

Arreglo de Sensores para Detección de Pelota Infrarroja en RoboCupJunior Soccer

DIEGO GRAJALES, ULISES FLORES, CARLOS GARZA, GUILLERMO OVIEDO y LUIS F. LUPIÁN

Resumen—Se presenta el proceso de diseño y construcción de un circuito para detectar la presencia de una pelota infrarroja modulada a 40 kHz. Este sensor es utilizado como parte de un robot móvil omnidireccional cuya principal función es jugar un partido de fútbol con las reglas de *RoboCupJunior Soccer*. El principal elemento del circuito es un sensor infrarrojo de proximidad del mismo tipo que se utiliza en algunos dispositivos caseros, como televisiones, para interpretar los comandos de un control remoto. El problema que se resuelve en el presente trabajo es detectar la presencia de la pelota alrededor de la periferia del robot, así como estimar la distancia a la que se encuentra la pelota del robot.

I. INTRODUCCIÓN

El equipo de *Cyberlords* de la *Universidad La Salle* cuenta con una selección de alumnos de preparatoria, llamada *Cyberlords Junior*, que se enfoca en el diseño y desarrollo de robots omnidireccionales que puedan jugar un partido de fútbol sobre una cancha de aproximadamente 243 cm × 182 cm como la que se muestra en la Fig. 1. El grupo ha desarrollado robots de este tipo desde hace varios años [1], [2], [3], e inició el desarrollo de nuevos robots en enero del 2016 con nuevos miembros del equipo [4].

Los robots juegan fútbol con reglas establecidas por el comité *RoboCupJunior Soccer* [5]. Dichas reglas están enfocadas a las limitantes actuales de los robots, y cambian constantemente para fomentar un desarrollo general del concurso. Una de las reglas estipula utilizar una pelota que emite luz infrarroja (IR) en forma de pulsos.

El problema específico al que se enfoca el presente artículo de investigación es el desarrollo de un sensor que permita al robot omnidireccional detectar la presencia de la pelota infrarroja alrededor de su periferia, así como estimar la distancia a la que se encuentra de la pelota.

La gran mayoría de los grupos que compiten en *RoboCupJunior Soccer* utilizan un sensor comercial de la empresa HITECHNIC [6] debido a su facilidad de uso. Sin embargo, su limitación principal es que la geometría del robot inevitablemente causa oclusiones de la pelota, lo que lo hace poco confiable. El arreglo de sensores que se presenta en este trabajo pretende proporcionar mucho mejor confiabilidad que

DIEGO GRAJALES, ULISES FLORES y CARLOS GARZA pertenecen a la ESCUELA PREPARATORIA y realizaron el proyecto como parte de sus actividades dentro del equipo *Cyberlords Junior* del Laboratorio de Robótica Móvil y Sistemas Automatizados (Email: goo13m@gmail.com).

El proyecto fue asesorado por GUILLERMO OVIEDO y LUIS F. LUPIÁN. Los autores agradecen a: La Escuela Preparatoria de la Universidad La Salle y a la Comunidad de Padres de Familia por el apoyo recibido para el desarrollo de este proyecto, así como a la Facultad de Ingeniería por facilitar el acceso a las instalaciones de sus Talleres y Laboratorios.



Figura 1: Cancha de *RoboCupJunior Soccer*

el sensor de HITECHNIC, evitando las oclusiones al colocar los elementos de detección en la periferia del robot.

II. DISEÑO GENERAL DE LOS ROBOTS

Para la categoría de *RoboCupJunior Soccer Open*, los miembros actuales del grupo han diseñado y construido cuatro robots omnidireccionales [4]. El término “omnidireccional” se refiere a que el robot se puede mover hacia cualquier dirección sobre una superficie plana. Esto significa que sus movimientos pueden ser hacia adelante, atrás, derecha, izquierda o cualquier otro ángulo en referencia al robot y este desplazamiento se puede realizar además simultáneamente a un giro.

En la Fig. 2 se muestra uno de los robots en el estado en el que se encuentran en junio del 2016. Con respecto al hardware, los cuatro robots tienen el mismo diseño y componentes. Su única diferencia está en el software. La tarea principal de estos robots es jugar fútbol contra otro equipo en partidos de dos contra dos. Estos robots juegan sin ningún control humano, sus decisiones son tomadas con base en la información que captan a través de sus sensores, y tienen su propia fuente de energía para poder jugar de manera autónoma.

