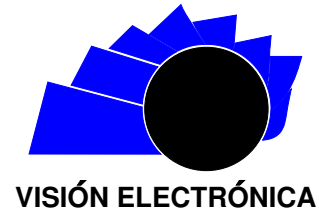




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN INVESTIGADORA

Desarrollo de plataforma para implementación de robots colaborativos

Development of Platform for Implementation Collaborative Robots

Sebastián Gael Moctezuma Gutiérrez.¹, Arturo Cruz Pazarán.², Rubén Galicia Mejía.³, Luz Noé Oliva Moreno.⁴

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 13/09/2017

Recibido: 22/11/2017

Aceptado: 12/01/2018

Palabras clave:

Colaborativo

CPLD

Plataforma

Robot

Sensores

Open access



Keywords:

Collaborative

CPLD

Platform

Robot

Sensors

RESUMEN

Los robots colaborativos son de interés en variadas áreas de control, especialmente en la manipulación, desarrollo y precisión de tareas programadas; parte de su funcionalidad radica, entonces, en la plataforma de comunicación entre ellos. En este artículo de investigación se presenta el desarrollo de una plataforma para la comunicación entre robots colaborativos empleando dispositivos lógicos programables CPLD (*Complex Programmable Logic Device*), sensores ultrasónicos y sensores infrarrojos con la finalidad de que realicen múltiples tareas. Según la forma en que sean programadas, estas plataformas robóticas pueden apoyar las empresas a enfrentar dificultades tales como los altos costos derivados de otras plataformas robóticas convencionales; asimismo, pueden orientarse a facilitar tareas cotidianas —como la transportación de objetos o el apoyo en labores domésticas— que se pueden automatizar de manera eficaz.

ABSTRACT

Collaborative robots have such a big interest in control, manipulation and programmed tasks areas; part of the functionality can be found in the communication platform between them. In this research article presents the development of a platform of collaborative robots using programmable logic devices such as a Complex Programmable Logic Device (CPLD), ultrasonic sensors, and infrared sensors with the objective of executing various tasks. Depending on how the robots are programmed, those platforms can give support to many companies facing difficulties, such as the high prices of the conventional platforms. Also, they can facilitate daily work like moving objects from one place to another.

¹Ingeniero en sistemas computacionales, Instituto Politécnico Nacional, México. Correo electrónico: smoctezumagutierrez@gmail.com

²Ingeniero en sistemas computacionales, Instituto Politécnico Nacional, México. Correo electrónico: arturo.crupa@hotmail.com

³Doctor en Electrónica y Telecomunicaciones, Instituto Politécnico Nacional: Escuela Superior de Cómputo, México. Correo electrónico: rgaliciam@ipn.mx

⁴Doctora en Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería. Correo electrónico: noetronix@hotmail.com

1. Introducción

Un robot se define como una entidad, virtual o mecánica, artificial. En la práctica, este es, por lo general, un sistema electromagnético que por su apariencia o sus movimientos ofrece la sensación de tener un propósito propio. Los robots se han utilizado cada vez más en áreas como la industria, educación, ciencia, medicina, seguridad, investigación y algunas otras menos complejas; dentro de todas estas áreas los robots desempeñan el papel de un colaborador y son utilizados como una herramienta —más que como un sustituto de las personas—. Sin embargo, también se ha llegado a generar robots que son capaces de actuar de manera independiente, tomando decisiones propias o asumidas por ellos mismos, incluso de nivel superior a las programadas por sus creadores [1].

La robótica es una rama de un conjunto de ingenierías que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por el ser humano o que requieren del uso de inteligencia; las ciencias y tecnologías que la apoyan o de donde se deriva la robótica podrían ser, entre muchas: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica o la informática [2]. Se considera a un robot como un agente autónomo inteligente cuando cumple los siguientes requisitos: que resida el sistema de navegación en la propia máquina, que opere sin conexión física a equipos externos y que cuente inteligencia, refiriéndose a que el robot posee capacidad de razonar hasta el punto de ser capaz de tomar sus propias decisiones y de seleccionar, fusionar e integrar las medidas de sus sensores [3].

