

COOPERATIVE SERVICE ROBOTS

ROBOTS DE SERVICIO COOPERATIVOS

Daniel Alfonso Correa Niño, Fredy Alberto Sanabria Cárdenas
MSc(c). Wilmer Alexis Sandoval Cáceres, MSc(c). Reynaldo Claros Lamus

Universidad Santo Tomas. Programa de Ingeniería Mecatrónica.
Carrera 18 No. 9 – 27, Tel.: (577) 680 0801 Ext. 1410 – 1411.
E-mail: d.alconi@gmail.com, fredy_j64@hotmail.com,
sandoval.wilmer@gmail.com, rclaros@hotmail.com

Abstract: This document summarizes the various stages of implementation and builds two autonomous robots with the ability to work cooperatively to make the search for an object with color patterns including both pre-established testing and packaging of various types of sensors such as development and characteristics of transit systems implemented in mobile robots. Robots were built so that they can carry out exploration in a given environment, providing them with a sensory system according to the needs of the project and a handle for the collection of the object on search.

Keywords: Mobile robotics, navigation, cooperative robotics, multi-robot system.

Resumen: En el presente documento se resume las diferentes etapas de implementación y construcción de dos robots autónomos con la posibilidad de trabajo cooperativo para efectuar la búsqueda de un objeto con patrones de color pre-establecidos incluyendo tanto pruebas y acondicionamiento de diversos tipos de sensores como el desarrollo y características de sistemas de locomoción implementados en robots móviles. Los Robots se construyeron de tal forma que puedan realizar tareas de exploración en un entorno determinado, dotándolos con un sistema sensorial acorde a las necesidades del proyecto y un manipulador para la recolección de los objeto motivo de búsqueda.

Palabras clave: Robótica móvil, navegación, robótica colectiva, sistemas multi-robot.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años han surgido nuevas tecnologías en la rama de la robótica, muchas de ellas inspiradas en comportamientos abstraídos de la naturaleza.

La robótica colectiva es una de ellas, la cual busca diseñar sistemas compuestos por varios robots dotados con capacidades para la resolución de problemas operando de forma conjunta. Una aplicación de este tipo de tecnología, se logra apreciar en robots que trabajan en celdas de

manufactura flexible y aplicaciones en las áreas didácticas y de investigación como son los robots futbolistas.

La Universidad Santo Tomas en pro de estar a la vanguardia de nuevos avances a nivel de investigación y tecnología aplicada, ha apoyado durante los últimos años la implementación de microbots móviles con el fin de apoyar el desarrollo académico mediante la elaboración de módulos didácticos aplicados a las diferentes áreas de investigación que trabaja la Facultad de

Ingeniería Mecatrónica, como son la inteligencia artificial, sistemas de control entre otros.

La aplicación desarrollada se fundamenta en mecanismos de comunicación, cooperación y coordinación entre dos robots que poseen sistemas sensoriales propios y que deben navegar de forma autónoma. Su principal inconveniente proviene del uso de múltiples unidades móviles, dado que todas ellas interactúan en un mismo entorno de trabajo convirtiéndose así en obstáculos móviles para los demás robots, por tal motivo, se requiere de coordinación entre los robots y en muchas ocasiones las comunicaciones suelen centrarse en la evasión de colisiones.

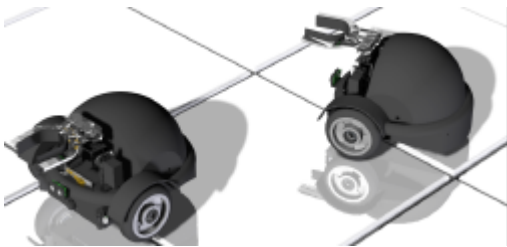


Fig. 1. Esquema general del proyecto

2. ARQUITECTURA DE LOS MOVILES

El esquema implementado está conformado por dos robots autónomos idénticos capaces de funcionar de manera cooperativa. El calificativo de “autónomo” hace referencia a la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar para alcanzar unos objetivos sin la intervención, o con una intervención muy pequeña, de supervisores humanos [1-7].