El diseño del robot se basa en la forma de un cilindro de varios pisos. El robot consiste de una batería de tipo LiPo de 11.1V, tres motores para su desplazamiento con ruedas omnidireccionales, un motor para la retención de la pelota, tres sensores que detectan el color de la superficie de la cancha, controladores de motores, la placa de alimentación, la CPU del robot (*Arduino Mega 2560*), y una placa de circuito impreso que contiene ocho sensores infrarrojos, del tipo que se usa en aplicaciones de control remoto para dispositivos caseros. Como ya se mencionó, el presente artículo se enfoca precisamente en el desarrollo de esta placa para la detección de la pelota infrarroja.

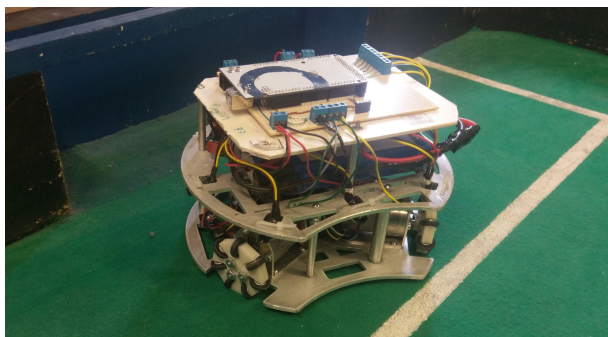


Figura 2: Robot omnidireccional completamente ensamblado

Como se puede observar en la Fig. 2, el robot tiene un frente formado por una concavidad curvada en las placas de aluminio. Esto permite que se pueda ubicar la pelota y sea mejor su manipulación para ser desplazada de un lado a otro y mantenerla junto al robot.

De acuerdo a las reglas establecidas por el comité técnico de la competencia *RoboCupJunior Soccer* [5] la pelota utilizada para los partidos debe tener las siguientes características:

“Pelota emisora de luz infrarroja de una longitud de onda de 920-960 nm, con una onda cuadrada de pulsos con frecuencia de 40 kHz. La pelota deberá tener suficiente brillo, con LEDs que apunten a todas direcciones para disminuir la irregularidad de la salida de luz.”

La Fig. 3 muestra un ejemplo de una pelota infrarroja como las que se usan en *RoboCupJunior Soccer*.



Figura 3: Pelota infrarroja para *RoboCupJunior Soccer* marca HITECHNIC

III. DESARROLLO DEL SENSOR DETECTOR DE PELOTA IR

Para detectar la presencia de la pelota se diseñó y construyó un circuito el cual consiste de los siguientes elementos:

1. un sensor infrarrojo de proximidad,
2. un filtro de una resistencia y un capacitor (RC),
3. un comparador de voltaje en negación, y
4. un LED indicador.

A continuación se describe cada uno de los elementos que integran al circuito.

III-A. Sensor infrarrojo de proximidad

El elemento principal del circuito es un *sensor infrarrojo de proximidad con rango intermedio* (ver Fig. 4) el cual determina la presencia e intensidad de una fuente de luz infrarroja.

De los diferentes sensores capaces de percibir la luz infrarroja se utilizan sensores pasivos. Este tipo de sensores en lugar de emitir y captar luz, como muchos sensores lo hacen, sólo la recibe y manda una señal eléctrica. Esto se da por la razón de que la pelota ya emite luz infrarroja y es innecesario que se emita.

Este sensor tiene las características de operación (respuesta en frecuencia y niveles de voltaje de salida) adecuadas para una implementación sencilla en nuestro circuito.

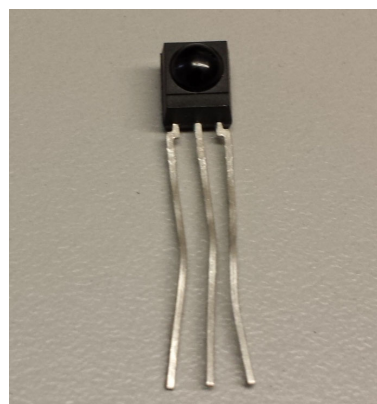


Figura 4: Sensor infrarrojo de proximidad

Es importante mencionar que aún cuando la pelota está en juego, un sensor de luz IR podría detectar la luz de otros dispositivos como focos o la luz del sol. Esto dificulta la detección de si la fuente de luz infrarroja fuera continua.

