Universidad de Guadalajara

Proyecto

Implementación de Visión Artificial

Muñoz Nuñez Ian Emmanuel

Visión Robótica

1. Introducción

En este proyecto se desarrollará el seguimiento de algún color usando técnicas, métodos y herramientas para el procesamiento de imágenes que nos ayuden a detectar el color deseado en la imagen. Para este proyecto se usaron servomotores *SG90* controlados desde una tarjeta *Arduino Uno*, y esta tiene una conexión serial con la computadora, la cuál recibe las imágenes de una cámara web externa.

Para desarrollar el proyecto se seleccionó el lenguaje de programación *Python* pues se considero más ligero y rápido en comparación a *MatLab*, además, *Python* tiene muchas herramientas que nos ayudarán con el procesamiento de las imágenes obtenidas y con la conexión serial con la *Arduino*, el procesamiento de las imágenes y la conexión serial son muy ligeras y rápidas, con lo que se obtuvo un comportamiento del sistema muy bueno.

2. Objetivo

En este proyecto se espera lograr tener un prototipo mínimamente funcional empleando una cámara web que se pueda sentar en una base con dos servos, estos servos se encargarán de corregir la orientación de la cámara para mantener el centroide de un objeto de color lo más en el centro posible de la imagen.

Las imágenes obtenidas por la cámara se usarán para aplicar filtros que pueden detectar un color, aunque también se aplicará ruido a estas imágenes y se usará otro filtro para tratar de minimizar ese ruido lo más posible, luego de realizar todo esto se tiene pensado obtener el centroide del objeto y calculando errores y ángulos enviar esta información por conexión serial.

En resumen, los objetivos que se desean son:

- Capturar imágenes de una cámara web externa que pueda moverse con los servos.
- Aplicar ruido mediante software a las imágenes obtenidas.
- Minimizar los más posible el ruido aplicado mediante un filtro.
- Detectar un color deseado.
- Obtener el centroide del objeto.
- Calcular el error del centroide y calcular los ángulos necesarios para corregir ese error.
- Realizar una comunicación serial con la *Arduino Uno*.

3. Desarrollo

3.1. Material utilizado

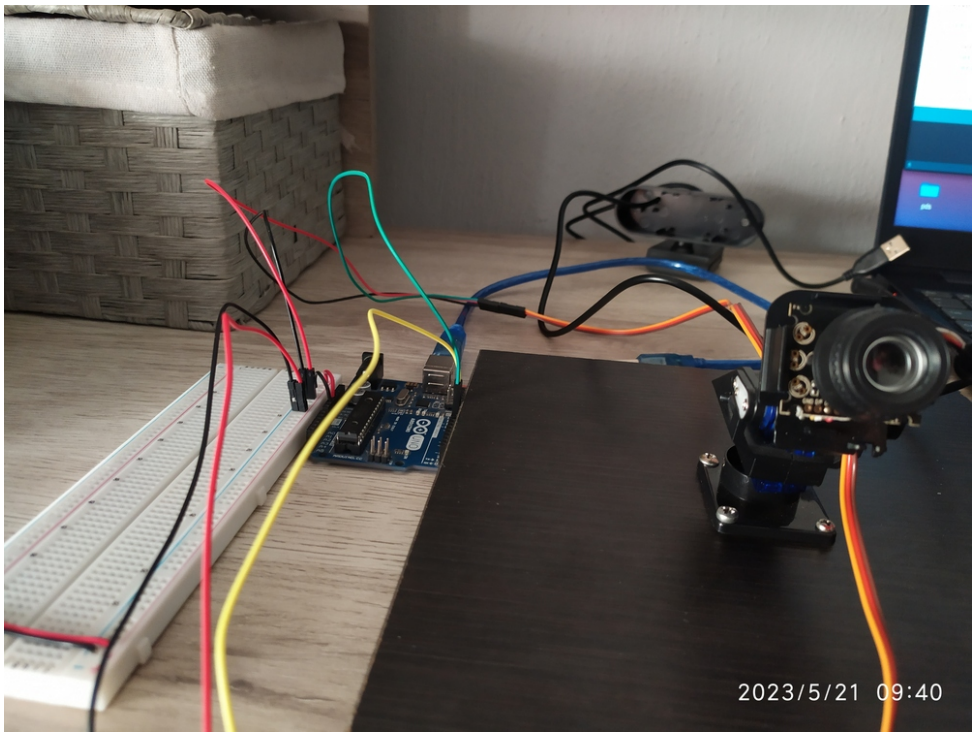


Figura 1: Foto del sistema terminado

Para realizar el proyecto se usaron los siguientes componentes:

- Cámara web.
- Placa *Arduino Uno*.
- 2 servomotores *SG90*.
- Protoboard (para conectar los servos con la *Arduino*).

