

Tarea N° #2:

Aprendiendo a detectar líneas y eliminar distorsión

Cristopher Acevedo Guajardo

ELE4001 – Robótica

Escuela de Ingeniería, Universidad de O'Higgins

14, mayo, 2024

Abstract— En este informe sobre la tarea 2 del curso se implementa y utiliza un sistema de detección de bordes Canny y un sistema de detección de líneas usando la Transformada de Hough para visualizar los resultados de los detectores en distintas imágenes. Además, se utiliza un el patrón de un tablero de ajedrez para calibrar una cámara, utilizando como objetos para la calibración distintas imágenes de un tablero de ajedrez. Finalmente, se utilizan los sistemas de detección de bordes y de líneas para detectar las líneas del carril y de los bordes de la calle del simulador Gym-Duckietown.

Keywords— Procesamiento de imágenes, visión computacional, Gym-Duckietown, detector de bordes Canny, Transformada de Hough, operaciones morfológicas.

I. INTRODUCCIÓN

La detección de bordes es un proceso en el que se identifican los límites entre regiones de una imagen donde hay un cambio significativo en la intensidad o frecuencia de los píxeles. De esta forma, se pueden resaltar características importantes en una imagen, como bordes/contornos de objetos, límites entre distintas regiones y detalles específicos en una imagen.

Con la definición de los bordes en una imagen se pueden utilizar distintas técnicas y algoritmos para detectar líneas rectas presentes en una imagen. Estas líneas pueden ser horizontales, verticales o diagonales, lo cual es útil para detectar patrones lineales como bordes de carreteras, detectar carriles en vehículos autónomos, entre otros.

Por otro lado, la calibración de cámara es el proceso de estimar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de una cámara, como la distancia focal, el centro óptico, la distorsión radial, la rotación y traslación. Estos parámetros sirven para mapear puntos en el mundo real (en 3 dimensiones) a su correspondiente posición en la imagen capturada (en 2 dimensiones) por la cámara.

La calibración de cámaras es necesaria en aplicaciones de visión computacional que necesiten de mediciones precisas o estimar la geometría y el mapeo del mundo real a partir de imágenes, como, por ejemplo, en los sistemas de navegación autónomos, donde se requiere una alta precisión entre el mundo real y la imagen capturada.

En esta tarea número 2 del curso se implementará un sistema de detección de bordes Canny, donde se irán variando sus parámetros, para identificar los bordes de distintas imágenes del mundo real. Luego, se implementará un sistema de detección de líneas, para identificar y “unir” líneas en una imagen.

Luego, se utilizarán imágenes de un tablero de ajedrez en una pizarra, proporcionadas por el equipo docente, para calibrar una cámara utilizando un patrón de un tablero de ajedrez.

Finalmente, se capturarán imágenes del simulador Gym-Duckietown y se implementarán sistemas de detección de bordes y de líneas para identificar las líneas que dividen los carriles y las líneas que delimitan la calle en el simulador.

II. MARCO TEÓRICO

A. Detección de bordes y líneas

En el ámbito de sistemas y algoritmos de detección de bordes, un detector de bordes Canny uno de los algoritmos ampliamente utilizados para detectar los bordes en una imagen. El detector para por distintas etapas para detectar efectivamente los bordes. Primero, aplica un filtro gaussiano para suavizar la imagen y reducir el ruido. Luego, se calcula el gradiente de la intensidad de la imagen para determinar la dirección y magnitud del cambio de intensidad en cada punto de la imagen, utilizando operadores de derivadas como el operador Sobel, por ejemplo. Luego, realiza la “Supresión de no

máximos”, que sirve para identificar los píxeles que representan los bordes verdaderos en la imagen. Aquí se examinan los valores del gradiente en dirección perpendicular al gradiente, y sólo los píxeles que tienen el valor de gradiente más alto en cuyo vecindario de píxeles son los considerados como posibles bordes. Finalmente, utiliza la “Histéresis”, un proceso de umbralización para eliminar los píxeles débiles que no están relacionados o conectados con los píxeles fuertes o aquellos considerados como posibles bordes.

Otro método que se utiliza comúnmente para identificar líneas, una vez identificados los bordes, es la Transformada de Hough. Esta técnica es utilizada para identificar formas geométricas en una imagen, como, por ejemplo, líneas rectas.