Se eligió este sensor infrarrojo ya que cuenta con filtros internos que seleccionan ondas de 40 kHz como la especificada para la pelota IR de *RoboCupJunior Soccer*. Esto permite reducir la magnitud de las interferencias causadas por fuentes de luz IR no deseadas, evitando que éstas afecten las decisiones del robot.

El sensor internamente cuenta con diversos componentes (filtros, demoduladores, etc.), y entrega a su salida un pulso digital cuya la duración decrece monotónicamente con respecto a la intensidad percibida de la fuente de luz IR de 40 kHz. Debido a que a su vez, la intensidad decrece monotónicamente conforme aumenta la distancia (en relación cuadrática inversa) esto significa que la duración del pulso crece monotónicamente con respecto a la distancia, lo que permite estimar la distancia a la que se encuentra la pelota. El pulso de salida es generado en un rango de voltajes entre 0 y 5 V.

III-B. Filtro RC

El objetivo de este filtro es promediar la señal de salida del sensor infrarrojo de proximidad. El arreglo tiene una configuración pasa-bajas con una resistencia $R1$ de $5.6\text{ k}\Omega$ y un capacitor $C1$ de 470 nF , que corresponde a una constante de tiempo de 2.6 ms . A la salida de este filtro RC se tendrá un voltaje mayor conforme se aleja la pelota. Esto facilita el procesamiento en la siguiente etapa.

III-C. Comparador de voltaje

Se utiliza un comparador en negación, implementado con el amplificador operacional LM324, para implementar un umbral de detección para la pelota el cual establezca si la pelota se percibe o si no está a la distancia suficiente para tomarla en cuenta.

Esta sección del circuito compara la señal de salida del filtro RC con una constante establecida con un potenciómetro en modo de divisor de voltaje. Si el voltaje de salida del filtro es menor (entre menor sea el voltaje de salida la pelota está más cerca del sensor) al voltaje establecido como umbral por el potenciómetro la salida del comparador será de 3.6 V, y en caso contrario será de 0 V. Es decir, si la pelota está lo suficientemente cerca del sensor, se mandará una señal en alto que se interpreta como un 1 lógico para indicar la presencia de la pelota, si no lo está deja el voltaje de salida en 0 para indicar que la pelota no está presente. Con esto, la computadora del robot sólo necesita procesar señales digitales para determinar la presencia de la pelota. Estas señales entran en el rango TTL.

El umbral que se especificó por medio del potenciómetro es de 3 V. Este umbral resultó ser el que mejor podía discriminar la presencia de la pelota evitando que más de uno de los sensores la captaran al mismo tiempo que se reducía el área de los puntos ciegos.

III-D. Circuito esquemático

El esquemático de la Fig. 5 muestra cómo interactúan los elementos del circuito detector de pelota IR. Se puede decir que este circuito tiene una salida analógica (el nodo entre R1 y C1) que permite estimar distancia y una salida digital (el nodo de salida del comparador) que indica de manera binaria la presencia de la pelota frente al sensor.

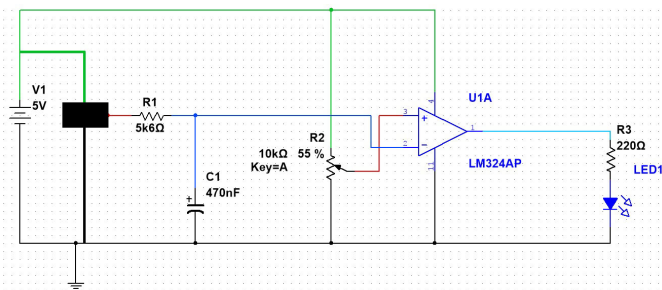


Figura 5: Circuito esquemático para la detección de pelota

El diagrama de bloques de la Fig. 6 muestra de manera esquemática la forma en que fluye la información dentro del circuito. En primer lugar el sensor IR emite un pulso digital con duración variable. Esta señal entra a un filtro RC para convertirla en una señal de voltaje analógico proporcional a la duración del pulso digital. El voltaje analógico del circuito RC es comparado contra un umbral que se especifica por medio de un potenciómetro. Finalmente, la salida del comparador es una señal binaria que indica a la computadora Arduino si la pelota fue detectada o no.

