

Práctica 6:

SEGUIDOR DE LÍNEA

Prof. Rubén Galicia Mejía

Equipo:

Los Pingüinos de Madagascar

Integrantes:

- Ayala Fuentes Sunem Gizeht
- Dávila de Jesús Sandro Armando
- García García Francisco
- Guevara Badillo Areli Alejandra

Fecha de realización:

Lunes, 3 de Junio de 2024

Fecha de entrega:

Lunes, 10 de Junio de 2024

MATERIALES

- 2 motores de corriente continua
- 1 controlador de motores
- 2 sensores infrarrojos (IR) reflectivos
- Baterías recargables
- Regulador de voltaje
- Placa de pruebas (protoboard)
- Cables y conectores
- Ruedas y soportes para los motores y sensores
- Placa o base para montar la FPGA
- Controlador de motores

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la robótica y la electrónica, los coches seguidores de línea representan un ejemplo fundamental y práctico del uso de sensores y controladores para la navegación autónoma. Estos robots son capaces de detectar y seguir una línea trazada en el suelo, utilizando una combinación de sensores, lógica de control y actuadores.

El objetivo principal de esta práctica es diseñar y construir un coche seguidor de línea utilizando una FPGA. Las FPGAs son dispositivos semiconductores que pueden ser programados para realizar tareas específicas mediante el uso de lenguajes de descripción de hardware como VHDL. A diferencia de los microcontroladores tradicionales, las FPGAs ofrecen una mayor flexibilidad y capacidad de procesamiento paralelo, lo que las hace ideales para aplicaciones en tiempo real como el seguimiento de líneas.

MARCO TEÓRICO

Los robots seguidores de línea son unos de los robots más ampliamente conocidos. Esto en gran medida gracias a las competencias que se llevaban a cabo tanto en las escuelas como a nivel internacional. Sin embargo, este tipo de robots tienen otras áreas de aplicación diferentes a la educativa. Una de estas áreas de aplicación es la industria, donde son ampliamente utilizados. También, son utilizados en la investigación y en el entretenimiento. Es por esto, entre otras cosas, que este tipo de robots son un tema interesante para el público en general.

Este tipo de robots se pueden describir como un móvil capaz de desplazarse en un área de trabajo sobre la cual se encuentra una línea de un color diferente al piso. Para detectar esta línea el robot se ayuda de sensores. Dependiendo de la tarea a realizar y la complejidad del recorrido se utilizaran más o menos sensores para lograr el recorrido. La línea que se encuentra marcada en el piso es el camino que debe de seguir el robot. Una ilustración de un robot seguidor de línea se muestra en la Ilustración 1.

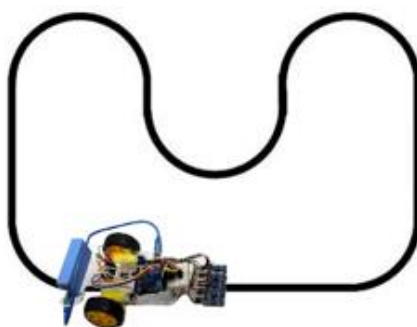


Ilustración 1. Robot seguidor de línea

Características generales de los robots seguidores de línea

Los robots seguidores de línea son robots sencillos. Estos robots tienen, por lo general, que cumplir una sola tarea, la cual es seguir una línea marcada en el piso. Normalmente, esta línea es de color negro con un fondo blanco. Para lograr esta tarea los robots seguidores de línea utilizan sensores, los cuales interactúan con la unidad de procesamiento. A continuación, se describen de forma general las diferentes partes que componen un robot seguidor de línea básico como el que se muestra en la Fig. 2.