A partir de la primera década del presente siglo, la demanda de robots industriales creció considerablemente, esto también se debe —además del crecimiento de las industrias basadas en las ciencias y tecnologías antes mencionadas— a los rápidos avances que ha tenido la robótica en general. Lo anterior puede reflejarse, en este lapso de tiempo, en el extraordinario crecimiento de la demanda de robots industriales en comparación con décadas anteriores; si la tendencia de crecimiento tecnológico se mantiene, así como los datos de la demanda que se ha venido dando en los últimos años, la IFR (International Federation of Robotics) estima que para el 2016 la adquisición de robots subirá un 14 %, y de 2017 a 2019 crecerá un 13 %, dando un total de 413 000 unidades para finales de 2019. Es decir, entre 2016 y 2019 se estima que 1.4 millones de robots industriales nuevos serán instalados en el ámbito mundial [4].

Por todo lo expuesto, con los nuevos avances tecnológicos y las necesidades por satisfacer que surgen con el paso del tiempo, a la par con la evolución de la robótica han ido evolucionando los robots mismos. Se han creado robots de diversas formas, tamaños, tipos y cada uno de ellos es diseñado y desarrollado con propósitos extremadamente diferentes y únicos.

Tomando en cuenta todo lo anterior, se puede indicar que los robots han sido clasificados de diferentes maneras —en la medida en que no hay una taxonomía única—, ya sea por su generación (aparición cronológica), capacidad de acción, arquitectura o tipo de tarea. Para efectos de la presente investigación se enfocará la clasificación por arquitectura y tipo, lo cual coloquialmente se denomina “tipos de robots”. Bajo esta clasificación, los robots que serán descritos a continuación se clasifican en autónomos, polimórficos, rover y colaborativos.

En los autónomos, inicialmente, se tienen los aviones. Un avión no tripulado, como lo indica su nombre, no cuenta con ninguna tripulación humana a bordo, son usados mayormente para aplicaciones militares. El primer registro que se tiene de un robot de esta clase fue al término de la primera guerra mundial y se usó para entrenar a los soldados que manipulaban los cañones antiaéreos; sin embargo, fue hasta la segunda guerra mundial cuando estos empezaron a ser controlados vía radio control. Años más tarde, ya fueron controlados por vía remota y actualmente están programados para realizar algún vuelo predeterminado, lo cual resulta muy útil para trayectos de reconocimiento [5].

Por otra parte, los robots polimórficos son aquellos que pueden cambiar de forma —como la unión de diferentes brazos robóticos— y realizan diferentes tareas; se ocupan con mayor frecuencia en la industria, por lo que se han vuelto imprescindibles para la realización de una gran variedad de tareas complejas, tanto de movimiento y manipulación de objetos como clasificación de estos. La capacidad de las tareas y su complejidad ha hecho que cada vez más empresas enfocadas en la industria de alto nivel se vean atraídas a incorporarlos intensivamente, ya que facilitan el trabajo y a largo plazo resultan en una buena inversión [6].

Los rover están constituidos por ruedas o bandas oruga, lo que los hace capaces de desplazarse por territorios de diferente naturaleza; habitualmente se usan para investigar territorios hostiles donde resultaría peligroso, costoso o incluso imposible hacer que un ser humano accese [7].