Los móviles han sido diseñados basados en la premisa de disponer de dos estructuras robóticas que puedan satisfacer los objetivos del proyecto y a su vez generar nuevos proyectos de investigación en dicha área, por tanto cada uno de los móviles se dota con sistemas sensoriales de alta precisión, con el fin de obtener las diferentes variables físicas de interés extraídas del entorno y convertirlas en señales eléctricas que les permiten la exploración en entornos parcialmente estructurados, cuentan además con un módulo de comunicación inalámbrico configurados en modo bidireccional *full-duplex*¹ basados en los protocolos de comunicación serial asíncrona que les permite un entendimiento mutuo a los dos móviles y una cámara para realizar tareas de visión artificial como

¹ *Full-duplex* es un modo de comunicación que permite enviar y recibir mensajes de forma simultánea.

son reconocimiento de colores, seguimiento de objetos y detección de bordes entre otros.

Los móviles tienen una dimensiones de 25 cm de ancho, 24 cm de largo y una altura de 20 cm, en una estructura de configuración diferencial, que consta de dos ruedas de goma (Poliuretano Blando) con diámetro 10 cm y una rueda caster en la parte posterior que le brindara mayor grado de estabilidad y de libertad de giro.



Fig. 2. Diseño estructural de cada Robot

2.1 Modelo cinemático

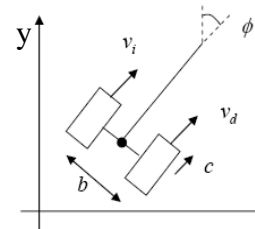


Fig. 3. Configuración con guiado diferencial

La aplicación desarrollada está basada en la configuración diferencial, mostrada en la Figura 3, las coordenadas (x, y) suministran la posición del robot con respecto a las coordenadas globales y el ángulo ϕ su orientación respecto a un eje paralelo al Y. [2, 4]

Dada esta configuración, las variables de control son las velocidades de las ruedas laterales v_i y v_d , al igual que el sentido de giro de las mismas. Si el radio de las ruedas es c , las velocidades lineales² correspondientes son $v_i = \omega_i \cdot c$ y $v_d = \omega_d \cdot c$.

$$(1) \quad V = \frac{V_d + V_i}{2} = \frac{(\omega_d + \omega_i) \cdot c}{2}$$

$$(2) \quad \omega = \frac{V_d - V_i}{2c} = \frac{(\omega_d - \omega_i) \cdot c}{2c}$$

Basándonos en la anterior información y utilizando el software de simulación Matlab[®], podemos conseguir las trayectorias seguidas por la posición

² La velocidad lineal es una magnitud física de carácter vectorial que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.

y orientación cuando se aplican diversas combinaciones de velocidades angulares³ a las ruedas izquierda y derecha respectivamente. Para ello se emplea el siguiente esquema de la figura 4, el cual está desarrollado mediante la Toolbox Hemero de Simulink®.

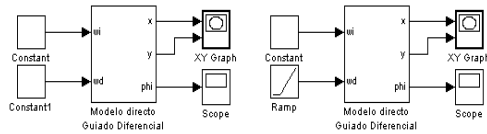


Fig. 1. Diagrama de Simulink para el cálculo de posición y orientación de robots móviles con guiado diferencial

Teniendo en cuenta el diseño del móvil a emplearse, el radio de las llantas es $c = 0.05$ m y la separación entre las mismas corresponde a $b = 0.224$ m. Así mismo, la posición inicial será el origen de coordenadas y la orientación inicial tendrá un valor de $-p/4$. Se simulara la evolución del robot durante 30 segundos.