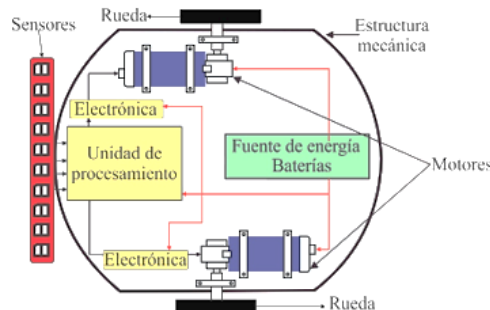
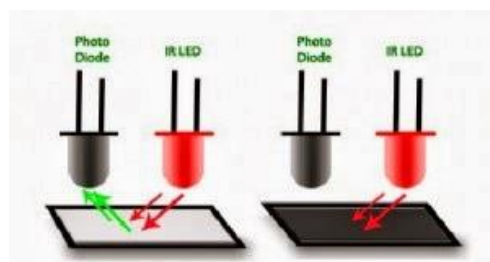


Ilustración 2. Estructura de un robot seguidor de línea básico.

- **Estructura mecánica:** Sobre este elemento se colocan los motores, los sensores, las baterías y la electrónica necesaria para que funcione el robot.
- **Sensores:** Un robot seguidor de línea detecta la línea con ayuda de sensores. Existen diferentes tipos de sensores que pueden ayudar a realizar esta tarea. Los sensores más usados son los sensores infrarrojos (IR). Esto es debido a su bajo costo y fácil implementación.

Emite una pequeña señal infrarroja que será "rebotada o absorbida" dependiendo de la base (fondo blanco o línea negra) y ésta será detectada por el fototransistor (Ilustración 3).



Sensor	C
Color Blanco	0
Color Negro	1

Ilustración 3. Funcionamiento del sensor IR

- **Motores:** Los movimientos del robot se logran con ayuda de los motores. Existen diferentes tipos de motores para este fin, por ejemplo: motores de corriente continua (CD), motores paso a paso y servomotores. Dentro de estos tipos de motores, los más usados para estos robots son los motores de CD. Esto, principalmente es debido a que son más fáciles de manipular en comparación con los otros tipos.
- **Ruedas:** Las ruedas se encuentran unidas a los motores. Dentro de las ruedas existen las ruedas con tracción y las ruedas de soporte. Las ruedas de tracción son aquellas que transmiten movimiento al robot con ayuda de los motores. Mientras que, las ruedas de soporte no transmiten ningún movimiento y solo sirven como soporte y para brindar estabilidad al robot.
- **Fuente de energía:** La fuente de energía suministra la energía a los diferentes elementos electrónicos del robot para que este funcione. El tiempo de funcionamiento del robot dependerá del tipo y capacidad de baterías que se utilicen.
- **Electrónica:** La electrónica son todos los componentes electrónicos que permiten el funcionamiento del robot. Algunos de estos componentes son (puede variar dependiendo del tipo de robot): resistencias, capacitores, reguladores de voltaje, circuito puente H, etc.

- **Unidad de procesamiento:** Esta es la parte más importante del robot, podríamos considerarla como su cerebro. La unidad de procesamiento está a cargo de procesar la información proveniente de los sensores, con base en esta información toma decisiones para dirigir los movimientos del robot. Para tener control sobre los movimientos del robot, la unidad de procesamiento envía información a los motores para indicarles si deben girar en un sentido o en otro.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El desarrollo práctico de un coche seguidor de línea con una FPGA implica dos componentes esenciales: la implementación de la lógica de control mediante código en VHDL y el ensamblaje físico del robot. En esta sección, detallaremos los pasos necesarios para ambas partes, asegurando que al final del proceso el coche pueda seguir una línea de manera autónoma y eficiente.

Desarrollo del código en VHDL

La primera fase del desarrollo se centra en la creación del código en VHDL que permitirá a la FPGA procesar las señales de los sensores infrarrojos y controlar los motores del coche. Utilizando VHDL, describiremos el comportamiento del sistema de control, definiendo cómo la FPGA debe reaccionar a las entradas de los sensores para ajustar la velocidad y dirección de los motores.

