

Seguimiento de una pelota en movimiento usando filtro de Kalman

Lisa Valeria Rodríguez Alanís a01656306

- Modelado del filtro de Kalman.

Para modelar el seguimiento de una pelota, se empleó un filtro de Kalman que permite estimar su posición futura de manera más precisa a partir de las mediciones visuales y un modelo de movimiento. En esta entrega, se configuró un modelo de estado con cuatro variables: la posición en el eje x y en el eje y, y las respectivas velocidades en ambos ejes. Esto se traduce en un vector así: $[x, y, vx, vy]$.

La matriz de transición *transitionMatrix* utilizada en el modelo representa un sistema de movimiento uniforme, en donde la posición futura se estima sumando la velocidad actual. Basicamente, se usó una matriz que refleja el siguiente modelo físico simplificado:

$$x' = x + vx$$

$$y' = y + vy$$

$$vx' = vx$$

$$vy' = vy$$

Esto implica que no se considera aceleración ni otras fuerzas externas, lo cual es una suposición válida para trayectorias simples y cortas. La matriz de observación *measurementMatrix* establece que las únicas variables que se pueden medir directamente con la cámara son la posición en x y en y. No se puede observar directamente la velocidad, por lo que el filtro debe estimarla a partir de los cambios en las posiciones sucesivas.

Además, se modeló la incertidumbre del sistema mediante dos matrices de covarianza. La matriz de ruido del proceso *processNoiseCov* es la que representa la variabilidad del modelo interno, lo que tanto puede cambiar el estado real con respecto a la predicción por causas no modeladas. Esta fue definida como una matriz identidad escalada por un valor pequeño de 0.03, indicando una confianza moderada. Por otro lado, la matriz de ruido de medición *measurementNoiseCov* refleja la imprecisión de las mediciones de posición obtenidas por visión por computadora, y se estableció con un valor mayor de 0.5 para representar una mayor incertidumbre en las observaciones.

Finalmente, el estado inicial del filtro se estableció con la posición medida de la pelota y una velocidad inicial nula. A partir de ahí, en cada ciclo del algoritmo, el filtro de Kalman realiza primero una predicción basada en el modelo de movimiento y después corrige esta predicción con la medición real más reciente, generando así una estimación más precisa y estable del movimiento de la pelota en la escena.

- Justificación del detector de objetos elegido.

Para la detección de las pelotas elegí trabajar con el espacio de color HSV, ya que es un método sencillo, rápido y eficiente, ideal para implementaciones en tiempo real sin necesidad de entrenamiento previo. Se definieron 3 rangos de color específicos: amarillo, naranja y blanco. En cada color se implementó los rangos de tono específicos para lograr siempre detectar las pelotas en base a su color con el mínimo error. Cabe destacar que la elección de este detector también viene con fallas al momento de presentar un fondo con muchos colores. Se intentó jugar con métodos de dilatación y erosión para evitar que el sistema se confunde pero por la simplicidad de uso en ciertos momentos no era tan preciso.

- Resultados obtenidos y análisis

Los resultados obtenidos mostraron que el sistema es capaz de detectar y seguir en tiempo real una o varias pelotas de los colores asignados. La pelota de básquet requirió una calibración más cuidadosa en los rangos HSV y en el tratamiento de los contornos para evitar que las líneas internas generaran detecciones múltiples. Una vez optimizado, el sistema logró seguir ambas pelotas simultáneamente sin problemas. Sin embargo, si se presenta un objeto o una mancha circular que pueda entrar dentro de los rangos de color de HSV el sistema lo detectara erróneamente como pelota, como se puede ver en el video de demostración. Cabe destacar que este código solo funciona con pelotas blancas, naranjas y amarillas, si se presenta otra pelota de otro color no se detectara.

El filtro de Kalman ayudó a suavizar la trayectoria de cada pelota y a mantener el seguimiento activo incluso cuando la pelota salió brevemente de la vista de la cámara. Como observación final, se notó que el rendimiento del sistema puede verse afectado si el fondo contiene colores similares al de las pelotas o si la iluminación cambia drásticamente. No obstante, el sistema cumplió con todos los requisitos del proyecto y demostró ser una solución robusta para el seguimiento de objetos en video.

link video de demostración:

<https://drive.google.com/file/d/1I-MWpqqZJNoVW1ylcYiuC6REIQyLnKXF/view?usp=sharing>