La Transformada de Hough para la detección de línea comienza por representar la imagen en un espacio paramétrico, donde cada píxel es mapeado a un espacio de parámetros que describen una línea en términos de su distancia desde el origen (ρ) y el ángulo de inclinación (θ).

Para cada píxel de borde en la imagen, se calculan todas las posibles líneas que podrían pasar por ese píxel, mediante una transformación basada en la ecuación de la línea $\rho = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta)$, donde (x, y) son las coordenadas del píxel de borde y (ρ, θ) son los parámetros de la línea en el espacio de Hough, que es una matriz en la cual se guardan los votos de cada combinación de (ρ, θ) que represente una posible línea.

Luego que todos los píxeles de borde han sido procesados y luego de que se acumularon los votos en el espacio de Hough, se identifican las líneas al buscar los puntos más votados en el espacio de Hough. Estos son máximos en el espacio de Hough que representan las líneas más prominentes en la imagen original. Una vez identificadas las líneas en el espacio de Hough, se realiza una transformación inversa para mapear estas líneas desde el espacio de Hough al espacio de la imagen original.

B. Calibración de cámaras

La calibración de cámaras es un proceso que tiene como objetivo determinar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de una cámara. Estos parámetros

describen cómo la cámara proyecta el espacio 3D en una imagen bidimensional.

Para calibrar una cámara, se capturan una serie de imágenes de un patrón conocido, como un tablero de ajedrez o un patrón de puntos o círculos, desde diferentes ángulos y posiciones.

Luego, se utilizan algoritmos de detección de características para identificar los puntos clave en el patrón de calibración en cada imagen. Se establece una correspondencia entre los puntos 2D en las imágenes y los puntos 3D conocidos en el mundo real.

Luego, utilizando esta correspondencia entre los puntos 2D de la imagen y los del mundo real, se estiman los parámetros intrínsecos de la cámara, como la distancia focal, los coeficientes de distorsión, entre otros, junto a los parámetros extrínsecos, que describen la posición y la orientación relativa de la cámara con respecto al mundo 3D.

Finalmente, se evalúa la precisión de la calibración utilizando métricas como la matriz de la cámara y la distorsión, para refinar los parámetros de la cámara y mejorar la precisión.

III. METODOLOGÍA

Esta sección describe en detalle la metodología, el proceso y la implementación que se utilizó para analizar las imágenes proporcionadas por el equipo docente utilizando un sistema de detección de bordes Canny, un sistema de detección de líneas utilizando la Transformada de Hough, la calibración de una cámara utilizando un patrón de un tablero de ajedrez, y la identificación de los bordes y líneas de los carriles y de los límites de las calles de imágenes propias extraídas del simulador Gym-Duckietown.

A. Detección de bordes

Se implementó una función de detección de bordes en una imagen utilizando un detector de bordes Canny, donde se prueban y utilizan distintos parámetros para la identificación de bordes en cada imagen proporcionada por el equipo docente.

B. Detección de líneas utilizando la Transformada de Hough

Se implementó una función de detección de líneas en una imagen utilizando la Transformada de Hough.

Para esto, se establecieron tres parámetros: “ ρ ”, “ θ ” y “ threshold ”, en donde se probaron y utilizaron distintos parámetros para las distintas imágenes proporcionadas por el equipo docente, para ajustar la detección de líneas según el tipo y la cantidad de bordes de cada imagen.

C. Calibración de cámara utilizando un tablero de ajedrez

Se implementó un sistema para calibrar una cámara utilizando imágenes de un tablero de ajedrez en una pizarra blanca. Para esto, se implementó un código para definir las coordenadas del mundo real de los puntos 3D de cada imagen.

Luego, se cargaron las imágenes proporcionadas por el equipo docente con diferentes puntos de vistas del tablero de control.

Se implementó un código utilizando funciones de la librería OpenCV para encontrar las coordenadas de píxeles (u,v) de cada punto 3D en las imágenes del tablero de ajedrez.

Finalmente, se utilizaron funciones de la librería OpenCV para encontrar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara, encontrar los resultados asociados al Camera Matrix, coeficiente de distorsión, vector de rotación y vector de traslación, y luego se utilizaron para calibrar la cámara y corregir cada imagen.

D. Detección de bordes y líneas en Gym-Duckietown

Como última parte de esta tarea, se extrajeron imágenes propias del simulador Gym-Duckietown.

Se utilizó un filtro con los colores de interés, en este caso amarillos altos y bajos, y blancos altos y bajos, correspondientes a la línea que separan los carriles, y a los bordes de la calle, binarizando también la imagen.