En tanto, los robots colaborativos o robots enjambre se asimilan a un concepto de sistemas coordinados basados en agentes, lo cual permite que dos o más agentes sean capaces de interactuar entre sí. El objetivo de este concepto es estudiar y diseñar robots capaces de comunicarse entre ellos mediante patrones preprogramados; asimismo, ser capaces de interactuar no solo con otros agentes sino también con el entorno que los rodea. Esta idea surge al observar el comportamiento basado en patrones que tienen especies de la naturaleza como los insectos, de ahí el nombre “enjambre”. La robótica colaborativa tiene, en consecuencia, diferentes factores que se deben resolver para la correcta realización del trabajo. Los robots colaborativos son entidades virtuales o electrónicas-mecánicas que por distintos medios y protocolos de comunicación pueden intercambiar información entre ellos para actuar de manera conjunta y, en consecuencia, lograr objetivos [8].

Es por lo anterior que los sensores son parte fundamental de los robots colaborativos, estos les dan la capacidad de adquirir información externa pero también les brinda información acerca de ellos mismos. Los diferentes tipos de sensores empleados son los que les permiten a los robots trabajar en conjunto; así, por ejemplo, pueden evitar las colisiones entre ellos. En esa medida, para que se pueda decir que los robots realizan trabajo en colaboración debe existir un intercambio de información entre las plataformas que conforman la comunidad de robots, los cuales se conectarán y tendrán que desempeñar tareas en conjunto. Se puede indicar que el control en el tráfico entre los robots que conforman una comunidad es fundamental, por ello evitar colisiones es una de las tareas principales de los desarrolladores; este problema puede ser resuelto mediante una serie de reglas, prioridades o una arquitectura de comunicación. En otras palabras, se puede hacer la planeación de las trayectorias que va a tomar un robot antes de que ejecute su movimiento, o puede almacenar las distancias entre objetos.

Otra acción que los robots colaborativos pueden realizar es la de manipular objetos entre dos o más agentes. Un ejemplo de ello es cuando hay que mover objetos que son muy pesados o muy grandes para que un solo robot los pueda manipular, este tipo de acciones son más frecuentes y notorias en la industria; por tanto, el levantar diferentes objetos de un lugar es una tarea que también puede realizarse en conjunto, aún más si estas suelen ser peligrosas para las personas —como levantar ácido— o involucran acceder a lugares riesgosos para obtener muestras del suelo o de otro elemento en ese lugar [8].

Una vez que se tienen las bases para hacer actuar un robot como una entidad independiente, capaz de colaborar con un conjunto de robots para desarrollar un trabajo, el siguiente paso es resolver el problema que conlleva el uso de los robots colaborativos.

Algunas de las ventajas de utilizar este tipo de robots pueden asumir varios puntos importantes, un ejemplo es la seguridad. Debido a la cercanía en el espacio común de trabajo que comparten con los humanos, la seguridad es un factor determinante, los robots colaborativos trabajan mano a mano con las personas, por esto son especialmente sensibles en cuanto a la seguridad se refiere. Los cobots (como también se les conoce a los robots colaborativos) tienen como principal característica su peso reducido, cercano a los 11 Kg, con una capacidad de carga de hasta 3 Kg, lo cual permite minimizar las medidas de seguridad ya que se reduce considerablemente el peligro. También son fáciles de configurar gracias a su tamaño reducido y al poco peso que presentan, además de ser capaces de cambiar rápidamente sus tareas dependiendo de la programación establecida, es decir, también poseen facilidad respecto a su programación. En consecuencia, son económicos y ergonómicos, por lo que transforman los ambientes laborales evitando los trabajos de pick and place que suelen ser peligrosos cuando se realizan en presencia de materiales dañinos a la salud y, en general, poco gratificantes [9].

En consecuencia, se hace posible que los robots colaborativos puedan trabajar junto a operarios humanos sin tener que utilizar sistemas de seguridad como los vallados. La actual normativa referente a sistemas de robótica industrial se basa en las normas ISO 10218-1, ISO 10218-2. Y debido a la irrupción de estos nuevos robots se han propiciado nuevas legislaciones como la ISO/TS 15066, emanada de la *Safety of Collaborative Robots*, donde se definen los requisitos de seguridad para robots y aplicaciones colaborativas [10].