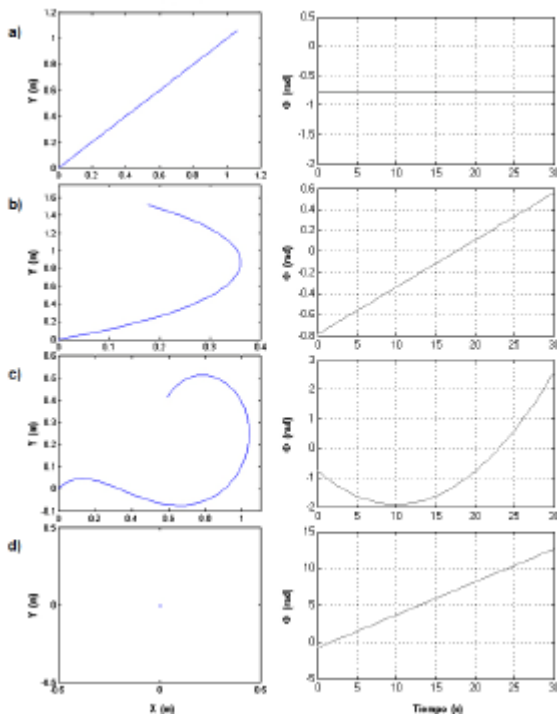


Fig. 5. Casos simulados para el guiado diferencial del móvil

Los casos y resultados empleados en la simulación se observan en la figura 5, en la parte izquierda se pueden apreciar las trayectorias y en la parte derecha el ángulo de orientación del móvil.

³ La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación.

a) En la Figura 5a, se aplicó una velocidad angular igual y en el mismo sentido a cada una de las ruedas con una magnitud de 1 rad/seg, razón por la cual móvil avanza en línea recta con la orientación inicial.

b) En el caso observado en la Figura 5b se aplica una velocidad angular mayor a la rueda derecha (1.2 rad/s) a la aplicada en la parte izquierda (1 rad/s), con lo que se observa que el móvil gira continuamente hacia la izquierda.

c) Para el caso de simulación de la Figura 5c se aplica una velocidad angular constante de 1 rad/s en la rueda izquierda, mientras que la rueda derecha se aplica una rampa que empieza en 0 y que crece continuamente con pendiente de 0.1. Se puede observar que el móvil gira hacia la derecha hasta el instante en que la velocidad angular de la rueda derecha supera a la de la izquierda, momento en el cual se invierte el sentido de giro del móvil.

d) Por último se aplican iguales velocidades angulares en ambas ruedas (1 rad/s), pero en sentidos opuestos, con lo que se pone de manifiesto de que el robot gire sobre su propio eje como se aprecia en la Figura 5d.

2.2 Arquitectura hardware

El cerebro principal de cada robot se basa en una placa electrónica dotada con dos microcontroladores PIC18F452 conectados entre sí, un microcontrolador será el encargado de recibir y procesar la información brindada por todos y cada uno de los sensores que hacen parte del sistema sensorial del robot, mientras que el segundo microcontrolador se encargara de efectuar la labores de control de cada uno de los motores del sistema de locomoción del móvil.

Además, la tarjeta Principal cuenta con un modulo ICSP (*In Circuit Serial Programming*) con el cual se puede reprogramar el microcontrolador principal sin necesidad de extraerlo de la tarjeta electrónica evitando daños en la estructura física del microcontrolador y la generación de cargas estáticas debido a la manipulación del mismo [4-9].

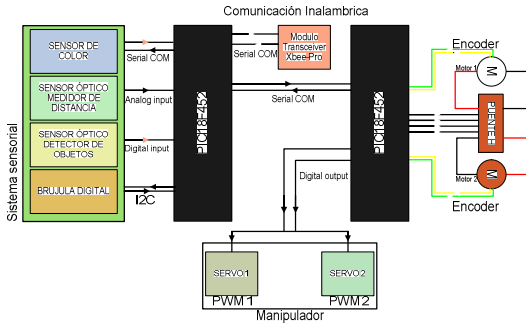


Fig. 6. Arquitectura hardware del sistema sensorial y mecánico

2.3 Sistema de percepción

El sistema de percepción⁴ del móvil permite que éste pueda hacer frente a diversas situaciones que se le presenten mientras ejecuta sus acciones, lo que exige de un sistema sensorial capaz de suministrar la información del entorno.

Con este sistema, el robot debe ser capaz de realizar 3 tareas fundamentales: determinar su orientación, estimar su posición y detectar objetos.