Para comprobar el funcionamiento de la salida del comparador de voltaje se agregó un LED indicador para que encienda

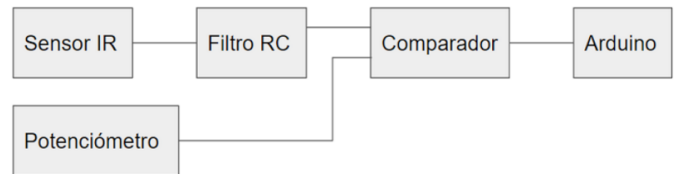


Figura 6: Diagrama de bloques del circuito para la detección de pelota (la información fluye de izquierda a derecha)

en caso de que el sensor detecte la pelota y de esta forma contar con una validación visual de la detección del sensor. Al LED se le colocó una resistencia en serie de $220\ \Omega$ para limitar la corriente.

IV. CONSTRUCCIÓN DEL ARREGLO DE SENSORES

A partir del circuito descrito en la sección anterior se inició la implementación de un sensor para la detección de la presencia de la pelota alrededor del robot.

La presencia de la pelota se refiere a determinar si se encuentra en el rango de lectura del sensor, pero esto no es suficiente para que el robot sea capaz de saber hacia qué dirección se encuentra la pelota y poder dirigirse a ella. Debido a esto se decidió implementar varios sensores con su circuito de interpretación de la señal dedicado, donde cada sensor estará apuntando su línea de visión a distintas direcciones del robot. De esta forma, la dirección de la pelota con respecto al robot se puede determinar dependiendo de cuál sensor detecte la presencia de la pelota. Se decidió colocar ocho sensores en la circunferencia del robot, separados entre sí por un ángulo de 45° , de acuerdo al patrón de distribución que muestra la Fig. 7.

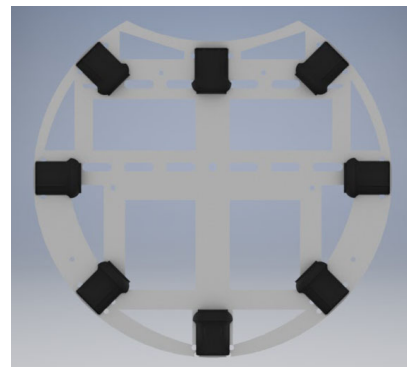


Figura 7: Patrón de distribución de sensores en el robot

Se decidió usar ocho sensores ya que una cantidad mayor de sensores pudiera agregar mayor complejidad al circuito dedicado para el sensado de dirección de la pelota, y una cantidad menor de sensores nos limitaría la cantidad de detalle (resolución) que tendríamos de dicha detección. Es importante hacer énfasis sobre el hecho de que el propósito de estos ocho sensores es determinar de manera aproximada el ángulo al que se encuentra la pelota con respecto al robot. Adicionalmente, se decidió que el sensor que se encuentra en el frente del robot tendrá la funcionalidad de estimar la distancia a la pelota además de la detección de presencia de ésta. El hecho de que

sólo el sensor del frente tenga esta función no representa una limitante debido a que la estrategia de juego del robot hace que en cuanto la pelota se detecte éste gire hasta tenerla al frente, y después avance en la dirección de la pelota hasta que logre capturarla. El avance hacia la pelota prácticamente siempre se realizará cuando la pelota esté en el frente.

Durante las primeras pruebas realizadas al arreglo de los 8 circuitos detectores de presencia de la pelota infrarroja, se pudo apreciar que el campo de visión de cada uno de los sensores infrarrojos era demasiado amplio, ocasionando que varios sensores detectaran la presencia de la pelota aún cuando estos estuvieran apuntando en direcciones distintas. A partir de esta problemática, surgió la idea de implementar a cada sensor infrarrojo un elemento que pueda restringir su campo de visión. Los primeros elementos que se utilizaron para este propósito estaban formados por un cilindro metálico cubierto por papel de aluminio, material que refleja la luz infrarroja. La Fig. 8 muestra un ejemplo del cilindro que se implementó para limitar el campo de visión del sensor y mejorar su direccionalidad.