Luego, se utilizaron las operaciones morfológicas de erosión y dilatación para resaltar los objetos con los colores de interés.

Con esto, se utilizó un sistema de detección de bordes Canny, para resaltar los bordes de los objetos encontrados, y luego un sistema de detección de líneas utilizando la Transformada de Hough Probabilística, que nos permite establecer parámetros para el largo mínimo de la línea y el máximo “gap” o separación entre dos líneas para que

estas sean consideradas como una sola línea (Anexo 9).

Finalmente, se proyectaron las líneas detectadas en la imagen original, y así visualizar los resultados de las operaciones y detectores implementados en reconocer las líneas y bordes de la imagen, es decir, de una imagen de la calle del simulador Gym-Duckietown.

IV. RESULTADOS

A. Sistema de detección de bordes Canny

FIGURA I
IMAGEN ORIGINAL “IMAGEN01.JPG”



FIGURA II
DETECTOR DE BORDES CANNY “IMAGEN01.JPG”

PARÁMETROS: UMBRAL_BAJO = 70; UMBRAL ALTO = 210

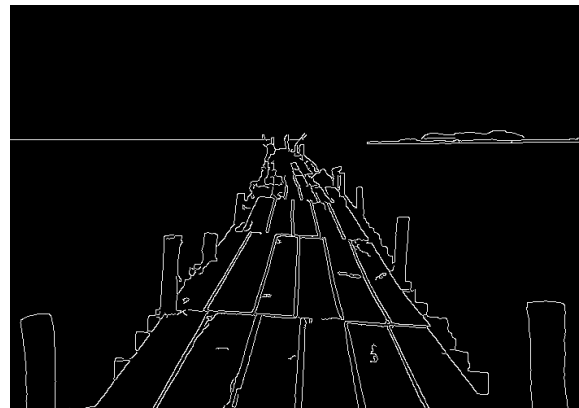


FIGURA III
IMAGEN ORIGINAL “IMAGEN03.JPG”



FIGURA IV
DETECTOR DE BORDES CANNY "IMAGEN03.JPG"

PARÁMETROS: UMBRAL_BAJO = 30; UMBRAL ALTO = 90

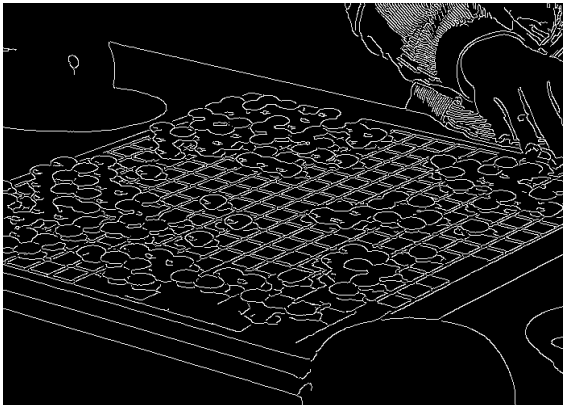


FIGURA V
IMAGEN ORIGINAL "IMAGEN05.JPG"



FIGURA VI
DETECTOR DE BORDES CANNY "IMAGEN03.JPG"

PARÁMETROS: UMBRAL_BAJO = 60; UMBRAL ALTO = 180



B. Sistema de detección de líneas utilizando la Transformada de Hough

FIGURA VI
DETECCIÓN DE LÍNEAS "IMAGEN01.JPG"

PARÁMETROS: RHO = 1.45, THETA = $\pi/180$, THRESHOLD = 165



FIGURA VII
DETECCIÓN DE LÍNEAS "IMAGEN03.JPG"

PARÁMETROS: RHO = 1, THETA = $\pi/200$, THRESHOLD = 170

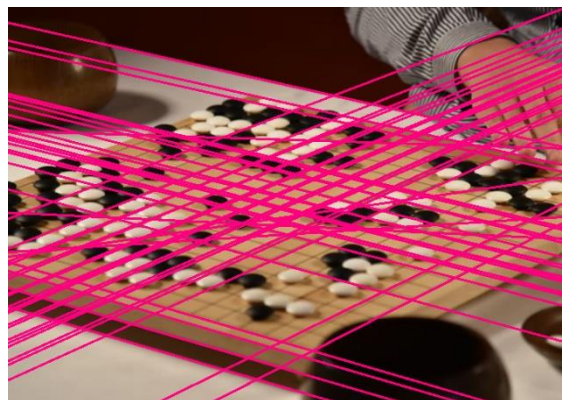


FIGURA VIII
DETECCIÓN DE LÍNEAS "IMAGEN05.JPG"