Como ejemplo de lo antes mencionado, la empresa danesa Universal Robots ha comercializado un robot llamado UR3, el cual es un robot colaborativo de 11 kilos que puede soportar cargas de hasta tres kilos, pudiendo automatizar procesos que antes no eran posibles debido a sus dimensiones [11].

En América también se han comenzado a incluir estas tecnologías en algunas fábricas. En México, la planta Danone en Irapuato inició con la integración de diecinueve robots colaborativos en veinticinco líneas de producción. El Grupo Kobar ha dado el apoyo a veinticinco organizaciones para la integración de estos

robots a sus líneas de producción. Los principales proveedores a la industria de robots colaborativos en el Bajío son: Kuka Robotics, Universal Robots, Motoman Robots, Fanuc Robotics y ABB [12].

El documento se estructura de la siguiente manera: inicialmente se realiza un breve estado de arte sobre desarrollos sobresalientes, tanto en robótica colaborativa como en la integración tecnológica para tareas de tipo colaborativo; luego se realiza una propuesta de materiales y métodos para una plataforma robótica usando CPLD XC9572 de Xilinx; posteriormente, se muestran los resultados de los módulos implementados y, finalmente, se establecen las conclusiones.

2. Estado del arte

Algunas tecnologías relacionadas con la robótica colaborativa que se han empleado en la actualidad definen varios elementos, entre ellos la miniaturización. La tecnología Kilobot emplea robots más pequeños que una mano, su principal función es orientarse y juntarse con sus líderes, cada robot no puede tener más de un líder y pueden crear diferentes figuras como huesos humanos, así como dirigirse todos a una dirección señalada. Están orientados a ser robots para instituciones educativas. Tiene un costo aproximado de 14 USD cada uno [13].

Por otra parte, existe en la literatura diferentes reportes de investigación como por ejemplo el titulado “World’s Largest Swarm of Miniature Robot Submarines”, el cual indica cómo puede implementarse la robótica colaborativa bajo el agua con submarinos que interactúan entre ellos y realizan diferentes trabajos como búsquedas bajo el agua, y cuando se encuentra lo buscado se dedican a ayudarse [14].

Cabe mencionar también la investigación “AR Drone Helps Swarm of Self-Assembling Robots to Overcome Obstacles”, donde se muestra la forma en que los robots colaborativos, distribuyendo trabajo, cooperan para superar diferentes obstáculos y se implementan drones a través de los cuales pueden ubicarse en su entorno —pues tienen una mejor perspectiva desde el aire—, el dron líder elige qué robots son los mejores para realizar alguna tarea [15].

Por otro lado, en “U.S. Navy Tests Robot Boat Swarm to Overwhelm Enemies” se desarrolla un enfoque para usar robots colaborativos en estrategia militar. El proyecto implementa la robótica colaborativa en grandes barcos de la milicia naval estadounidense para realizar misiones de reconocimiento en zonas difíciles, incluso con la capacidad de enfrentar enemigos y destruirlos.

De esta forma, se reduce drásticamente el riesgo de que los soldados salgan lastimados en algún tipo de enfrentamiento [16].

Finalmente, en “Your Finger on a Tablet can Control Entire Swarm Robots”, se describe e implementa un desarrollo a través del cual se pueden controlar varios robots colaborativos haciendo uso de una tableta, apoyándose también con luces externas de tal forma que los robots son capaces de seguirla y controlar la dirección a la que se dirigen [17].

3. Materiales y métodos

La plataforma robótica presentada en esta investigación está constituida por cuatro módulos: el módulo de sensores, módulo de motores, módulo de comunicación y el módulo de lógica digital empleando CPLD XC9572 de Xilinx. Este CPLD es de alto rendimiento, proporcionando avanzadas capacidades de programación y prueba de sistemas para integración lógica de propósito general. Se compone de 36V18 bloques de función, proporcionando 1600 puertas utilizables con retardos de propagación de 7.5 nanosegundos. Contiene 72 macroceldas con 1600 puertas utilizables y 44 pines, además de requerir para su operación energía mínima [18].