Figura 8: Cilindro de aluminio para limitar el campo de visión

El cilindro de aluminio en su momento ayudó a reducir el campo de visión de los sensores y dirigirla. Sin embargo, durante las pruebas quedó claro que no fueron la mejor opción, ya que el reflejo causado por el aluminio facilitaba la entrada de luz por varios ángulos de visión no deseados.

V. DESARROLLO DE LA PRIMERA VERSIÓN DEL PCB

Para la placa de circuito impreso (PCB) se utiliza el esquemático descrito en la Subsección III-D, reproduciéndolo una vez por cada uno de los ocho sensores propuestos.

Cada uno de los ocho sensores devuelve una salida digital, es decir si el sensor ve o no la pelota. Se colocó un potenciómetro general para establecer el nivel del umbral a comparar con todos los sensores y que de esta forma no hubiera diferencia alguna en la calibración. Además, el sensor ubicado en el frente del robot devuelve también la señal analógica que sale del circuito RC antes de entrar al comparador. Con dicha señal la computadora principal del robot puede estimar la distancia que existe entre la pelota y el sensor. Las conexiones de los sensores se hicieron a través de conectores MOLEX al igual que la salida de la información y las líneas de alimentación. La Fig. 9 muestra el diseño del PCB así como una fotografía del circuito totalmente ensamblado.

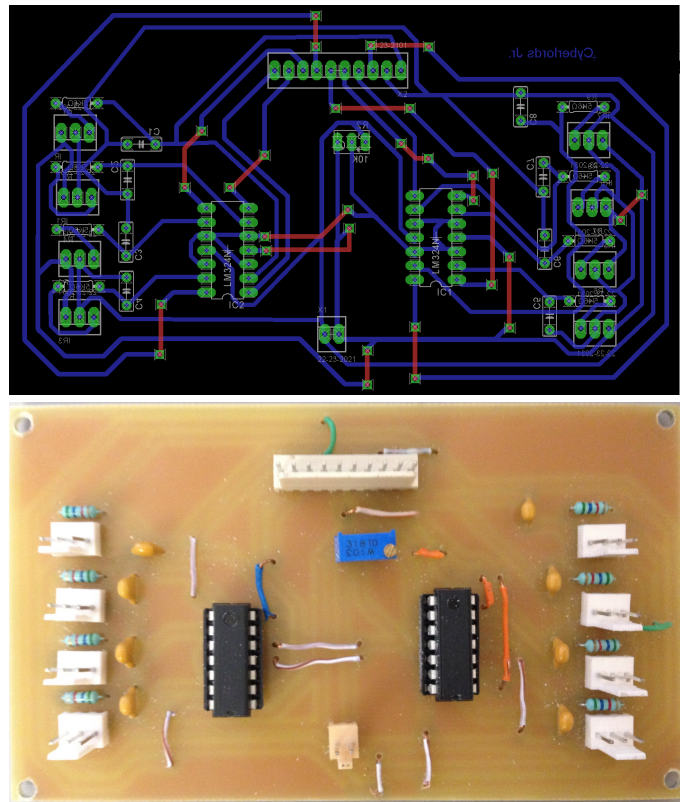


Figura 9: Diseño e implementación del PCB para el arreglo de sensores

VI. EXPERIMENTOS DE ESTIMACIÓN DE DISTANCIA

El sensor colocado al frente del robot tiene la doble función de detectar la presencia de la pelota así como de estimar la distancia a la que se encuentra. Como se explicó anteriormente, el voltaje de salida del filtro RC se incrementa monótonicamente conforme se aleja la pelota. Esto implica que se puede usar una tabla de interpolación para estimar la distancia a la que se encuentra la pelota a partir del voltaje analógico de salida del circuito.

Se realizaron experimentos de medición de voltaje analógico de salida como función de la distancia de la pelota al sensor. En estos experimentos se utilizaron dos tipos de sensores distintos, a los cuales nos referimos como *sensor viejo* y *sensor nuevo*. Como medio de validación de las mediciones, en cada caso se usaron dos sensores del tipo correspondiente, generando un conjunto de lecturas para cada uno de los sensores.