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;

entity line_follower is
    port(
        CLK : in std_logic;           -- Reloj del sistema
        SENSOR_LEFT : in std_logic;   -- Sensor infrarrojo izquierdo
        SENSOR_RIGHT : in std_logic;  -- Sensor infrarrojo derecho
        MOTOR_LEFT_FORWARD : out std_logic; -- Motor izquierdo hacia adelante
        MOTOR_LEFT_BACKWARD : out std_logic; -- Motor izquierdo hacia atrás
        MOTOR_RIGHT_FORWARD : out std_logic; -- Motor derecho hacia adelante
        MOTOR_RIGHT_BACKWARD : out std_logic; -- Motor derecho hacia atrás
    );
end entity line_follower;
```

La entidad line_follower define los puertos de entrada y salida del módulo:

- CLK: Entrada del reloj del sistema.
- SENSOR_LEFT y SENSOR_RIGHT: Entradas de los sensores infrarrojos izquierdo y derecho.
- MOTOR_LEFT_FORWARD y MOTOR_LEFT_BACKWARD: Salidas para controlar el motor izquierdo.
- MOTOR_RIGHT_FORWARD y MOTOR_RIGHT_BACKWARD: Salidas para controlar el motor derecho.

```
architecture Behavioral of line_follower is
begin
    process(CLK)
    begin
        if rising_edge(CLK) then
            -- Inicializar las salidas de los motores
            MOTOR_LEFT_FORWARD <= '0';
            MOTOR_LEFT_BACKWARD <= '0';
            MOTOR_RIGHT_FORWARD <= '0';
            MOTOR_RIGHT_BACKWARD <= '0';
        end if;
    end process;
end architecture;
```

La arquitectura Behavioral contiene el proceso principal que se ejecuta en cada flanco ascendente del reloj (`rising_edge(CLK)`). Inicializa las salidas de los motores a 0 (apagadas).

```
-- Ambos sensores detectan la línea (ir hacia adelante)
if SENSOR_LEFT = '1' and SENSOR_RIGHT = '1' then
    MOTOR_LEFT_FORWARD <= '1';
    MOTOR_LEFT_BACKWARD <= '0';
    MOTOR_RIGHT_FORWARD <= '1';
    MOTOR_RIGHT_BACKWARD <= '0';
```

Si ambos sensores detectan la línea (`SENSOR_LEFT = '1'` y `SENSOR_RIGHT = '1'`), el coche avanza hacia adelante. Los motores izquierdo y derecho se activan hacia adelante (`MOTOR_LEFT_FORWARD` y `MOTOR_RIGHT_FORWARD` se ponen a 1).

```
-- Solo el sensor izquierdo detecta la línea (girar a la izquierda)
elsif SENSOR_LEFT = '1' and SENSOR_RIGHT = '0' then
    MOTOR_LEFT_FORWARD <= '0';
    MOTOR_LEFT_BACKWARD <= '0';
    MOTOR_RIGHT_FORWARD <= '1';
    MOTOR_RIGHT_BACKWARD <= '0';
```

Si solo el sensor izquierdo detecta la línea (`SENSOR_LEFT = '1'` y `SENSOR_RIGHT = '0'`), el coche gira a la izquierda. Solo el motor derecho avanza (`MOTOR_RIGHT_FORWARD` se pone a 1).

```
-- Solo el sensor derecho detecta la línea (girar a la derecha)
elsif SENSOR_LEFT = '0' and SENSOR_RIGHT = '1' then
    MOTOR_LEFT_FORWARD <= '1';
    MOTOR_LEFT_BACKWARD <= '0';
    MOTOR_RIGHT_FORWARD <= '0';
    MOTOR_RIGHT_BACKWARD <= '0';
```

Si solo el sensor derecho detecta la línea (`SENSOR_LEFT = '0'` y `SENSOR_RIGHT = '1'`), el coche gira a la derecha. Solo el motor izquierdo avanza (`MOTOR_LEFT_FORWARD` se pone a 1).