Otros materiales usados fueron:

- Base para 2 servomotores y cámara.
- Pandel de madera *MDF* de *16mm* de grosor.
- 4 tornillos (para perforar la madera).

3.2. Primeros pasos

El primer paso que se quería cumplir fue detectar el color en una imagen, y con esto poder calcular su centroide. Para esto se usó el siguiente código.

```
while True:
    leido, video = captura.read() # Lectura de la camara
    video = cv2.resize(video, None, fx=0.4, fy=0.4) # Redimension del video
    m, n = video.shape[0:2] # Dimensiones del video

    hsv = cv2.cvtColor(video, cv2.COLOR_BGR2HSV) # Espacio de color de BGR a HSV
    mask = cv2.inRange(hsv, (15, 50, 50), (45, 255, 255)) # Mascara de color
    norm = cv2.normalize(mask.astype(float), None, 0.0, 1.0, cv2.NORM_MINMAX) # Normalizacion de 0 a 1
    norm = cv2.erode(norm, kernel) # Aplicacion de la erosion

    posy, posx = np.where(norm==1) # Posiciones de los 1's
    try:
        cy = int(np.sum(posy)/np.sum(norm)) # Posicion del centroide en 'y'
        cx = int(np.sum(posx)/np.sum(norm)) # Posicion del centroide en 'x'
    except:
        cy = int(m/2) # Posicion del centroide en 'y'
        cx = int(n/2) # Posicion del centroide en 'x'
        pass
    cv2.circle(video, (cx, cy), 5, (0, 255, 255), -1) # Circulo del centroide en el video

    if not leido: # Si hay un error con la lectura se termina el ciclo
        break

    if cv2.waitKey(1) == 27: # Si se presiona 'esc' se termain el ciclo
        break

    cv2.imshow("Video", video) # Se muestra el video
    cv2.imshow('Mask', norm) # Se muestra la mascara

```

Para el procesamiento de imágenes se usó la librería *opencv* de *Python* y para algunos filtros y kernel's se uitlizó la librería *numpy*.

El proyecto hasta este punto funcionó como se esperaba.

3.3. Obtención del error

Para calcular el error de se usó la posición del centroide y las dimensiones de la imagen, esto para calcular el centro de esta, para calcular los error se usarón las fórmulas

$$e_y = \frac{m}{2} - c_y$$
$$e_x = \frac{n}{2} - c_x$$

Siendo m y n las filas y columnas de la imagen respectivamente, y siendo c_y y c_x la posición en y y en x del centroide.

En el código se agregaron las siguientes líneas.

```
e_y = (m/2)-c_y
e_x = (n/2)-c_x
print(f'e_y: {e_y}')
print(f'e_x: {e_x}')

```

En este punto, al igual que en el anterior todo funcionó correctamente.

3.4. Conexión serial con la *Arduino Uno*

Luego de obtener el error, se probó la conexión con la *Arduino Uno* y un solo servomotor. Para esto se agregaron algunas líneas más al código y se utilizó la librería *pyserial*.

```
uno = serial.Serial("/dev/ttyACM0", baudrate=9600, timeout=1)

```

El código anterior funciona para crear una conexión serial con la tarjeta *Arduino* desde *Python*, también se agregaron las siguientes líneas

```
angleX = chr(int(90+e_x))
uno.write(f"{angleX}".encode())

