

COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS

Kristel Solange Novoa Roldan
ksnovoar@udistrital.edu.co
Brayan Andrés Bermúdez Bucurú
babermudezb@correo.udistrital.edu.co
Miguel Ángel Valbuena Nuñez
mavalbuenan@correo.udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá D.C, Colombia.

Resumen:

La recolección de comida por parte de las hormigas es una labor que requiere un trabajo cooperativo de todas las que conforman la colonia. Con base en esto, se emula el comportamiento de estas aplicado en la robótica cooperativa. Esto se logró a partir de la construcción de dos plataformas móviles capaces de tener este tipo de comportamiento de dos de las partes importantes de las colonias de hormigas. Estas dos plataformas se mueven en un entorno controlado y conocido para ellas; La plataforma uno “buscadora” es la encargada de rastrear todo el entorno controlado en busca de “alimento” y de transmitirle la posición exacta a la plataforma dos “recolectora” para que esta vaya directamente a recolectarlo. En este artículo se muestra el desarrollo de un sistema conformado por dos plataformas robóticas elaboradas con piezas del kit Lego y sensores, dando a conocer el trabajo autónomo entre ellas. Este proyecto se centra en una de las líneas de investigación del grupo en Robótica Móvil Autónoma – ROMA – de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.

Palabras Clave: Comunicación inalámbrica, Plataforma, Sistema cooperativo, sistema sensorico.

1. INTRODUCCIÓN:

La recolección de comida por parte de las hormigas es un sistema eficaz y organizado que se ve todos los días en la naturaleza. Se emulo este tipo de trabajo cooperativo por medio de dos plataformas móviles, desarrolladas a partir de una tarjeta de desarrollo PSoC, sensores de reflectancia, módulos puente H, módulos step down. Implementando una comunicación inalámbrica Bluetooth entre ellas para los datos de posición. En un futuro se espera poder implementar este tipo de búsqueda como ayuda a los cuerpos de rescate en una zona colapsada. Estas dos plataformas se construyeron con piezas del kit de robótica LEGO® MINDSTORMS 2.0, con una estructura diseñada por medio de manuales y guías

para la construcción de diversas plataformas con este kit.

2. Metodología:

Se implementaron dos plataformas móviles en un entorno controlado y conocido, para el trabajo en equipo en la búsqueda y recolección de objetos.

En este proyecto un microcontrolador PSoC de 32 bits con un procesador ARM cortex el cual reemplaza el ladrillo inteligente del kit LEGO® MINDSTORMS 2.0, se implementó en las dos plataformas para lograr un buen control sobre estas. La plataforma uno, “Buscadora”, explora completamente el entorno controlado, cuando esta detecta un obstáculo “comida” mediante el sensor de contacto, se encarga de enviar los datos de posición (ejes coordenados) a través del módulo bluetooth a la plataforma dos, “Recolectora”, la cual se dirige directamente al punto coordinado, recoge la “comida” y se devuelve a su punto de inicio, quedando lista para cuando la plataforma uno “buscadora” le envíe nuevamente la información de más comida encontrada.

En la Figura [1] se observa el diagrama de bloques implementado en la plataforma uno “Buscadora”, donde se puede analizar que cuando el microcontrolador toma la lectura de los sensores este habilita los actuadores o la comunicación según la lectura tomada.



Figura [1]: Diagrama de bloques plataforma “Buscadora”.

La Figura [2] también muestra el diagrama de bloques implementado en la plataforma dos “Recolectora” y como esta hace todas sus labores a

partir de la lectura de los sensores por parte del microcontrolador, quien es el que habilita los actuadores.



Figura [2]: Diagrama de bloques plataforma recolectora.