PARÁMETROS: $\rho = 1$, $\theta = \pi/140$, $\text{THRESHOLD} = 190$



C. Calibración de cámara utilizando tablero de ajedrez

FIGURA IX
IMAGEN ORIGINAL "IMAGE_64.PNG"



FIGURA X
COORDENADAS DE PÍXELES "IMAGE_64.PNG"

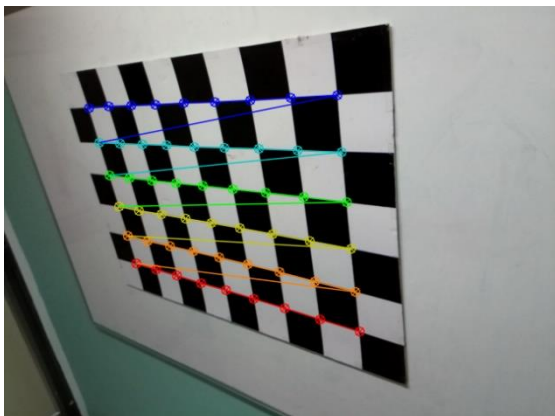


FIGURA XI
IMAGEN CORREGIDA "IMAGE_64.PNG"

Más resultados para distintas imágenes estarán disponibles en la entrega de la tarea.