```

En estas líneas se obtiene el ángulo que tiene que girar el servo para corregir el error obtenido. Para hacer esto, se observó que el ángulo de visión de la cámara usada era de aproximadamente 90°, de esta forma, se decidió dividir la imagen en 2, y dejar 45° de un lado y 45° de otro, y así, hacer que la configuración inicial del servo sea de 90°, con esto el servo se puede mover sin problemas y seguir el objeto, además, la imagen obtenida se redimensiona a 180 pixeles, por lo que así es fácil calcular un ángulo, aunque en esta ocasión solo era una prueba, por lo

que el ángulo puede tomar valores desde 0 hasta 180. Al final, la fórmula para calcular el ángulo resulta ser.

$$angle_x = 90^\circ + e_x$$
$$angle_y = 90^\circ + e_y$$

En este caso, no se necesitaron muchos cálculos, pues la imagen se adapto para que los errores solo fueran de *-90°* hasta *90°*, y al hacer una suma tan sencilla se puede calcular un ángulo. En este punto cada pixel representaría un grado de giro, más adelante se ajusta este detalle.

En esta parte del proyecto también se creo un código en *Arduino* para la conexión serial.

```
#include <Servo.h>

Servo servoMotor;
int angle=90, in;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    servoMotor.attach(9);
    servoMotor.write(angle);
    delay(100);
}

void loop()
{
    if(Serial.available() > 0)
    {
        in = Serial.read();
        servoMotor.write(angle);
    }
    angle = in;
}


```

3.5. Conexión con servo x y servo y

En este punto solo se agregó una línea de código

```
uno.write(f"{angleY}".encode()) # Se envia el angulo 'y' Arduino

```

El código en *Arduino* fue el que resultó con más modificaciones

```
#include <Servo.h>

Servo servoX;
Servo servoY;
int inX, inY;
int angleX=90, angleY=90;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    servoX.attach(9);
    servoY.attach(10);
    servoX.write(angleX);
    servoY.write(angleY);
    delay(100);
}

void loop()
{
    if(Serial.available() > 0)
    {
        inX = Serial.read();
        delay(50);
        inY = Serial.read();

        servoX.write(angleX);
        servoY.write(angleY);
    }
    angleX = inX;
    angleY = inY;
}