En primer lugar, el módulo de sensores está formado por tres sensores ultrasónicos, los cuales ayudarán a la plataforma a ubicarse en su entorno. El módulo de motores será el encargado de desplazar la plataforma y está conformado por un espejo de corriente y dos motorreductores. El módulo de comunicación está formado por un par de sensores infrarrojos que serán los encargados de enviar y recibir los datos entre los agentes. Este trabajo fue desarrollado con la herramienta ISE (*Integrated Synthesis Environment*), la cual es una herramienta de *software* creada por la empresa Xilinx. Este *software* posee las herramientas y tecnologías que permiten la creación de proyectos basados en lenguajes descriptores de hardware como lo son VHDL y Verilog; asimismo, también posee el soporte para todos los dispositivos lógicos creados por Xilinx [19].

3.1. Módulo del CPLD

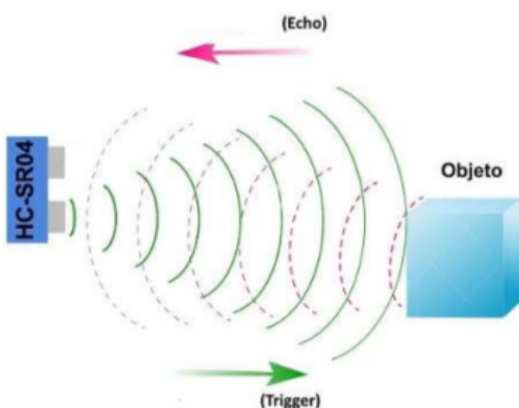
Es la parte principal del robot. Este módulo está conformado por un CPLD programado, siendo el encargado de delegar y activar el funcionamiento de los demás módulos; de la misma forma, se encargará de ejecutar el algoritmo programado. Interactúa con todos los componentes, mandando el pulso necesario a sensores ultrasónicos HC-SR04 para activar su funcionamiento y

Tabla 1: Valores enviados al circuito espejo de corriente.

Caso	Giro del Robot
11	Avanza hacia adelante
01	Gira a la Derecha
10	Gira a la Izquierda
Otros	Frena

Fuente: elaboración propia.

El uso de sensores infrarrojos tiene como objetivo emplear señales de 38 KHz para que puedan ser enviadas con una instrucción necesaria, de esta manera ejecuta el algoritmo programado en el CPLD; además, el algoritmo deberá de ser adecuado para las especificaciones del robot y los datos resultantes serán enviados por los sensores infrarrojos a las demás unidades robóticas.

Figura 3: Funcionamiento de los sensores ultrasónicos.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Módulo de sensores

El módulo de sensores es el encargado de la interacción entre el robot y su alrededor, evitando que el robot colisione con un objeto u otro robot. Consta de tres sensores ultrasónicos HC-SR04, los cuales al recibir el pulso proveniente del CPLD se activan y envían un tren de pulsos. Los pulsos ultrasónicos son reflejados por un objeto y el mismo sensor recibirá dichos pulsos en un tiempo dado, pudiéndose calcular la distancia que existe entre el objeto más próximo y el robot. En caso de que se refleje el tren de pulsos con algún objeto, se vuelve a mandar el tren de pulsos como se muestra en la Figura 3. Cada sensor es activado con un pulso de diez microsegundos como mínimo y un voltaje de cinco voltios, ambos trabajan con una frecuencia de 40 Hz y las dimensiones de cada uno de los sensores son 45*20*15mm. Son capaces de detectar objetos en un

intervalo de cuatro hasta cuatro y medio centímetros [20]. Los diagramas de flujo para estimación de distancias pueden verse en la Figura 4 y la Figura 5.