2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

2.1.1 Construcción de la estructura:

El montaje de las estructuras se realizó a partir de los manuales de LEGO de donde se obtienen los dos modelos óptimos para las estructuras, teniendo en cuenta que en ellas se ubican los sensores de contacto, los sensores de línea, los módulos puente H, módulos step down y comunicación inalámbrica, estos se pueden observar en la figura [3] y figura [5] donde se muestra la estructura de las dos plataformas describiendo cada una de sus partes. También se puede notar que la plataforma dos “recolectora” tiene una característica especial la cual es su brazo recolector (ver figura [5]) el cual se describirá más adelante. De aquí el primer resultado obtenido.

2.1.2 Fuente de Voltaje:

Con la plataforma se procedió a implementar los diferentes voltajes necesarios para alimentar todos los módulos y circuitos que están en el robot, llegando a la conclusión de que fueron necesarios tres voltajes diferentes.

La fuente principal es una batería de alta descarga con tecnología Ion Polímero Litio de tres celdas y un suministro de corriente de 1.5 A adecuada para este proyecto dado su calidad y capacidad.

A partir de aquí es necesario obtener los tres voltajes: 3.3V para toda la lógica y circuitos lógicos como los sensores de línea, sensores de contacto y módulos bluetooth. 9V necesarios para alimentar la tarjeta de desarrollo PSoC y un voltaje variable necesario para la alimentación de los drivers de los motores para calibrar la velocidad de avance de las plataformas.

Fueron necesarios tres módulos Step Down para cada plataforma (ver figura [3] y figura [5]) de las siguientes características: Es una fuente basada en el regulador LM2596, salida entre 1,5V y 35VDC y capacidad de corriente hasta de 3A, óptima para obtener los tres voltajes necesarios para el desarrollo de las plataformas.

2.2 RESULTADOS

2.2.1 Plataforma uno “Buscadora”

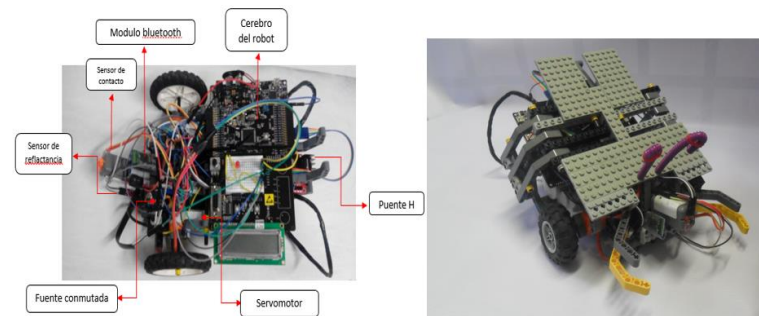


Figura [3]. Plataforma uno “Buscadora”

En la figura [3] se observa el primer resultado obtenido, el cual es la plataforma uno “buscadora” con cada una de sus partes y todos los módulos acoplados, se ven dos fotos debido a que después de ponerle la carcasa no se quedan visibles los módulos y por esto fue necesario tener dos imágenes una sin carcasa y una con carcasa para poder visualizar las partes de la plataforma. Para dar inicio a trabajar en la búsqueda de obstáculos “comida”, esta plataforma consta de tres sensores de reflectancia, tres módulos step down y a continuación en la tabla [1] se describe la composición general de esta.

La figura [4] describe la programación utilizada para el buen funcionamiento de la plataforma uno “buscadora”. Da inicio a recorrer el entorno, si encontró obstáculo recolecta los datos y los envía a la plataforma dos “recolectora”, luego del envío de datos y de saber que la plataforma dos “recolectora” está en su punto de inicio continúa recorriendo el entorno hasta terminar el recorrido en caso de que no encuentre obstáculos sigue su recorrido hasta terminar de explorar el entorno.