```

3.6. Uso de la cámara externa y la base de servos

Al usar la cámara externa y la base con los servos, surgió un error con la implementación anterior, pues la manera de calcular el error y los ángulos no era la correcta, pues todo el tiempo de tuvo como referencia una cámara estática que, con el movimiento de los servos no se movía. Al tener la cámara en la base, el error se calculaba bien, pero al tratar de corregir el error con los servos, este influía al ángulo, por lo que mientras más se acercaba al error, menor se volvía el ángulo, algo obviamente ilógico, y al ocurrir esto, la la base y la cámara solo se movían de un lado a otro sin sentido, por lo que se usó una idea distinta para todo esto. Con esta idea, los códigos terminaron de la siguiente manera

```
import cv2 as cv
import numpy as np
import serial
from time import sleep

captura = cv.VideoCapture(2) # Conexion con la camara 0/2

kernel = np.ones((9, 9), dtype=np.uint8) # Kernel para la erosion

uno = serial.Serial("/dev/ttyACM0", 9600, write_timeout=10) # Conexion serial con Arduino
sleep(2) # Espera de 2 segundos para realizar la conexion serial correctamente

angleY = chr(90) # Inicializacion del angulo en 'y' en 90 grados
angleX = chr(90) # Inicializacion del angulo en 'x' en 90 grados
minAngle = 45 # Angulo minimo al que deben girar los motores
maxAngle = 135 # Angulo maximo al que deben girar los motores

while True:
    leido, video = captura.read() # Lectura de la camara
    video = cv.resize(video, (180, 180)) # Redimension del video
    video = cv.flip(video, 0) # Voltear el video en el eje 'x'
    m, n = video.shape[0:2] # Dimensiones del video

    hsv = cv.cvtColor(video, cv.COLOR_BGR2HSV) # Espacio de color de BGR a HSV
    mask = cv.inRange(hsv, (50, 0, 0), (80, 255, 255)) # Mascara de color rosa
    norm = cv.normalize(mask.astype(float), None, 0.0, 1.0, cv.NORM_MINMAX) # Normalizacion de 0 a 1
    norm = cv.erode(norm, kernel) # Aplicacion de la erosion

    posy, posx = np.where(norm==1) # Posiciones de los 1's
    try:
        cy = int(np.sum(posy)/np.sum(norm)) # Posicion del centroide en 'y'
        cx = int(np.sum(posx)/np.sum(norm)) # Posicion del centroide en 'x'
```

```
33      except:
34          cy = int(m/2) # Posicion del centroide en 'y'
35          cx = int(n/2) # Posicion del centroide en 'x'
36      cv.circle(video, (cx, cy), 5, (0, 255, 0), -1) # Circulo del
    centroide en el video
37
38      e_y = -((m/2)-cy) # Error en 'y'
39      e_x = -((n/2)-cx) # Error en 'x'
40
41      if abs(e_y) > 10: # Si el error de 'y' es mayor a 10
42          angleY = ord(angleY) # Convertir 'angleY' de chr a int
43          angleY = angleY + int(e_y*0.05) # Accion de control para
    el angulo en 'y'
44          angleY = max(minAngle, angleY) # Cota minima del angulo
    en 'y'
45          angleY = min(maxAngle, angleY) # Cota maxima del angulo
    en 'y'
46          angleY = chr(angleY) # Convertir 'angleY' de int a chr
47
48      if abs(e_x) > 10: # Si el error de 'x' es mayor a 10
49          angleX = ord(angleX) # Convertir 'angleX' de chr a int
50          angleX = angleX + int(e_x*0.05) # Accion de control
51          angleX = max(minAngle, angleX) # Cota minima del angulo
    en 'x'
52          angleX = min(maxAngle, angleX) # Cota maxima del angulo
    en 'x'
53          angleX = chr(angleX) # Convertir 'angleX' de int a chr
54
55      uno.write(f"{angleX}".encode()) # Se envia el angulo 'x'
    Arduino
56      uno.write(f"{angleY}".encode()) # Se envia el angulo 'y'
    Arduino
57
58      if not leido: # Si hay un error con la lectura se termina el
    ciclo
59          break
60
61      if cv.waitKey(1) == 27: # Si se presiona 'esc' se termain el
    ciclo
62          break
63
64      cv.imshow("Video", video) # Se muestra el video
65      cv.imshow('Mask', norm) # Se muestra la mascara
66
67  uno.close() # Cierre de la conexion serial con la Arduino Uno
68  captura.release() # Se libera la captura
69  cv.destroyAllWindows() # Se cierran todas las ventanas
70
```

El código en *Python* resultó con muchas diferencias en comparación a los códigos anteriores. Pues se agregarón muchas otras operaciones y funciones al código.

El código en *Arduino* no cambio mucho

```
#include <Servo.h>

Servo servoX; // Servo para el eje 'x'
Servo servoY; // Servo para el eje 'y'
int inX, inY; // Variables para recibir datos desde Python
int angleX=90, angleY=90; // Variables para enviar angulos a los servos

void setup()
{
    Serial.begin(9600); // Comunicacion serial con 9600 baudios
    Serial.setTimeout(10); // Espera de 10 milisegundos entre cada lectura

    servoX.attach(9); // Asignar pin 9 para el servo del eje 'x'
    servoY.attach(10); // Asignar pin 10 para el servo del eje 'y'

    servoX.write(angleX); // Se mueve el servo del eje 'x' a 90 grados
    servoY.write(angleY); // Se muevo el servo del eje 'y' a 90 grados

    delay(100); // Espera de 100 milisegundos (0.1 segundos)
}

void loop()
{
    if(Serial.available() > 0) // Si la comunicacion serial esta en uso
    {
        inX = Serial.read(); // Recibir el angulo para el servo del eje 'x'
        delay(10); // Espera de 10 milisegundos (0.01 segundos)
        inY = Serial.read(); // Recibir el angulo para el servo del eje 'y'

        servoX.write(angleX); // Se envia el valor 'angleX' al servo del eje 'x'
        servoY.write(angleY); // Se envia el valor 'angleY' al servo del eje 'y'
    }

    angleX = inX; // El angulo en 'x' es igual al valor 'x' recibido
    angleY = inY; // El angulo en 'y' es igual al valor 'y'
```

```
    recibido
}

```

En este punto ya se tenía un prototipo funcional, aunque aún hacia falta agregarle ruido artificial a la imagen y aplicar un filtro para minimizarlo.

