

Plataforma Segway didáctica para planeación de trayectorias usando visión por computador

David Alexis Arias-Beltrán, Yair Enrique Díaz-Acevedo

Universidad De La Salle Bogotá, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

daarias48@unisalle.edu.co, yadiaz07@unisalle.edu.co

Resumen. En el presente documento se muestra el compendio de los resultados obtenidos del proyecto correspondiente al desarrollo y construcción de un sistema tecnológico cuya función se basa en la implementación en los espacios de laboratorio para el desarrollo de competencias prácticas en áreas tales como visión por computador, control de sistemas y robótica. Se muestran resultados propios del sistema de visión, diseño de controladores y modelo CAD de la planta robótica.

Palabras Clave: Segway, planificación de trayectorias, control, visión por computador.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

En el campo académico, dentro de las carreras profesionales relacionadas con las ramas tecnológicas es común observar la integración de componentes teórico y práctico que se complementan entre sí y que, por lo tanto, permiten afianzar las teorías establecidas con el mundo físico.

Por lo anterior, es necesario reconocer nuevas metodologías que permitan al estudiante materializar los conceptos aprendidos y así mismo, apropiarse de ellos de manera correcta e intuitiva (componente que ofrece la educación práctica) lo cual contribuiría al cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible “Educación de calidad”. Por lo tanto, se pretende desarrollar una plataforma robótica basada en un péndulo invertido con desplazamiento lineal aplicando técnicas de inteligencia artificial como visión y planeación de trayectorias para lograr una planta didáctica en la cual se puedan desarrollar actividades de laboratorio tales como: procesamiento de señales, diseño e implementación de controladores, reconocimiento de objetos puntuales y robótica autónoma.

2 Objetivo

Diseñar y construir una planta Segway aplicando técnicas de control y planificación de trayectorias para aplicaciones en modelos educativos.

3 Propuesta de solución

En primer lugar, se realizará el modelo de Lagrange correspondiente al Segway con el fin de caracterizar parámetros importantes como torque aplicado, masa, entre otros para realizar la correspondiente simulación y observar su comportamiento. Cabe aclarar que esta metodología de modelamiento permite obtener la dinámica del sistema (comportamiento a través del tiempo).

Seguidamente, si el modelo cumple con las condiciones esperadas, consecuentemente se establecerán las condiciones de diseño y funcionamiento del robot tales como torque requerido, tamaño, peso, entre otras; esto con el fin de generar unos bocetos iniciales del prototipo que cumplan adecuadamente con lo anteriormente nombrado. En paralelo, se seleccionarán los materiales estructurales y componentes adicionales como baterías, motores, sensores como acelerómetro (para obtención del ángulo del polo) y encoders (utilizados para obtener la posición de cada una de las ruedas) y componentes electrónicos.

Por otra parte, la siguiente etapa consiste en el desarrollo del sistema de control del Segway. En primera instancia, se hará una revisión conceptual que abarque metodologías de control aplicadas a este modelo en donde posteriormente, se seleccionará una de ellas teniendo presente que el control debe ir orientado hacia las variables de posición, orientación y equilibrio del prototipo. Luego, se procederá a la realización de simulaciones del controlador con el fin de evaluar dicha metodología. Seguidamente, se realizará el proceso de embebido del controlador mediante la construcción de un algoritmo y que luego, se integrará a la planta, respectivamente.

En paralelo a la etapa de control, se desarrollará el sistema de visión por computador. Como primera medida, se realizará una revisión sobre alternativas de software para el manejo de sistemas de visión (CV). A continuación, se hará la respectiva adquisición de la cámara cuya selección estará dada por parámetros como alcance, distancia focal, resolución y cuadros por segundo (FPS). A su vez, se hará una búsqueda bibliográfica en lo que respecta a algoritmos para CV, haciendo énfasis en la etapa de segmentación de imágenes. Luego, se diseñará la interfaz gráfica orientada hacia la marcación de obstáculos, así como la visualización de la posición y orientación del Segway.

Como siguiente etapa de desarrollo, se construirá el sistema de planeación de trayectorias. Primeramente, se realizará una revisión bibliográfica correspondiente a los algoritmos utilizados para planeación de trayectorias a partir de los cuales se realizará una división en 3 etapas: cobertura, localización y navegación. Finalmente, teniendo los subsistemas funcionales, se realizará la integración de estos. Es importante resaltar que se evaluarán parámetros como repetitividad, velocidad del sistema, métricas de rendimiento de cada parte, así como del conjunto integrado.

Como último paso, se redactarán los respectivos manuales de programador y usuario.

4 Discusión de resultados e impactos obtenidos

En primer lugar, se realizó el prototipo para la planta robótica, teniendo en cuenta materiales estructurales y dimensiones las cuales permitieran una fácil distribución de los demás elementos tales como microcontrolador, motores, sensores, entre otros. El modelo cuenta con 3 niveles en donde en el nivel superior se ubicará el marcador correspondiente al robot (para identificación por Visión por Computador) y los sensores, el segundo nivel permitirá ubicar el microcontrolador y finalmente, el nivel inferior permitirá ubicar las baterías y los motores, respectivamente.

Posteriormente, se determinó el material estructural el cual fue acrílico (polimetilmetacrilato) debido a que ofrece características de resistencia, bajo peso y bajo costo. A la vez, fijando el material se obtuvo el peso aproximado de la estructura el cual fue de 1.1 kg a través de las funcionalidades ofrecidas por el software SolidWorks. En la Figura 1 se observa el modelo realizado.

