al, "PIPET: A Wireless Sensor Network for Pipeline Monitoring", *IPSN*, 2007, pp. 264-273.
- [4] K. Ishikawa, A. Mita. "Time synchronization of a wired sensor network for structural health monitoring", *Smart Materials and Structures*, 2008.
- [5] S. Mathur et al, "ParkNet: A Mobile Sensor Network for Harvesting Real Time Vehicular Parking Information", *MobiHoc*, 2009.
- [6] L. Klingbeil, T. Wark. "A Wireless Sensor Network for Real-time Indoor Localisation and Motion Monitoring", *International Conference on Information Processing in Sensor Network*, 2008, pp. 39-50.
- [7] W. Xiao et al, "A prototype Ultrasonic Sensor Network for Tracking of Moving Targets", *ICIEA*, 2006.
- [8] T. Sato et al, "Ultrasonic Precise Distance Measurement and Movement Detection Installed in Sensor Network", *IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings*, 2014, pp. 2466-2469.
- [9] B. Nandekar et al, "Performance Evaluation of Modern Sophisticated Parking Management System with Space Modeling". *IJIRCCE*, Vol. 2, 2014, pp. 6535-6542.
- [10] T. R. Wagh et al, "River Monitoring an Application for Wireless Sensor Network Platform", *IJETAE*, Vol. 4, 2014, pp. 511-515.
- [11] S. Rahaman et al, "VSIB: A Sensor Bus Architecture for Smart-Sensor Network", *World Congress on Computer Science and Information Engineering*, 2009.
- [12] D. Wobschall et al, "Esbus- A sensor Bus Based on the SPI Serial Interface", darold@wobschall.com.
- [13] M.K. et al, "Characteristics of Serial Peripheral Interfaces (SPI) Timing Parameters for Optical Mouse Sensor", *ICSE*, 2006, pp. 576-577.