```
-- Ningún sensor detecta la línea (parar)
else
    MOTOR_LEFT_FORWARD <= '0';
    MOTOR_LEFT_BACKWARD <= '0';
    MOTOR_RIGHT_FORWARD <= '0';
    MOTOR_RIGHT_BACKWARD <= '0';
end if;
end if;
end process;
end architecture Behavioral;
```

Si ninguno de los sensores detecta la línea (`SENSOR_LEFT = '0'` y `SENSOR_RIGHT = '0'`), el coche se detiene. Todas las salidas de los motores se ponen a 0.

Ensamblado del circuito y Funcionamiento

El ensamblaje de un coche seguidor de línea utilizando una FPGA y el código VHDL proporcionado implica la integración de varios componentes electrónicos y mecánicos para crear un sistema robótico funcional. Este proceso incluye la conexión de sensores, motores y la FPGA, así como el montaje de estos componentes en un chasis adecuado.

El ensamblaje del coche seguidor de línea comenzó con la preparación del chasis. Para este proyecto, seleccionamos un chasis adecuado que tenía suficiente espacio y soporte para los motores, la FPGA y los sensores (Ilustración 5). Aseguramos firmemente los motores de corriente continua al chasis utilizando tornillos y soportes específicos. Las ruedas se conectaron a los ejes de los motores, asegurando un movimiento estable y preciso.



Ilustración 4. Diseño y montaje de los componentes del seguidor de línea.

Luego, colocamos estratégicamente los sensores infrarrojos en la parte frontal del chasis, a una distancia adecuada del suelo para detectar correctamente la línea a seguir. Conectamos estos sensores a la FPGA, configurando los pines de entrada correspondientes para recibir las señales de detección.

A continuación, montamos el controlador de motores en el chasis, utilizando una placa de pruebas para facilitar las conexiones. Cableamos los motores al controlador, asegurando que las señales de control de la FPGA llegaran correctamente a los motores. Los pines de salida de la FPGA se conectaron a los pines de control del controlador de motores, permitiendo que la lógica VHDL controlara los movimientos del coche.

Para alimentar el sistema, instalamos las baterías en un compartimento seguro dentro del chasis. Conectamos las baterías a la FPGA y al controlador de motores, garantizando que la tensión y corriente suministradas fueran adecuadas para el funcionamiento de todos los componentes. Utilizamos un regulador de voltaje para proteger los circuitos sensibles.

Finalmente, cargamos el código VHDL en la FPGA utilizando el software de desarrollo adecuado. Realizamos pruebas iniciales en un circuito de prueba, verificando que los sensores detectaran la línea y los motores respondieran correctamente. Durante esta fase, ajustamos la posición de los sensores y calibramos la lógica de control para optimizar el rendimiento del coche seguidor de línea.

El resultado fue un coche seguidor de línea completamente ensamblado y funcional, capaz de seguir una línea trazada en el suelo de manera autónoma, gracias a la integración efectiva de hardware y software en la FPGA como se muestra en la Ilustración 5.

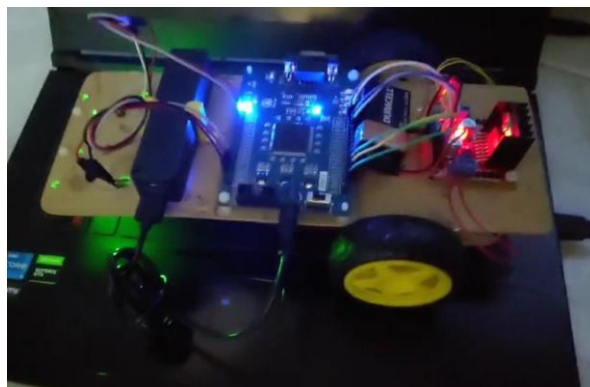


Ilustración 5. Seguidor de línea ensamblado.

Video del funcionamiento del seguidor de línea:

<https://drive.google.com/file/d/1SBSSMDPJBqjrAzhofHtfeMGxsAXEzAo5/view?usp=sharing>

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES 1 (Ayala Fuentes Sunem Gizeth)