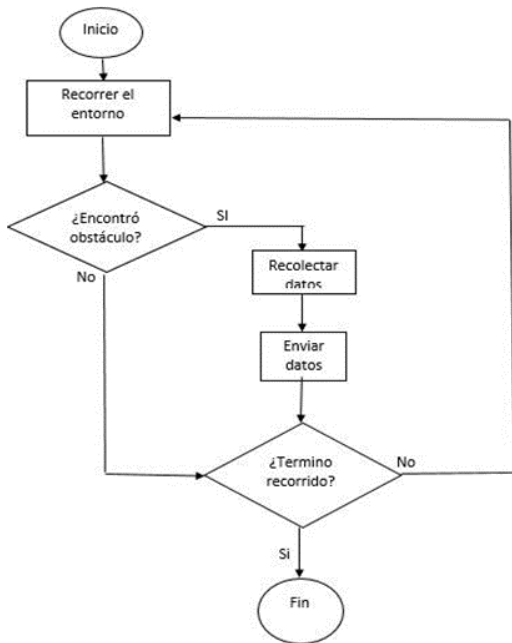


Figura [4]: diagrama de flujo del robot buscador de obstáculos

Plataforma uno “Buscadora”	
Peso	460g
Ancho	27 cm
Largo	35cm
Alto	23cm
Capacidad de giro	360°
Tracción	2 Ruedas
Servomotores	2 Tipo LEGO
Sensores de contacto	1 Tipo LEGO
Sensores de reflectancia	3 QRT1RC
Microcontrolador	PSoC 5 LP
Módulos puente H	1 L293D
Módulos Bluetooth	1 HC-05
Fuentes Conmutadas	3 LM2596
Voltaje de operación	12V
Consumo máximo de corriente	1.5 ^a

Tabla [1]. Características de la plataforma uno “buscadora”

2.2.2 Plataforma dos “Recolectora”

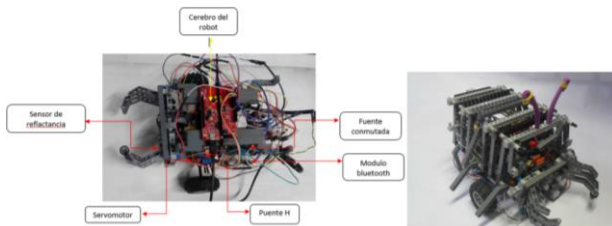


Figura [5]. Plataforma dos “Recolectora”.

En la figura [5] se puede observar la estructura resultante de la plataforma dos “recolectora”, estas dos fotos de la plataforma se hicieron con el fin de poder mostrar un poco algunas de sus partes ya que la plataforma resultante no nos deja notar los módulos que esta utiliza. La figura [5] nos muestra cada una de sus partes, su característica especial, la cual es la pinza que le permite recolectar los obstáculos “comida”, también se pueden notar las conexiones de todos los módulos y sensores que van directamente al microcontrolador. Esta plataforma consta de tres sensores de reflectancia, tres módulos step down y sus partes varias que a continuación en la tabla [2] se da una descripción de la composición general de la plataforma dos “recolectora”.

En la figura [6] se describe la programación utilizada en la plataforma dos “recolectora” para su buen funcionamiento, esta plataforma inicia en modo de espera hasta recibir los datos, si esta recibe los datos se dirige a recojer el obstaculo y cuando llega ahí simplemente lo recoje y se devuelve a su punto de inicio para esperar el recibimiento de más datos.

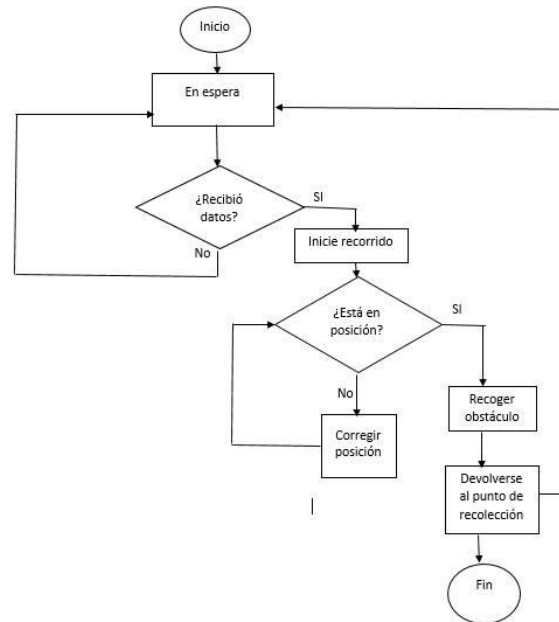


Figura [6]: diagrama de flujo del robot recolector de obstáculos.