Este módulo interactúa solamente con el módulo principal, enviando las condiciones necesarias al CPLD para el cálculo de la distancia entre objetos. En la Tabla 2 se observa la tabla lógica del giro de los motores que controla el CPLD.

Tabla 2: Tabla lógica del giro de motores controlada por el CPLD.

Sensor izquierdo	Sensor central	Sensor derecho	Sentido de giro
0	0	0	Avanza
0	0	1	Izquierda
0	1	0	Izquierda
0	1	1	Izquierda
1	0	0	Derecha
1	0	1	Derecha
1	1	0	Derecha
1	1	1	Derecha

Fuente: elaboración propia.

3.3. Módulo de motores

El módulo de motores es el encargado del desplazamiento del robot. La operación está regida por los resultados arrojados por el CPLD y el módulo de sensores, llegando la información al circuito espejo de corriente de acuerdo con su tabla de verdad, haciendo funcionar los motorreductores. Cada uno de los casos se plantea en la Tabla 3.

Tabla 3: Instrucciones de motores recibidas por CPLD.

Motor Izq 1	Motor Izq 2	Motor Der 1	Motor Der 1	Caso
1	0	0	1	11
1	0	1	0	01
0	1	0	1	10
1	1	1	1	Otros

Fuente: elaboración propia.

3.4. Módulo de comunicación

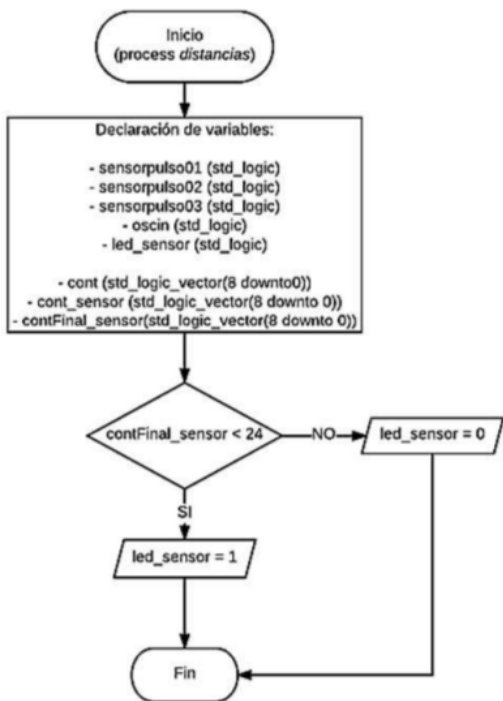
El módulo de comunicación es el encargado de intercambiar información entre los robots colaborativos, además de establecer una comunicación entre las unidades, la información que recibe del emisor infrarrojo proviene del módulo principal. Está conformado por los sensores led infrarrojos y el TSOP 1738, este último es un receptor infrarrojo que contiene tres pines vcc, gnd y output. Su función es interpretar la serie de pulsos de ceros y unos para, posteriormente, enviarlos por su salida

Figura 4: Diagrama de flujo del primer proceso para la estimación de distancias de cada sensor.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5: Diagrama de flujo del segundo proceso para la estimación de las distancias de cada sensor.



Fuente: elaboración propia.

al CPLD y este realice las acciones correspondientes para que las instrucciones recibidas sean ejecutadas [21]. El CPLD ejecuta el algoritmo programado y envía los datos necesarios para la operación del algoritmo colaborativo.

4. Pruebas y resultados

4.1. Resultados del módulo de sensores

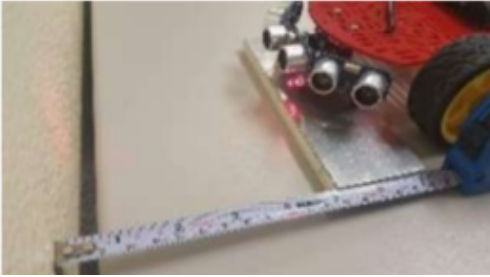
Este módulo compuesto por tres sensores ultrasónicos detecta los objetos frente a él y cada que censan envía un vector al módulo de motores, cuando está a 13 cm de distancia o menos de algún objeto enviará un vector diferente para que el módulo de motores pueda realizar la acción correspondiente (Figura 6 y Figura 7).