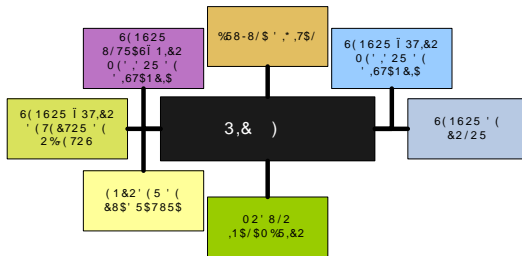


Fig. 7. Sistema sensorial

Usualmente, un robot móvil no se dota con un único sensor para efectuar todas las tareas programadas, por el contrario, se combinan múltiples sensores dentro del sistema sensorial que en mayor o menor medida se complementan [4-9].

2.3.1 Sensor Óptico GP2D12

La de salida del sensor GP2D12 está disponible de forma continua y corresponde a un voltaje análogo entre 0 y 3 voltios dependiendo de la distancia a la cual se encuentra localizado un objeto en particular, su valor es actualizado cada 32 msec [7], [8]. La señal análoga sensada es transformada en una variable de tipo digital mediante el uso de un conversor Análogo Digital (A/D). Esta salida es

⁴ El sistema de percepción es el que proporciona al robot la posibilidad de obtener e interpretar la información de su entorno.

de tipo no lineal y corresponde a la gráfica observada en la Figura 8.

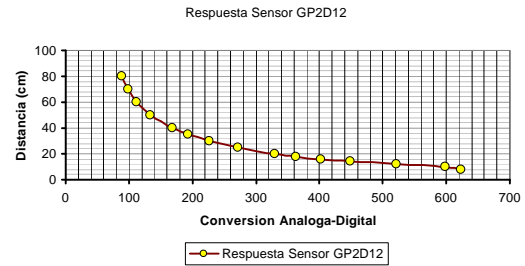


Fig. 8. Curva de operación del sensor GP2D12

En la gráfica de la curva de operación del sensor infrarrojo de la figura 8, se puede observar la eficacia del sensor en un rango de 10 a 60 cm dado que a distancias menores la curva no es homogénea y para distancias mayores el intervalo de voltaje de salida del sensor es muy pequeño. Por tanto es necesario limitar el sensor a dicho intervalo por software o hardware, haciendo necesario la realización de una regresión lineal de la curva entre la salida del sensor y la distancia basados en los datos reportados en la tabla 1.

Una vez tabulados los datos de la tabla 1. Se efectuó el procedimiento de regresión, obteniendo como resultado la gráfica de ajuste de la medida del sensor que se observa en la Figura 9.

Por tanto la curva de la regresión queda representada por la función:

$$(3) \quad D = \frac{6787}{V - 3}$$

Tabla 1. Datos caracterización GP2D12.

Distancia (cm)	Voltaje (V)	Conversión análoga
8	3	623
10	2,9	599
12	2,5	521
14	2,1	449
16	1,9	402
18	1,7	363
20	1,6	330
25	1,3	271
30	1,1	226
35	0,9	193
40	0,8	169
50	0,6	134
60	0,5	112
70	0,4	99
80	0,4	88

Donde V corresponde al dato del conversor análogo digital y D hace referencia a la distancia medida por el sensor en centímetros.

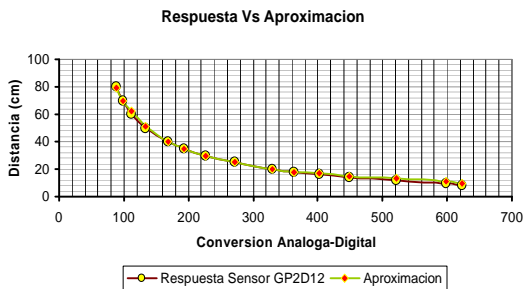


Fig. 9. Aproximación lineal sensor GP2D12

2.3.2 Sensor Brújula Digital CMPS03

Este dispositivo nos permite identificar variaciones en la dirección del robot durante un desplazamiento, por lo tanto podrá corregir una trayectoria en caso de modificar la dirección por algún factor externo como podría ser una posición forzada de un motor o cualquier otro evento no comprendido por las variables de entorno.

Por otra parte, este instrumento proporciona información precisa durante la ejecución de giros, por lo que se puede conocer el desplazamiento en grados y la orientación de la unidad móvil⁵.