Plataforma dos Buscadora	
Peso	490g
Ancho	27cm
Largo	25cm
Alto	19cm
Capacidad de giro	360°
Tracción	2 Ruedas
Sistema de recolección	Pinza mecánica
Distancia de apertura	12cm

máxima de la pinza	
Altura pinza recolectora	4cm
Servomotores	2 Tipo LEGO
Sensores de contacto	No
Sensores de reflectancia	3 QRT1RC
Microcontrolador	PSoC 4
Módulos puente H	2 L293D
Módulos Bluetooth	1 HC-05
Fuentes Conmutadas	3 LM2596
Voltaje de operación	12V
Consumo máximo de corriente	1.5 ^a

Tabla [2]. Características de la plataforma recolectora.

2.2.3 Entorno controlado:

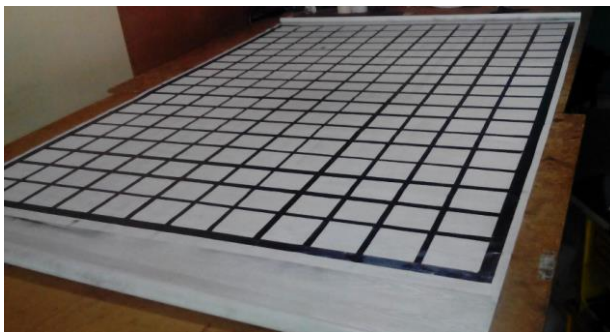


Figura [7]. Entorno Controlado.

El entorno controlado esta hecho matricialmente, en donde se ubican 18 columnas y doce filas, esto se puede ver en la figura [7], estas son las marcas de posición, dispuesto de esta manera para que el robot navegue por medio de cada marca de posición, estas líneas hechas en color negro ya que este color absorbe toda la luz y hace que el sensor de reflectancia no detecte reflejo de la luz incidente, esto con el fin de que las dos plataformas conozcan su posición en cualquier momento por medio de ejes coordenados. Todas las dimensiones del entorno controlado y su composición general se pueden ver en la Tabla [3].

Largo	2 m
Ancho	1.5 m
Cantidad de espacios a lo largo	18
Cantidad de espacios a lo ancho	12

Color predominante	Blanco
Color de las líneas	Negro
Grosor de las líneas	2 cm
Tamaño de los espacios	9 cm * 11cm

Tabla [3]. Características del entorno.

2.2.4 Sensor de contacto:

Teniendo ya los voltajes se procede a configurar el sensor de contacto el cual es obtenido del kit LEGO, este funciona como un pulsador de dos estados (ON/OFF), entonces se conecta a el voltaje lógico (3.3V) y a continuación a la tarjeta de desarrollo, de esta manera se observan los dos estados del pulsador como dos voltajes uno lógico y cero lógico.

2.2.5 Sensor de reflectancia (línea):

Los sensores de línea se usaron de dos maneras diferentes. Como el entorno controlado está diseñado matricialmente con sus líneas guías como se ve en la figura [5], es necesario que el robot pueda seguir las guías y hacer los giros correspondientes en donde la rutina de programación así lo indique , para esto se equipa cada robot con tres sensores de línea diferentes, dos ubicados al frente del robot dispuestos para seguir las líneas guías, y otro ubicado en un lado del robot dispuesto para detectar las marcas del entorno que significan el cambio de posición en la matriz entorno necesario para el reconocimiento de posición.