3.7. Ruido y aplicación del filtro

Por último, se agregó el ruido a la imagen con las siguientes líneas

```
noiseMatrix = np.random.normal(-0.5, 0.5, video.size)
gaussNoise = noiseMatrix.reshape(video.shape[0], video.shape[1],
    video.shape[2]).astype('uint8')
videoNoise = cv.add(video, gaussNoise)

```

Para aplicar un filtro de difuminado se usaron estas líneas

```
f = np.ones((11, 11), dtype=np.float32)*1/121
videoFiltro = cv.filter2D(videoNoise, -1, f)

```

Con estas líneas, se logró hacer que el color fuera lo suficientemente claro para que el algoritmo lo detectara y el programa siga funcionando como antes.

4. Resultados

4.1. Prototipo

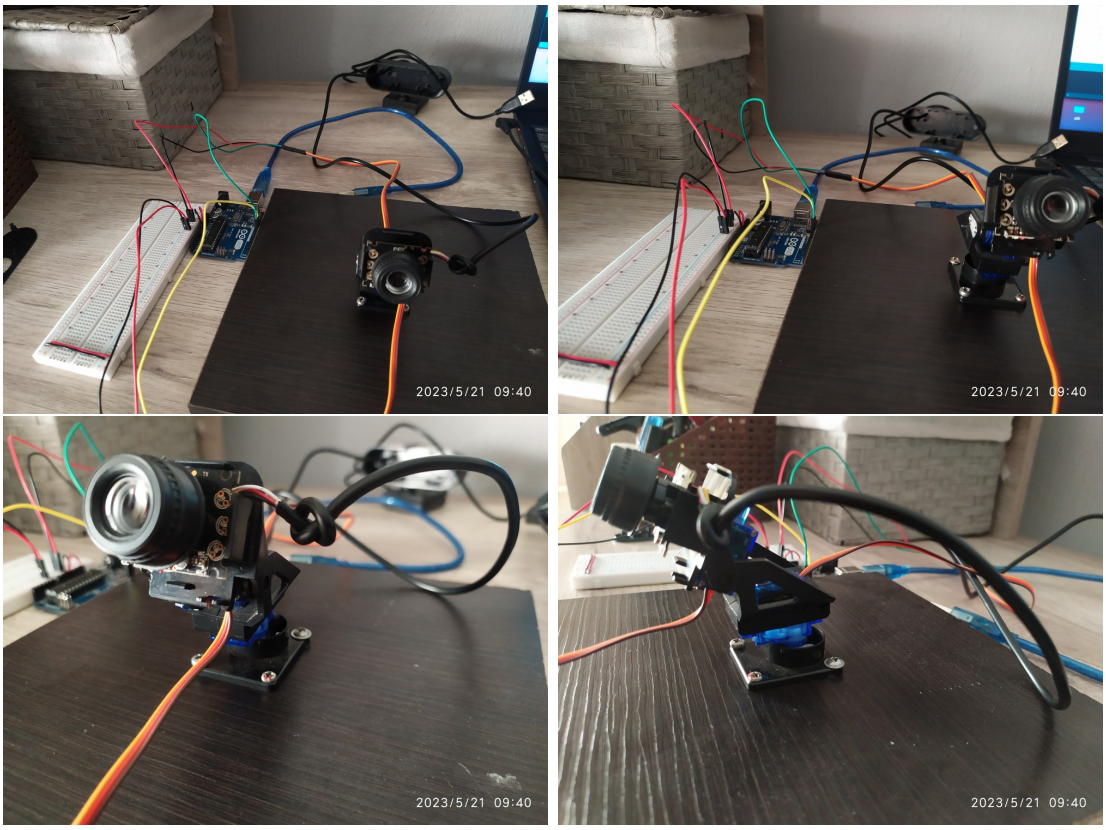


Figura 2: Prototipo terminado

El prototipo terminado se puede observar en las imágenes de arriba, se puede observar que la base se atornillo a un panel de madera *MDF* para que no se caiga con los movimientos de los servos y el peso de la cámara, el panel tiene una medida de *200mm x 200mm x 16mm*, ya que el panel media más, se corto para que fuera más pequeño y un poco más ligero, esto para que no sea pesado al cargarlo en una mochila.