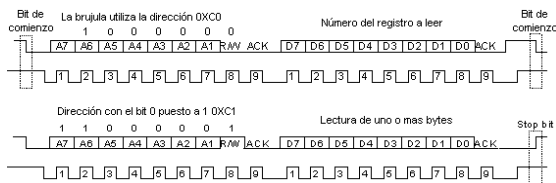


Fig. 10. Diagrama de tiempos sensor Brújula Digital. [7]

2.3.3 Encoder de Cuadratura QME-01

El encoder es un dispositivo electromecánico, que convierte la posición angular de su eje en una señal digital eléctrica permitiendo así medir desplazamientos angulares, movimientos lineales, circulares, velocidades rotacionales y aceleraciones. Los encoder QME-01 conectados a los motorreductores encargados de la locomoción de cada uno de los robots, pueden contar 120 ciclos o 480 conteos de cuadratura por revolución, que basado en dos sensores generan trenes de pulsos desfasados 90 grados entre sí logrando obtener información del avance y el sentido de giro de cada una de las ruedas de los móviles. [2, 4, 5].

⁵ Unidad Móvil es un dispositivo Mecatrónica capaz de funcionar de manera autónoma.

2.3.4 Cámara de visión artificial CMUcam2+

Uno de los objetivos del proyecto es la generación de trayectorias en base a un sistema de visión artificial para efectuar tareas de tipo cooperativo [11-18]. Por tanto la unidad móvil debe ser capaz de reconocer objetos de 3 diferentes colores predeterminados. Una vez ubicado este objeto, y determinada su posición, el robot reacciona, desplazándose hacia él.

Con el fin de poder discriminar cada color de manera correcta e independiente y una vez obtenidas las componentes RGB⁶ por medio de la CMUcam2, se trabajó en el espacio de color HSV⁷ (Hue, Saturation, Value) debido a que dicho espacio define el color en tres componentes; una componente denominada HUE o tonalidad que hace referencia al tipo de color (rojo, amarillo, verde, etc.) y otras dos componentes que son saturación y valor del color que corresponden a la pureza (concentración de color) y brillo (claridad del color) respectivamente.

En la Figura 11 se observan los rangos de tonalidad para cada uno de los colores en el espacio HSV, conforme a esto se tabuló en la Tabla 2 los límites máximos y mínimos de los colores de interés. Sin embargo en la selección de rangos no se tuvieron en cuenta las componentes de saturación y valor de color debido a que solo nos interesa la tonalidad de un objeto en particular.

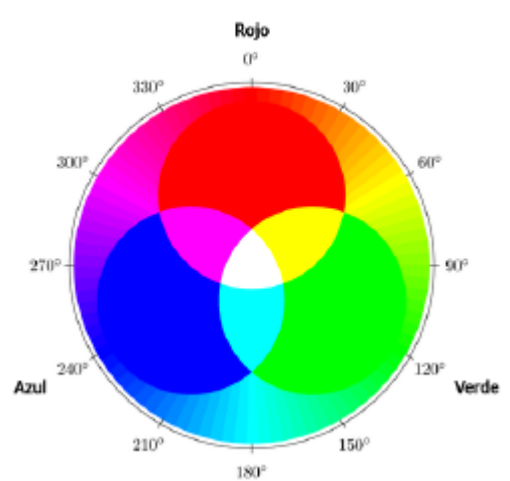




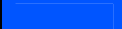



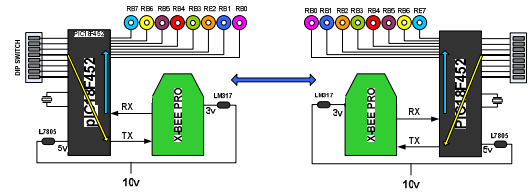
Fig. 11. Rangos de tonalidad del espacio HSV

⁶ Modelo de color RGB (del inglés Red, Green, Blue; "rojo, verde, azul").

⁷ Modelo HSV (del inglés Hue, Saturation, Value – Tonalidad, Saturación, Valor).

Tabla 2. Tonalidades de color en espacio HSV.