2.2.5 Módulo Bluetooth:

El modulo que se ve en Figura [8] proporciona la comunicación inalámbrica para el envío de los datos de posición, se ubicó un HC – 05 (Módulo) en un lugar aleatorio de la plataforma, este módulo convierte del protocolo RS232 a Bluetooth directamente, previo a esto es necesario configurar uno de los módulos como maestro y configurar el otro como esclavo, luego de esto al encenderlos los dos se vinculan automáticamente. Para hacer uso de estos módulos se implementa una comunicación serial común y corriente en la tarjeta de desarrollo, como los módulos ya están vinculados esto proporcionará el medio de transmisión para la comunicación serial.

3. PRUEBAS

3.1 PRUEBA DE DISTANCIA DEL SENSOR DE REFLECTANCIA

Fue necesario ubicar los sensores de reflectancia a diferentes distancias las cuales están especificadas en la tabla [4], cuando se indica “sin respuesta” esto quiere decir que el sensor a enviando un cero lógico y cuando es “Respuesta positiva” es cuando el sensor a enviando un uno lógico. Estas lecturas las hace la tarjeta de desarrollo y con el uno lógico esta habilita el algoritmo para que el robot se pueda desplazar sobre la línea del entorno.

Distancia	Respuesta sensor
0 – 2 mm	Sin respuesta
3 – 6 mm	Respuesta positiva
> 6 mm	Sin respuesta

Tabla [4]. Respuesta del sensor de reflectancia frente a la distancia.

3.2 PRUEBA DE VELOCIDAD DE SERVOMOTORES

Cuando se comenzó a desplazar la plataforma buscadora en el entorno y se notó que la velocidad de desplazamiento de la plataforma afecto tanto el recorrido como la fidelidad de las mediciones de los sensores de reflectancia (sensores alimentados a 5v en todos los valores de voltaje suministrado a los servomotores) se empezó a utilizar diferentes voltajes para ir notando los cambios en el desplazamiento de la plataforma buscadora. Se puede notar que en la tabla [3] se plantean cuatro valores de voltajes diferentes; cuando se conectan los servomotores a 3.3v la velocidad del desplazamiento es 25% de su velocidad máxima, pero la medición por parte de los sensores es un 100% debido a que si la plataforma se desplaza a esa velocidad el sensor podrá contar mucho mejor.

Cuando se conectan los servomotores a 6 voltios estos aumentan su velocidad de desplazamiento a 45% de su velocidad máxima y la medición de los sensores se ve afectada en un 20% debido a que si la plataforma va más rápido menos tiempo tiene el sensor para generar mediciones.

Al conectar el motor a 9v el aumento en su velocidad es de 70% de su velocidad máxima y a esta velocidad ya los sensores se ven afectados en un 65% al momento de tomar mediciones. Ya el último valor de voltaje fue de 12v y en este punto el motor alcanza su máxima velocidad afectando en un 98% la medición de los sensores.

Voltaje	Velocidad	Calidad de las mediciones
3.3V	Baja	La mejor
6V	Media	Buena
9V	Alta	Regular
12	Máxima	Mala

Tabla [5]. Fidelidad de las mediciones con respecto a la velocidad del robot.

3.2 PRUEBA DE TRANSMISIÓN DE DATOS Y CORRECCIÓN DE ERRORES

En la figura [13] se observa la plataforma dos “recolectora” dirigirse al obstáculo según los datos recibidos por la plataforma uno “buscadora”, en esta prueba se observó que la plataforma dos “recolectora” iba un eje coordenado con un error de más uno de donde se encontraba el obstáculo, para esto se hizo la prueba de funcionamiento del proyecto completo, en donde se colocó un obstáculo y se observó que al momento que la plataforma uno “buscadora” le enviaba datos a la plataforma dos “recolectora”, esta se los enviaba con un margen de error de un eje coordenado de mas , lo que hacía que la plataforma dos “recolectora” avanzara un eje de más en el entorno y esta no lograra llegar al obstáculo.



Figura [13]. Error en los datos.

Se llega a la conclusión que este error está dado por la posición del sensor contador de marca presente en el robot buscador y también se logra deducir que el error tiene un patrón, este patrón viene dado por el recorrido que lleva la plataforma buscadora y en conclusión se llega a la siguiente tabla, en donde se relaciona el error con el sentido del recorrido que

lleva la plataforma buscadora al encontrar el obstáculo.