En las Figs. 10 y 11, que muestran los resultados de las mediciones en estos experimentos, se puede apreciar la relación que hay entre el voltaje de salida del filtro RC y la distancia de la pelota al sensor. En el *sensor viejo* se lograba un mejor alcance además de presentar una función más lineal, mientras que en el *sensor nuevo* su lectura aparentaba no ser monótonica. Por esta razón la implementación final del arreglo de sensores utiliza el *sensor viejo*.

Es importante que el voltaje y la distancia sean monótonicos entre sí para que a cada voltaje le equivalga una y sólo una distancia. Esto facilita la programación de una función capaz

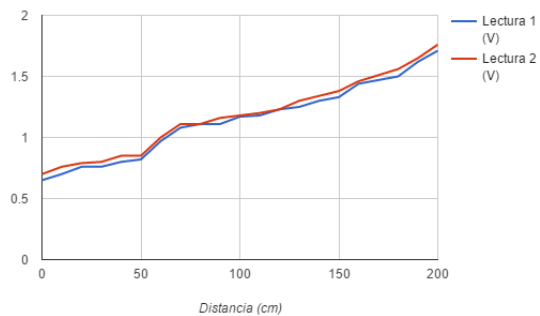


Figura 10: Voltaje vs. distancia (sensor viejo)

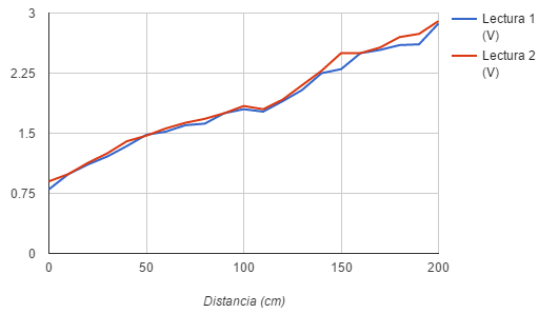


Figura 11: Voltaje vs. distancia (sensor nuevo)

de calcular la distancia a partir del voltaje entregado por el sensor.

VII. TRABAJO FUTURO

Al probar la primera versión del circuito se encontraron las siguientes oportunidades de mejora:

- Los conectores que se utilizaban creaban muchos falsos contactos al conectarse con la placa, ocasionando que los sensores no captaran la información o no poderla mandar. Los mismos conectores MOLEX eran un problema cuando se necesitaba un remplazo de sensor, porque al ser tan largos los cables se entrelazan entre ellos.
- Los cables utilizados para enviar los datos de la placa al CPU eran demasiados cuando sólo es necesario que un sensor la capture. Así mismo, se pudo observar que todavía había casos donde dos o más sensores captaban la pelota, lo que significaba que reflejar la luz no era muy buena idea. Muchas veces funcionaba bien pero en otras se comprobó que reflejaba por dentro provocando que varios sensores captaran la presencia de la pelota.
- La estimación de distancia basada en el voltaje analógico de salida no era uniforme en todos los modelos del sensor infrarrojo. En el primer modelo utilizado se lograba un mejor alcance, y en el segundo estaba más limitado su alcance, además de que su lectura aparentaba no ser monótona.

A partir de las oportunidades de mejora previamente mencionadas para la primera versión del circuito detector de pelota, se plantearon las soluciones que se detallan en las siguientes subsecciones.

VII-A. Mejorar direccionalidad de sensores infrarrojos

Se tuvo la idea de que en vez de reflejar la luz para evitar complicaciones sería mejor aislar al sensor completamente con la excepción de una ranura por donde éste sería capaz de detectar. Se compararon varios materiales, como tubos de PVC, polietileno, distintos tipos de mangueras, entre otros, para observar cuál era aquel que aislaba mejor la luz en general. Se comprobó que con un tipo grueso de manguera negra la cantidad de luz que lo atravesaba desde direcciones no deseadas era casi nula, mejorando de esta forma la direccionalidad. En la Fig. 12 se puede apreciar el resultado de usar la manguera negra para aislar el sensor.