D. Sistema de detección de líneas y bordes en Gym-Duckietown

FIGURA XII
IMAGEN ORIGINAL

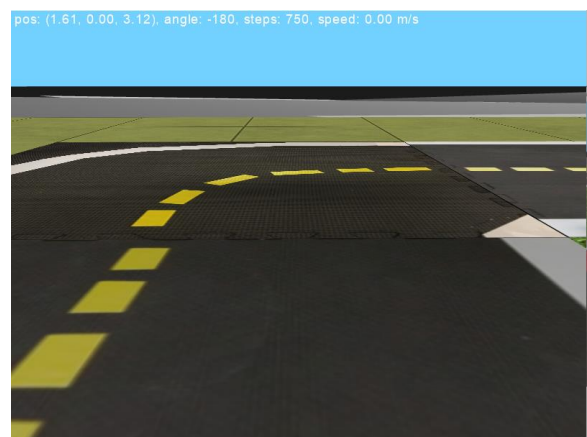


FIGURA XIII
IMAGEN CON EROSIÓN Y DILATACIÓN

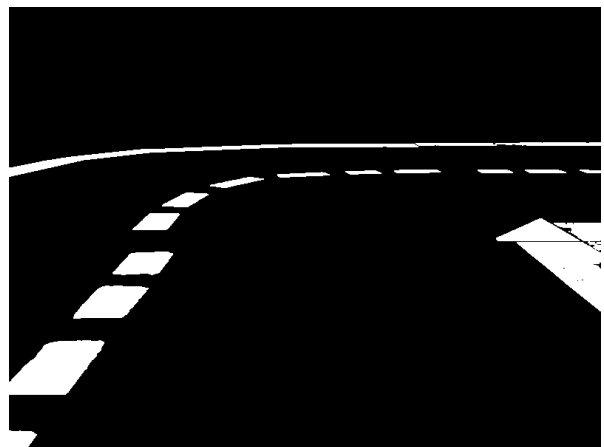


FIGURA XIV
DETECCIÓN DE BORDES CANNY

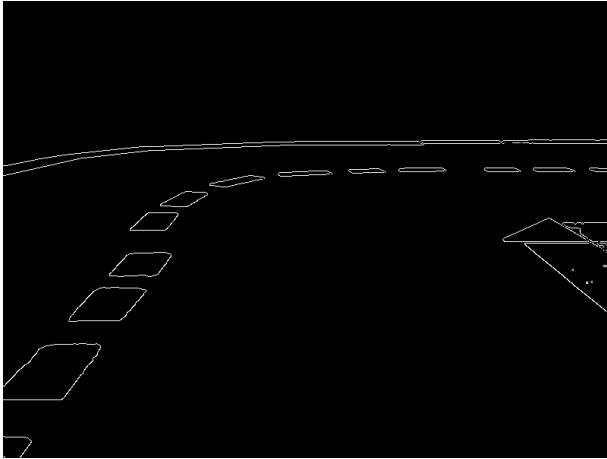
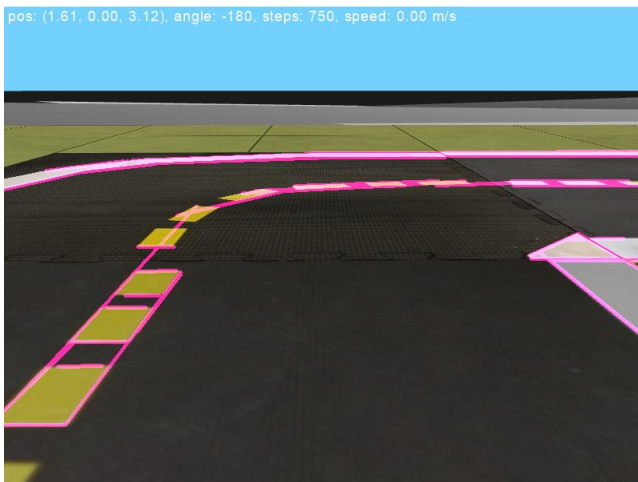


FIGURA XV
DETECCIÓN DE LÍNEAS USANDO LA TRANSFORMADA DE HOUGH EN LA
IMAGEN ORIGINAL



V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al utilizar un sistema de detección de bordes Canny, se pudo notar lo eficaz que es como herramienta para identificar con precisión los bordes en las imágenes proporcionadas y capturadas. Mediante el uso de los umbrales adecuados, para lo cual se debió ir calibrando los parámetros, se logró resaltar de manera exitosa los bordes de los objetos en la imagen mientras se reduce el ruido.

Por otro lado, el sistema de detección de líneas utilizando la Transformada de Hough también mostro resultados eficaces al momento de detectar líneas en imágenes cuyos bordes habían sido

definidos por el sistema de detección de bordes Canny.

Por otro lado, la calibración de la cámara utilizando un patrón de tablero de ajedrez mostró buenos resultados. Se pudo notar en las imágenes reconocidas un borde de color “negro” que queda debido a la calibración de la cámara y la corrección de la distorsión de la imagen.

Lo mismos resultados se pudieron observar en el detector de carriles y bordes en el simulador de Gym-Duckietown, donde se identifico de manera exitosa los bordes de las calles y los carriles luego de haber utilizado operaciones morfológicas y los filtros por colores, dejando en la imagen sólo los objetos de interés, lo que facilitó la posterior identificación de bordes y líneas.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación del sistema de detección de bordes Canny proporcionó resultados consistentes y confiables, permitiéndonos obtener una representación clara de los contornos de los objetos presentes en las imágenes. Además, la capacidad de ajustar los umbrales nos ha permitido adaptar el sistema a diferentes condiciones de iluminación y niveles de detalles en la imagen.

La detección de líneas mediante la transformada de Hough nos ha permitido identificar de manera precisa y robusta las líneas presentes en las imágenes, incluso en presencia de ruido y variaciones en la iluminación. Mediante la parametrización de las líneas en el espacio de Hough, hemos podido detectar tanto líneas rectas como curvas, lo que amplía la versatilidad y aplicabilidad del sistema en diferentes contextos. La capacidad de ajustar los parámetros de la transformada de Hough nos ha brindado flexibilidad para adaptarnos a diferentes escenarios y condiciones de imagen, permitiéndonos obtener resultados consistentes y confiables en una variedad de situaciones. La Transformada de Hough ha demostrado ser una buena herramienta para la detección de líneas en nuestras imágenes, proporcionando una buena base para la posterior interpretación y análisis.

En cuanto a la calibración de cámaras, hemos podido determinar con precisión los parámetros intrínsecos y extrínsecos de nuestras cámaras, lo que nos ha permitido realizar mediciones precisas y obtener representaciones geométricas con exactitud de la imagen. La corrección de la distorsión óptica de los lentes de la cámara ha mejorado la calidad de nuestras imágenes, ha facilitado la interpretación de los datos visuales y de los bordes no correctamente definidos. Además, la calibración de cámaras ha sido fundamental para la reconstrucción 3D de la escena a partir de múltiples vistas de un objeto, en este caso, un tablero de ajedrez. La calibración de cámaras mejoró significativamente la precisión y la fiabilidad de las imágenes proporcionadas.