La práctica de construir un coche seguidor de línea utilizando una FPGA fue extremadamente enriquecedora. Nos permitió comprender en profundidad cómo interactúan los sensores y actuadores con la lógica programada en la FPGA. La experiencia práctica de ensamblar y calibrar el coche fue fundamental para consolidar los conocimientos en electrónica y programación en VHDL. Durante el proceso, enfrentamos varios desafíos técnicos, como la correcta alineación de los sensores y la sincronización de los motores. Estos retos nos obligaron a profundizar en la teoría detrás de los sistemas de control y en el diseño de hardware, lo que sin duda amplió mi comprensión y habilidades en estas áreas. Además, el éxito final del proyecto nos ha dado una mayor confianza para abordar y resolver problemas complejos de ingeniería.

CONCLUSIONES 2 (Dávila de Jesús Sandro Armando)

Trabajar en este proyecto ayudó a desarrollar habilidades prácticas en el uso de FPGAs y a entender mejor la programación en VHDL. Además, pude apreciar la importancia de la integración de hardware y software para crear sistemas autónomos eficientes. Ver el coche seguir la línea correctamente después de varios ajustes fue muy gratificante. Uno de los aspectos más reveladores fue cómo pequeñas modificaciones en el código o en la posición de los sensores podían tener un gran impacto en el rendimiento del coche. Esta experiencia me enseñó la importancia de la iteración y la mejora continua en los proyectos de ingeniería. También me permitió trabajar en equipo, compartir ideas y soluciones, lo cual fue crucial para superar los obstáculos y completar el proyecto con éxito.

CONCLUSIONES 3 (García García Francisco)

Esta práctica fue un excelente ejercicio para aplicar teoría en un proyecto real. La parte más desafiante fue la calibración de los sensores y la optimización del código VHDL para asegurar una respuesta rápida y precisa. Sin embargo, superamos estos desafíos con trabajo en equipo y perseverancia, logrando un coche seguidor de línea que funcionó de manera efectiva. Durante el proyecto, tuve la oportunidad de mejorar mis habilidades en la depuración y optimización de código, así como en la gestión de proyectos. La experiencia me permitió ver de primera mano cómo los principios teóricos que aprendemos en clase se aplican en situaciones del mundo real, y cómo la colaboración y la comunicación son esenciales para el éxito en proyectos de ingeniería complejos.

CONCLUSIONES 4 (Guevara Badillo Areli Alejandra)

La construcción del coche seguidor de línea me permitió aprender sobre la importancia de la precisión en la programación y el ensamblaje de componentes electrónicos. Cada etapa del proyecto, desde la conexión de los motores hasta la carga del código en la FPGA, requirió atención al detalle. Esta experiencia me ha preparado mejor para futuros proyectos en robótica y automatización. Además, me permitió desarrollar una mayor comprensión de cómo los sistemas de control pueden ser diseñados y optimizados para diferentes condiciones y entornos. El proceso de prueba y error fue invaluable, ya que me enseñó a identificar rápidamente problemas y a implementar soluciones efectivas. Este proyecto también destacó la importancia de la documentación y el mantenimiento de registros precisos, que son esenciales para el éxito a largo plazo en cualquier proyecto de ingeniería.

BIBLIOGRAFÍAS

- Araceli. (n.d.). Robots Seguidores de Línea: Generalidades. Recuperado de <https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/813-cyt-numero-72/1677-robots-seguidores-de-linea-generalidades>
- Ortiz, A, M. (2015). ROBÓTICA PARA SEGUIMIENTO DE LÍNEAS. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97322/PFC%20David%20Ortiz%20Mart%C3%ADnez.pdf>
- Diseño de un “Robot seguidor de líneas” utilizando circuitos combinacionales. (n.d.). Recuperado de <https://aerobotclubderoboticadeaeronuticos.blogspot.com/2013/10/disenio-de-un-robot-seguidor-de-lineas.html>
- Kruger. (n.d.). Seguidor de línea: El nuevo robot de la industria retail. Recuperado de <https://blog.krugercorp.com/krugeroled/blog-innovacion/seguidor-de-linea-retail>