Figura 6: Objeto a más de 13cm.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7: Objeto a menos de 13cm.



Fuente: elaboración propia.

4.2. Resultados del módulo de motores

Este módulo compuesto por el espejo de corriente y dos motores, es el encargado de realizar el movimiento del robot dependiendo del vector que le haya sido enviado por el módulo de sensores, teniendo tres posibles casos: avanzar, girar a la izquierda o girar a la derecha, lo anterior con la finalidad de que el robot no choque (Figura 8 y Figura 9).

Figura 8: Antes de detectar el objeto.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9: Después de detectar el objeto.

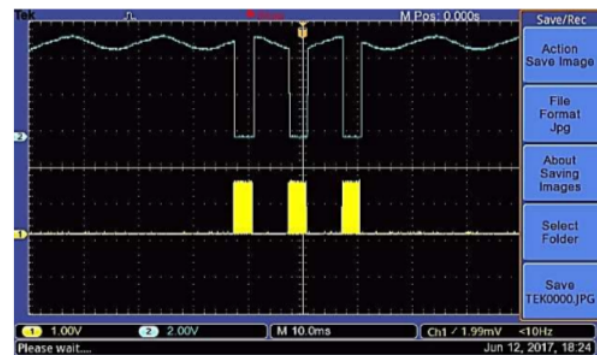


Fuente: elaboración propia.

4.3. Resultados del módulo de comunicación

El módulo de comunicación envía la instrucción de un robot a otro, dicha instrucción va a hacer que el receptor se detenga, lo anterior es posible haciendo que el registro de ocho bits en paralelo se convierta en serie y lo mueva bit por bit del registro para enviar ceros y unos por el infrarrojo a una frecuencia de 38KHz. Para recibir esta señal e interpretarla, el sensor infrarrojo TSOP4838 demodula la señal buscando detectar los flancos de bajada y así poder hacer un conteo de ellos; dependiendo de cuántos flancos se cuenten el robot va a realizar la acción de detenerse, esta instrucción está compuesta por tres flancos en bajo (Figura 10).

Figura 10: Envío (señal amarilla) y recepción (señal azul) de datos.



Fuente: elaboración propia.

4.4. Resultados del Módulo del CPLD

El módulo de CPLD resulta en la integración y visualización de los tres módulos ejecutándose simultáneamente para poder percibir cómo los robots se comportan con la instrucción ejecutándose.

5. Conclusiones

Se llevó a cabo el análisis y diseño de la arquitectura para una plataforma robótica que busca albergar diferentes algoritmos del tipo colaborativo, este prototipo consta de dos plataformas robóticas con sensores ultrasónicos e infrarrojos. La plataforma permitirá al programador crear algoritmos colaborativos para poder hacer que interactúen con otros robots del mismo tipo, siempre y cuando estén adaptados a esta plataforma.

Al llevar a cabo el análisis se definieron las herramientas de *software* y *hardware* que serían utilizadas para el desarrollo del prototipo, también se definieron los módulos que se deben de integrar para el

correcto funcionamiento de la plataforma y se hicieron los diagramas a bloques correspondientes.

La plataforma se desarrolló con el lenguaje de descripción de *hardware* VHDL para controlar todos los dispositivos incorporados dentro del robot, también la forma en la que se envían los datos de un robot a otro con el uso de señales y, finalmente, la estructura de cómo se debe escribir el algoritmo se encuentra apoyada al mismo tiempo en registros en VHDL.

Se realizaron las pruebas pertinentes para comprobar que los módulos estuviesen interactuando entre ellos y, más importante, que lo hicieran correctamente, es decir, realizando la función que debían desempeñar para poder integrar al robot.