Sentido del recorrido encontrar obstáculo	del al el	Corrección de error
Recorrido en negativos.	X	Sumar una unidad a la coordenada X. Coordenada Y sin cambios.
Recorrido en negativos	Y	Coordenada X sin cambios. Coordenada Y sin cambios.
Recorrido en positivos	X	Restar una unidad a la coordenada X.
Recorrido en positivos	Y	Restar una unidad a la coordenada Y.

Tabla [7]. Corrección de errores de recolección.

Una vez hechos estos ajustes luego de recibir los datos se observa que la plataforma recolectora recoge correctamente el obstáculo puesto en el entorno.

4. CONCLUSIONES

- Al diseñar una estructura provisional de la plataforma se tuvo la experiencia que para que el desplazamiento de la plataforma fuera en línea recta se tenía que trabajar con un centro de gravedad en la estructura (distribución balanceada de la estructura) y para esto se procedió a hacer el acople del brazo robótico a la estructura; el cual le permitió al robot recoger los obstáculos encontrados en el entorno controlado. También nos encontramos que el diseño de la estructura tenía que ser resistente debido al tamaño de la tarjeta de desarrollo (cerebro del robot) y los diversos módulos que le permitieron el total funcionamiento al robot.
- Después de haber colocado la tarjeta de desarrollo, los módulos y configurado los sensores de reflectancia para que el desplazamiento de la plataforma por el entorno fuera conocido y controlado por ella misma. Se procedió a iniciar el desplazamiento de esta por el entorno y el resultado fue que el primer diseño del entorno no era el más óptimo para ser conocido y controlado por las plataformas. Por ende el entorno quedó como se muestra en la figura [7].
- Al colocar varios obstáculos en el entorno la plataforma buscadora envía los datos

correctamente y se da el trabajo cooperativo entre estas dos para finalmente recolectar los obstáculos necesarios.

- En caso de los sensores de reflectancia de las dos plataformas, fue necesario calibrar la distancia a la cual se encuentran del entorno ya que si queda muy cerca o muy lejos estos no eran capaces de sensor correctamente.
- Para la correcta medición de las líneas de marca en la cuadrícula del entorno es necesario que este esté completamente limpio y sin impurezas ya que estas ocasionan error en las lecturas.
- La navegación de la plataforma buscadora se realiza de una manera en círculos (caracol), se hizo de esta manera para que recorriera completamente el entorno haciendo giros de 90° a la izquierda esto con el fin de que la plataforma tenga un mayor campo de acción frente a los obstáculos.
- El entorno es completamente cuadrículado para hacer que los robots sigan una ruta y a la vez proporcionarles la capacidad de saber en qué punto exacto de este están, esto con el propósito de ubicar los obstáculos en cualquier intersección de todo el entorno.
- En cuanto a la comunicación se implementó una red punto a punto en donde la plataforma buscadora, luego de haber detectado el objeto y de hacer los cálculos correspondientes para saber en qué punto exacto de la cuadrícula se encuentra, envía dos datos a la plataforma recolectora, datos correspondientes a la coordenada en el eje X y a la coordenada en el eje Y.

Agradecimientos

Al grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA), a la Ing. Kristel Novoa Roldan; por su apoyo, asesoría y constante colaboración durante todo el desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] Electronilab.co, "LM2596." [Online]. Available: http://electronilab.co/wpcontent/uploads/2014/05/Lm2596_Electronilab_1.jpg

[2] Electronilab.co, “L298N” [Online]. Available: <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>

[3] LEGO, “LEGO.” [Online]. Available: <http://www.lego.com/es-es/mindstorms/downloads/building-instructions/gripp3r/>

[4] Cypress, “PSoC® 5LP.” [Online]. Available: <http://www.cypress.com/psoc5lp/?source=CY-ENG-HEADER>.