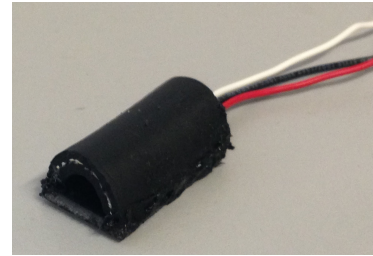


Figura 12: Manguera para limitar el campo de visión

El uso de la manguera negra para limitar el campo de visión nos dio un gran avance hacia comprobar si la pelota efectivamente estaba en la zona del sensor. La Tabla I muestra una comparación de los campos de visión tanto para la manguera negra como para el cilindro plateado usando tres voltajes de umbral distintos. En esta tabla se puede ver claramente que la direccionalidad de la detección es mucho mejor en el caso de la manguera negra. Para los propósitos de esta tabla, el campo de visión se define como el rango de ángulos que se puede desplazar el centro de la pelota infrarroja frente al eje del sensor y seguir siendo detectada a una distancia de 15 cm, como lo muestra la Fig. 13.

Tabla I: Comparación de campo de visión

Voltaje de umbral	Ángulo del campo de visión	
	Manguera negra	Cilindro plateado
2.69 V	45°	180°
2 V	40°	140°
1.21 V	25°	45°

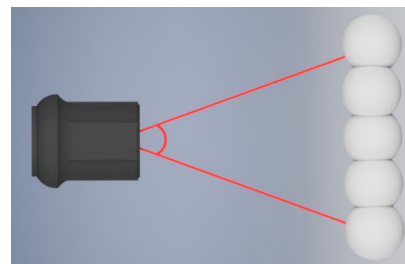


Figura 13: Campo de visión del sensor infrarrojo

Otra mejora relacionada fue colocar un conector MOLEX en la parte trasera del sensor, en lugar de conectarlo a la placa.

Esto reduce los falsos contactos y da una mayor facilidad en el reemplazo.

VII-B. Codificador para reducir número de líneas

En la primera versión del PCB había una línea digital de salida por cada uno de los ocho sensores. Sin embargo, bajo una operación normal sólo una de las líneas deberá indicar un 1 lógico, correspondiente al único sensor que sí detecta la pelota), y todas las demás deberán indicar 0. Por ejemplo, digamos que el sensor del frente (sensor número 1) detecta la luz, en ese caso el PCB original enviará líneas de 00000001, ocho dígitos binarios, uno por cada sensor, y por lo mismo uno por cada cable. Si la pelota estuviera detrás del robot (sensor número 5) la información se transmitirá en líneas de 00010000. Estos ejemplos dejan ver que se están utilizando demasiados bits cuando se pueden usar todavía menos. Para que sean menos datos, se propone usar un codificador que reducirá el número de líneas. Dado que cuando mucho habrá uno de los sensores a la vez que detecte la pelota existen nueve casos posibles, lo cual se puede codificar con sólo cuatro dígitos binarios, y en consecuencia cuatro líneas digitales de salida del arreglo de sensores.

VII-C. Sensor radial para estimar distancia

En experimentos previos se pudo determinar que con cualquiera de los cilindros que limitan el campo de visión del sensor (cilindro de aluminio o manguera), la lectura de la distancia de la pelota infrarroja, basada en la señal analógica de salida del circuito RC, asume que la pelota está exactamente frente al sensor, pero si no es así entonces la estimación de distancia deja de ser confiable.

Debido a esto, se está considerando el uso de un sensor adicional sin ninguna clase de cilindro que limite el campo de visión y que se encuentre al frente del robot. Este sensor solo lo estaremos conectando al circuito RC, ya que solo será encargado de detectar la distancia a la pelota. De esta forma, la programación del robot podrá hacer que se mueva hasta que el sensor de presencia del frente detecte la pelota, y después acercarse a ésta basándose en la lectura del sensor radial.

VII-D. Umbral de detección dinámico

Durante las pruebas de la primera versión del circuito de detección de pelota infrarroja, se pudo apreciar que se presentaban los siguientes dos casos:

- En algunas ocasiones el robot no detectaba la presencia de la pelota en ninguno de los sensores, a pesar de que la pelota estaba en la cancha
- El robot detectaba en más de un sensor la presencia de la pelota, ya que algunas veces la luz infrarroja rebota en las paredes de la cancha, reflejándose en sensores de presencia de otra dirección

La limitante que causa este problema es el umbral establecido en el potenciómetro trabajando como divisor de voltaje. Al ser un valor fijo, se cae en el riesgo de que el valor quede demasiado corto y sólo detecte la pelota cuando esté muy

cerca, o que el umbral quede demasiado amplio, que llegue a detectar la pelota en varios sensores de presencia.