6. Reconocimientos

Los autores agradecen a la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido y las facilidades otorgadas para el desarrollo del presente trabajo final de investigación.

Referencias

- [1] E. González, “¿Qué es la robótica?”. [En Línea]. Disponible en: http://www.ctpcalleblancos.com/Que_es_la_Robotica.pdf
- [2] Instituto Tecnológico de Mazatlan, “Programa de estudio: introducción y conceptos de robótica”. [En línea]. Disponible en: <http://www.profesaulosuna.com/data/files/ROBOTICA/CUADROBOTICA/CUADROB01Y2.pdf>
- [3] C. Urdiales “Introducción a la Robótica”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.grupoisis.uma.es/microbot/public/robots.pdf>
- [4] Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots. [En Línea]. Disponible en: http://www.ifr.org/fileadmin/user_upload/downloads/World_Robotics/2016/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2016.pdf
- [5] El economista, “¿Qué son los drones o aviones no tripulados?”. [En Línea]. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/seguridad-publica/2011/03/16/que-son-drones-o-aviones-no-tripulados>
- [6] IDPSA Engineering and Robotics, “Robots Polimórficos”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.idpsa.com/AnthropomorphicRobots.aspx>
- [7] R. Salvador, “Robots Arquitectura y Tipos”. [En Línea]. Disponible en: <http://roboticarm1.blogspot.mx/2007/11/robotica-arquitectura-y-tipos.html>
- [8] D. Floreano and C. Mattiussi, “Bio-inspired artificial intelligence. theories, methods and technologies”, Cambridge: The MIT Press.
- [9] Mekkam, “Robots Colaborativos”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.mekkam.com/robotica-industrial/robots-colaborativos/>
- [10] I. David, “Robots Colaborativos”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/102143-robots-colaborativos>
- [11] L. Montes, “Robots colaborativos para las fábricas de PSA, BMW y Volkswagen”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.elmundo.es/economia/2015/03/26/551306d9ca4741c0368b4570.html>
- [12] A. Contreras, “Robots que trabajan ‘codo a codo’ con personas se usan cada vez más en México”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/bajio/crece-uso-de-robots-colaborativos-en-la-industria-del-bajio.html>
- [13] A. Knapp, “Now you can buy your very own robot swarm”. [En Línea]. Disponible en: <http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2011/11/30/now-you-can-buy-your-very-own-robot-swarm/#1c744f79572f>
- [14] E. Ackerman, “World’s Largest Swarm of Miniature Robot Submarines”. [En Línea]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/worlds-largest-swarm-of-miniature-robot-submarines>
- [15] E. Ackerman, “AR Drone Helps Swarm of Self-Assembling Robots to Overcome Obstacles”. [En Línea]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/iros-2012-ar-drone-helps-swarm-of-self-assembling-robots-to-overcome-obstacles>
- [16] J. Hsu, “U.S. Navy Tests Robot Boat Swarm to Overwhelm Enemies.”. [En Línea]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/us-navy-robot-boat-swarm>

- [17] E. Ackerman, "Your Finger on a Tablet Can Control Entire Swarm Robots". [En Línea] Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/georgia-tech-robot-swarm-control><http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/georgia-tech-robot-swarm-control>
- [18] Xilinx, "XC9572 High Performance CPLD Data Sheet". [En Línea]. Disponible en: https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds057.pdf
- [19] Xilinx, "ISE Design Suit". [En Línea]. Disponible en: <https://www.xilinx.com/products/design-tools/ise-design-suite.html>
- [20] ElecFreaks, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 Data Sheet". [En Línea]. Disponible en: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [21] Vishay, "IR Receiver Modules for Remote Control Systems". [En Línea]. Disponible en: http://www.farnell.com/datasheets/2049301.pdf?_ga=2.127846605.1984218595.1497386198-1910204262.1497386198