4.2. Imágenes de entrada y salida

(a) Video de entrada

(b) Ruido aplicado al video

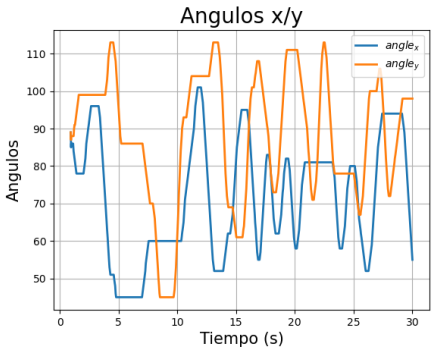
(c) Video con el ruido filtrado

(d) Máscara aplicada al video filtrado

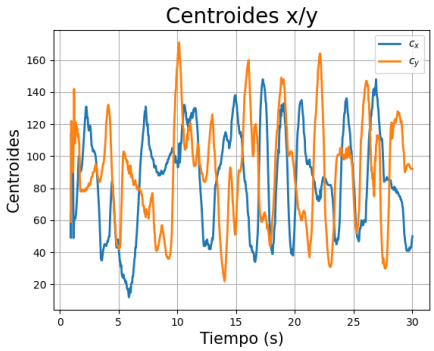
Figura 3: Imágenes de entrada y salida

En la imagen de la esquina superior izquierda se muestra la imagen obtenida de la cámara, al lado se muestra la imagen resultante con el ruido aplicado, la de la esquina inferior izquierda muestra la imagen con el filtro aplicado para minimizar el ruido, y por último, aparece la máscara aplicada a la imagen con el filtro para el ruido, esta última se uso para calcular el centroide del objeto y con esto obtener errores y valores de ángulos.

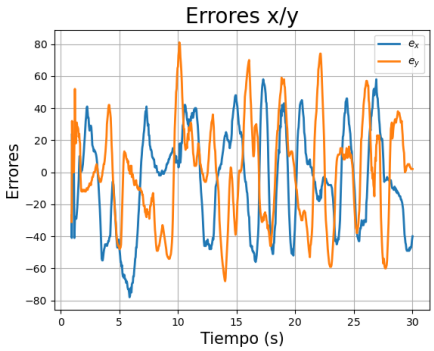
4.3. Gráficas



(a) Ángulos



(b) Centroide



(c) Error

Figura 4: Gráficas

Para tomar valores y errores del proyecto, se corrieron los programas por 30 segundos, las gráficas muestran los valores de los ángulos de los servos, la posición del centroide y el error del centroide respecto al centro de la imagen durante estos 30 segundos.

Se puede ver que la gráfica del centroide y del error es muy parecida, esto es porque están directamente relacionados, solo que el centroide se mueve al rededor de los 90°, pues los 90° fueron tomados como el ángulo central de la imagen, en cambio, el error se mueve al rededor del 0, pues esta gráfica muestra cuan lejos estaba el centroide del objeto del centro de la imagen.

5. Conclusiones

Este proyecto fue muy interesante, pues desarrollarlo y lograr hacer que cada objetivo deseado se cumpliera y funcionara correctamente fue difícil, pero es gratificante observar como cada objetivo se va cumpliendo y ver como al final, el proyecto funciona correctamente.

Tal vez lo más complicado fue lograr que la conexión serial con la *Arduino* funcionara correctamente, además, fue complicado desarrollar una idea completamente nueva en medio del desarrollo del proyecto para solucionar el problema de los ángulos para los servos.

A pesar de solo haber usado un controlador proporcional, el comportamiento y la corrección del error fueron muy buenos, aunque usando un control *PID* se podría tener un mejor resultado, pero lamentablemente no se tuvo el tiempo suficiente para poder implementarlo y mejorarlo.

Considero que este proyecto se podría adaptar muy fácil a sistemas de vigilancia y seguimiento de objetos, no solamente de objetos de color, aunque le hacen falta algunas mejoras.