Rangos		COMPONENTES			COLOR
		H	%S	%V	
ROJO	Min	345	100	100	
	Max	5	100	100	
VERDE	Min	90	100	100	
	Max	170	100	100	
AZUL	Min	220	100	100	
	Max	250	100	100	



2.4 Sistema de comunicación

Dentro del mundo de la robótica uno de las tareas más comunes de encontrar es el método de comunicación a utilizar para el envío de datos entre los móviles.

El sistema de comunicación más usado para el envío de datos es vía radiofrecuencia (RF) estableciendo una comunicación bidireccional [5, 7].

Este sistema de comunicación se implemento mediante el uso de los Módulos X-Bee Pro, los cuales permiten efectuar comunicaciones de tipo bidireccional, su alcance máximo en línea de vista es de 1 milla y manejan protocolo de comunicación Serial.

Para efectuar la comunicación entre los robots móviles se utilizaron microcontroladores PIC18F452 los cuales se encargan de enviar datos de forma serial a los módulos de comunicación, los datos recibidos de forma inalámbrica, corresponden a una señal asíncrona sucesiva. Un estado alto representa que ningún dato ha sido transmitido. Cada byte de datos consta de un bit de inicio (bajo), 8 bits de datos (el bit menos significativo primero) y un bit de parada (el último).

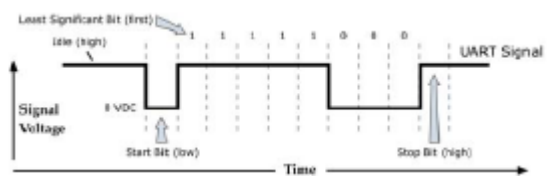
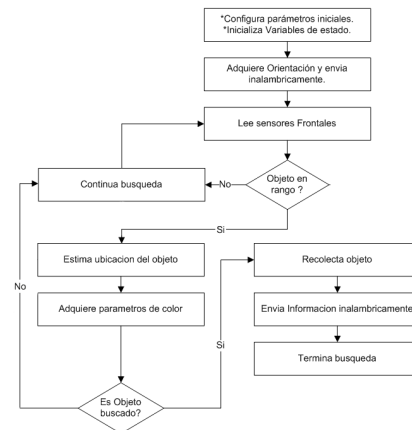


Fig. 11. Diagrama de tiempos de la comunicación

Para la comprobación del sistema de comunicación se definió una unidad remota como elemento transmisor y la otra como receptora de datos (ambas de forma inalámbrica).



Para garantizar un movimiento uniforme de los robots, se efectuaron labores de control correspondientes sobre la velocidad de giro de los actuadores para cada una de las ruedas, el cual fue realizado mediante el uso de un sistema de odometría⁸, basado en la captación de pulsos emitidos por cada uno de los encoder implementados sobre el sistema de locomoción. A partir del número de revoluciones angulares y la cantidad de pulsos emitidos por el sistema de odometría de cada llanta, fue posible hallar la sección circular de desplazamiento y así calcular la distancia que el móvil debía desplazarse.

A continuación se relacionan las fórmulas usadas para efectuar el cálculo de dichos movimientos:

$$\text{Perimetro} = 2\pi r \quad (1)$$

$$\text{avance} = \frac{\text{pulsos por vuelta} * \text{distancia}}{\text{perimetro}} = \frac{6000 * \text{distancia}}{2\pi r} \quad (2)$$

Es decir, que la ecuación 1 expresa la distancia recorrida por cada revolución de la rueda de los robots construidos que corresponde a 33 cm, la cual depende de cada uno de los movimientos a realizar y que se citan en la Tabla 3 resaltando el caso correspondiente y el número de pulsos entregado por los encoder.

Tabla 3. Movimiento respecto a los pulsos del encoder

Caso	Distancia	Avance	valor
Avance en línea recta	33 cm	6000	6000 ppv ⁹
Giro sobre su eje 45°	8.25 cm	1500	1500 ppv
Giro sobre su eje 90°	16.5 cm	3000	3000 ppv

Una vez se obtuvieron los datos de desplazamiento, se realizó la implementación de un controlador tipo proporcional [20] garantizando de ésta manera que cada uno de los robots mantuviera una trayectoria rectilínea y así obtener una orientación fija al momento de realizar cada uno de los desplazamientos en cualquiera de las direcciones seleccionadas a partir de la interacción del robot en el entorno explorado.