Para resolver este problema se tuvo la idea de sustituir el circuito divisor de voltaje para establecer el umbral, y utilizar una salida analógica programable de la computadora principal, la cual permitirá variar de forma dinámica el umbral, condicionando su comportamiento hasta que se detecte la pelota en un solo sensor de presencia, reduciendo el umbral si es que varios sensores de presencia la están detectando, y ampliando el umbral si es que ningún sensor de presencia la detecta.

VIII. CONCLUSIONES

A partir de la información presentada en este documento, se puede concluir que la primera versión del circuito detector cumplió con el principal objetivo de este proyecto que es “detectar la presencia de la pelota infrarroja en la periferia del robot así como estimar la distancia a la pelota”, y también dió pauta para implementar mejoras en su diseño, mismas que se describen en las secciones anteriores.

Una de las restricciones que pueden causar la limitación de la direccionalidad es que se puedan presentar puntos ciegos entre los sensores. Esto será solucionado en parte por medio de un “umbral de detección dinámico”, que se describe en la sección de *Trabajo futuro*. Adicionalmente, cuando la pelota quede en un punto ciego entonces por medio de programación se moverá el robot para que pueda observar de nuevo la pelota.

Actualmente ya se está trabajando en dichas mejoras, con los principales objetivos de mejorar la lectura y detección de la pelota, robustez del circuito, y facilidad de lectura desde la computadora principal del robot.

Esperamos también que nuestras ideas ayuden a los otros equipos participantes de *RoboCupJunior* y que les sirvan de apoyo para la elaboración de sus robots.

REFERENCIAS

- [1] A. A. Hidalgo Valadez, O. Nelson Hernández, F. Chávez Riquelme, G. Oviedo Ortiz, M. Castro Rodríguez, K. Furlong Arellano, I. Sanz Trejo, J. Darío Rico, M. González Becerra, and C. I. Jiménez Garza, “Robots Móviles Omnidireccionales del Equipo Cyberlords Junior para RoboCup Junior Soccer,” in *IEEE Latin American Robotics Competition 2009*, Valparaíso, Chile, Oct. 2009.
- [2] A. A. Hidalgo Valadez, O. Nelson Hernández, F. Chávez Riquelme, G. Oviedo Ortiz, M. Castro Rodríguez, C. I. Jiménez Garza, K. Furlong Arellano, I. Sanz Trejo, J. D. Darío Rico, J. Martínez, R. Morales, and J. R. Rabadán Martín, “Omnidirectional Mobile Robots from Team Cyberlords Junior for RoboCup Junior Soccer 2010,” in *IEEE Latin American Robotics Competition 2010*, São Bernardo do Campo, Brazil, Oct. 2010.
- [3] D. J. Martínez, G. Oviedo, F. Chávez Riquelme, A. Sanz, J. F. Fierro, M. P. Ehrlich, M. Domínguez, A. Armenta, J. R. Rabadán, and L. F. Lupián, “Cyberlords Jr. LARC 2012 RoboCup Junior Soccer Team Description Paper,” in *IEEE Latin American Robotics Competition 2012*, Fortaleza, Brazil, Oct. 2012.
- [4] I. González, T. Díaz, D. Grajales, C. Garza, U. Flores, L. González, L. Sánchez, B. Casabal, S. Rodríguez, R. Rodríguez, G. Oviedo, and L. F. Lupián, “Design and Manufacturing Process of the Omnidirectional Mobile Robots of Team Cyberlords Junior La Salle,” in *IEEE Latin American Robotics Competition 2016*. Recife, Brazil: IEEE, Oct. 2016.
- [5] P. Manns, G. Spina, K. Masaoka, J. Riley, M. Šuppa, and N. de la Riva Iriepa, *RoboCupJunior Soccer Rules 2016*, RoboCupJunior Soccer Technical Committee.
- [6] Hitechnic, “NXT IRSeeker V2,” Publicación electrónica: www.hitechnic.com/cgi-bin/commerce.cgi?preadd=actionkey=NSK1042 Consultada 2016/09/28.