⁸ Odometría, Técnica que busca estimar la posición de un vehículo durante su navegación usando información sobre la rotación de sus ruedas.

⁹ PPV, sigla que hace referencia a la cantidad de pulsos por vuelta emitidos por cada uno de los encoder implementados en el sistema motriz de los móviles.

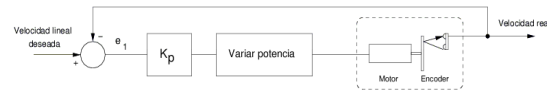


Fig. 14. Controlador proporcional implementado

En la Figura 15 se puede apreciar el error de desviación presentado por el robot al momento de desplazarse en una dirección determinada. En la Figura 16 se aprecia la gran efectividad del controlador implementado en cada uno de los robots, reduciendo en gran medida el error ocasionado por la diferencia de velocidades existentes en los motores.



Fig. 15. Avance del robot sin controlador de orientación



Fig. 16. Implementación del controlador de orientación

Un aspecto importante al momento de implementar la configuración de los robots móviles, fue definir el tipo de control y la arquitectura del sistema. Para la aplicación desarrollada se basó en la construcción de dos robots que trabajan de forma conjunta, no obstante actúan independientemente o siguiendo unas reglas de comportamiento, teniendo un mínimo grado de comunicación entre ellos, a este tipo de arquitectura cooperativa se le conoce como robótica de manadas “*swarm*” [21], donde no hay una inteligencia central sino, que todo el control es distribuido, cada robot móvil simplemente sigue unas reglas de comportamiento.

Se configuraron cada uno de los móviles para que de manera autónoma encontrarán un objeto de un color particular escondido dentro de más objetos de colores diferentes en un escenario de trabajo desconocido para ellos.

La eficiencia del sistema se puede observar dado que siempre han de encontrar el objeto motivo de búsqueda, que para el caso en particular, ha de ser un objeto de color rojo, verde o azul. Las implicaciones de fallo se ven evidenciadas en problemas de detección, es decir, en ocasiones el

robot pudo pasar cerca al objeto sin siquiera notarlo, pero posteriormente, dentro de su algoritmo de búsqueda podrá encontrar nuevamente el objeto y lograr efectuar la tarea propuesta.



Fig. 17. Pruebas de búsqueda

En la Figura 17, se evidencia claramente el comportamiento tipo *swarm* que poseen los móviles. Una vez, que cualquiera de los robots encuentre el objetivo, el robot que efectuó la tarea está en la capacidad de informar al otro que dicha tarea ha sido finalizada con éxito y seguidamente ambos móviles de manera automática entran en un estado de reposo dejado concluida la tarea en ejecución.

4. RECONOCIMIENTOS

A nuestros colegas Juan Sebastián Díaz, Jesús Andrés Rueda. A los profesores e ingenieros Hernando González, Wilmer Sandoval, Reynaldo Claros, Paola Guzmán, Jorge Araoz, John Jairo Gil por la asesoría brindada. A nuestros Proveedores, Futurlec Electrónica, Acriltec Diseños, Dynamo Electronics, Sigma electrónica y en especial a la Universidad Santo Tomas.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se describió la implementación del trabajo cooperativo realizado por dos robots móviles teniendo como base una arquitectura tipo *swarm*, concentrándose en aspectos relacionados tanto en las aéreas de control como de comunicación para de esta manera garantizar un nivel de coordinación permisible.

La obtención de una estrategia de “equipo” se tradujo en determinar un comportamiento para cada uno de los robots durante el proceso de búsqueda de un objeto en particular, estableciendo un método de cooperativismo que tenga en cuenta que el sistema en conjunto está formado por subsistemas autónomos con dinámicas propias, permitiendo asegurar que la introducción de labores de este tipo puede obtener un excelente comportamiento colectivo de los robots,

garantizando a su vez que los objetivos planteados para una tarea en particular se logaran con gran eficiencia sin tener en cuenta los fallos ocasionados por cada uno de los móviles.

Durante el proceso de reconocimiento de colores se utilizó el modelo RGB, obteniendo resultados inesperados en diversas pruebas debido a las variables condiciones de luz en cada una de ellas, por lo tanto se hizo necesario utilizar el modelo de color HSV con lo que el trabajo de la definición de colores se vuelve más sencillo frente al modelo RGB, debido a que discrimina las componentes de iluminación permitiendo a cada uno de los móviles garantizar sus labores de selección aun en entornos con baja iluminación.

Se implementó un sistema de comunicación inalámbrico bidireccional basado en los transceiver Xbee-Pro los cuales permitieron que los móviles compartieran información del estado de la tarea en ejecución y de esta manera logaran con gran eficiencia la coordinación de movimientos y acciones.

REFERENCIAS

- [1]. González J. y Ollero A. *Estimación de la Posición de un Robot Móvil*. Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Málaga. 1993
- [2]. Ollero Aníbal. *Robótica – Manipuladores y Robots móviles*. Barcelona - España. 2001
- [3]. A. Ollero, A. Simón, F. García y V. Torres. “Integrated Mechanical Design of a New Mobile Robot”. Proc. SICICA’92 IFAC Symposium. Ed. A. Ollero y E.F. Camacho. Pergamon Press, 1993.
- [4]. Jones L. Josep, FLYNN Anita M, SEIGER Bruce A. *Mobile robots: Inspiration to implementation*. Segunda Edición. Natic MA, USA: A. K. Peters Ltd.. 1999.
- [5]. Sandoval C., W. A. y Salcedo R., I. M. *Estudio de Detección de Obstáculos mediante sensores ultrasónicos e infrarrojos para la realización de mapa bidimensional con representación gráfica en computador*. Trabajo de grado Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Marzo 2005.
- [6]. Tibaduiza Diego. Martínez, Ángel. “Algoritmos de Planificación de Trayectorias para un robot móvil. CWRA”. IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation”. 2006

- [7]. Mejía, Carlos; Hernández Luis D. y Bustamante, Oscar. *Estudio e Implementación de Técnicas de Control y Navegación para Robots Móviles*. Bucaramanga. 2007.
- [8]. Angulo, José María, Angulo Martínez Ignacio, Romero Yesa Susana. *Microbotica: Tecnología, aplicaciones y montaje práctico*. Segunda Edición. Thomson. Madrid, España. 1999.
- [9]. Barrientos Antonio. *Fundamentos de robótica*. Universidad Politécnica de Madrid. McGraw Hill. 1997, Madrid 1997.
- [10]. Choset Howie et-al. *Principles of robot motion-theory, algorithms, and implementation*. Cambridge MA, USA. The MIT press. 2005.
- [11]. Zhikang Linz. *Camera-Based Vision for Unmanned Air Vehicles (UAVs) Operations*. National University of Singapore. 2007-2008.
- [12]. Nebot Patricio, Cervera Enric. *La arquitectura Acromovi: Una arquitectura para tareas Cooperativas en robots Móviles*. Castellón - España.
- [13]. Suarez, Oscar Deniz. *Contribuciones al análisis y desarrollo de robots sociables*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- [14]. Suarez, Oscar Deniz. "Contribuciones al análisis y desarrollo de robots sociables". Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 2006.
- [15]. Zamora M. A. et-al. *Navegación planificada de un robot móvil en entornos interiores desconocidos*. 2000.
- [16]. Martel, Antonio Falcón. *Coordinación y Control de Trayectorias en Sistemas Multirobot Mediante sensores visuales*. Universidad de las palmas de Gran Canaria.
- [17]. Dudek G., Jenkin M. *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University. 2000.
- [18]. Siegwart R., Nourbakhsh I. *Autonomous Mobile Robots*. MIT. 2004
- [19]. Orosco Duque, Andrés Felipe y Vélez Pérez, Gabriel Jaime. *Robot móvil modular: Plataforma de trabajo en Robótica móvil y colectiva*. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. Colombia.
- [20]. Ogata, K. *Ingeniería de Control Moderna*. Pearson Educación S.A. Madrid. 2003.
- [21]. Spears, William M.; Spears, Diana F. *Distributed, Physics-Based Control of Swarms of Vehicles*. University of Wyoming.