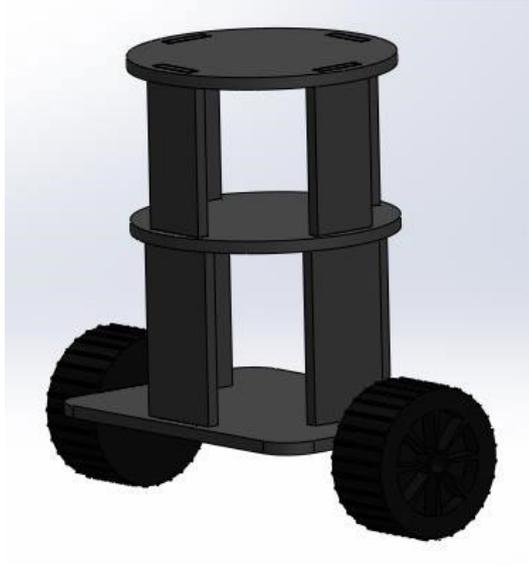


Figura 1. Modelo CAD del Segway. Fuente. Elaboración propia.

Por otra parte, se realizó el modelo de Lagrange para determinar el comportamiento dinámico del robot. La ecuación a la cual se debe llegar es denominada ecuación de la robótica (dinámica inversa) que refleja el comportamiento del modelo a través del tiempo. La ecuación 1 corresponde a la expresión nombrada.

$$\tau = M\ddot{q} + C\dot{q} + g(q) \quad (1)$$

Donde τ corresponde al torque que deben ejercer los actuadores, M la matriz de inercia, C la matriz de velocidades o de Coriolis y g la matriz de gravedad (Barrientos, 2007).

Como primera medida, se determinaron los parámetros como inercia de los cuerpos y masas para la construcción del Lagrangiano, el cual es una expresión que relaciona energías cinéticas y potenciales presentes en la estructura como se muestra en la ecuación 2.

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^{\infty} k_i + \sum_{j=1}^{\infty} u_j \quad (2)$$

Ya que el modelo obtenido corresponde a la dinámica del robot, a la planta se acoplaron 3 sensores los cuales corresponden a un acelerómetro (MPU6050) y dos encoders ópticos. El primero de ellos fue situado en la planta superior del robot para que, de esta manera, se obtuviera el valor del ángulo del polo. Cabe resaltar que la velocidad se obtuvo mediante la programación del cálculo de la derivada de la posición angular con respecto al tiempo. Por otra parte, se colocaron encoders ópticos para obtener la posición angular de cada una de las llantas con una resolución de $\pm 8^\circ$.

Teniendo el modelo, se procedió a controlar la planta bajo un punto de equilibrio de 0 grados (0 radianes).

Para ello, se implementaron dos controladores diferentes de la literatura: controlador por realimentación de estados y controlador LQR. Para la comprobación del funcionamiento de los dos controladores, se implementó una simulación de bloques en Simulink la cual involucra 3 bloques: el primero de ellos conforma la señal de referencia, el segundo bloque contiene las ganancias de realimentación de estados y el tercer bloque contiene la dinámica inversa o modelo del Segway (véase ecuación 1). En la Figura 2 se puede observar la simulación implementada. Es de resaltar

que los 2 controladores se basan en la realimentación de estados, aunque producen respuestas diferentes.

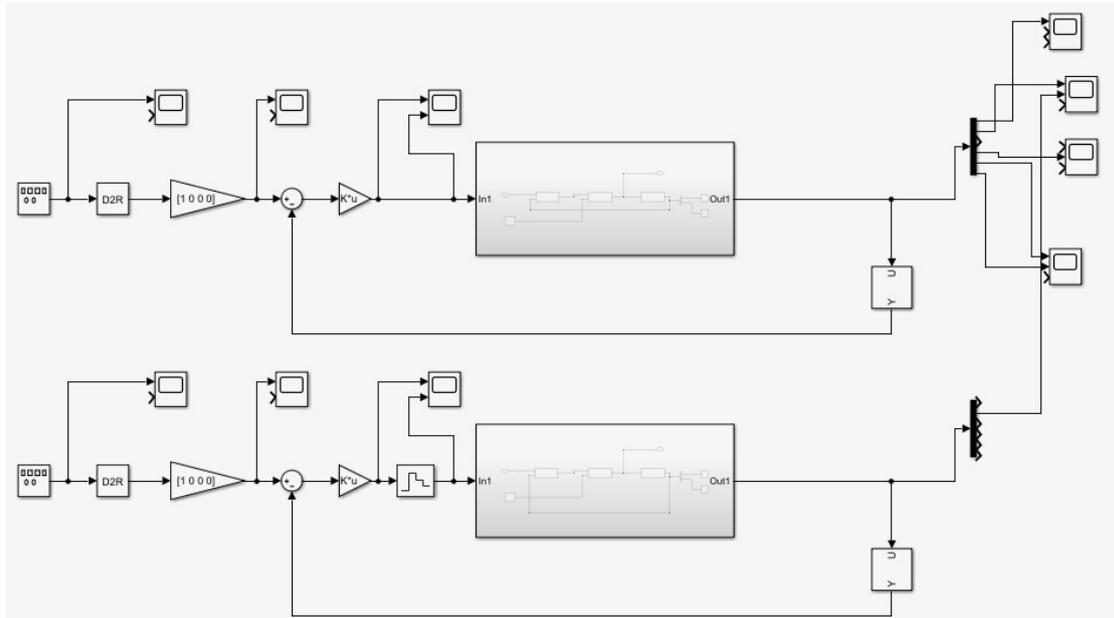
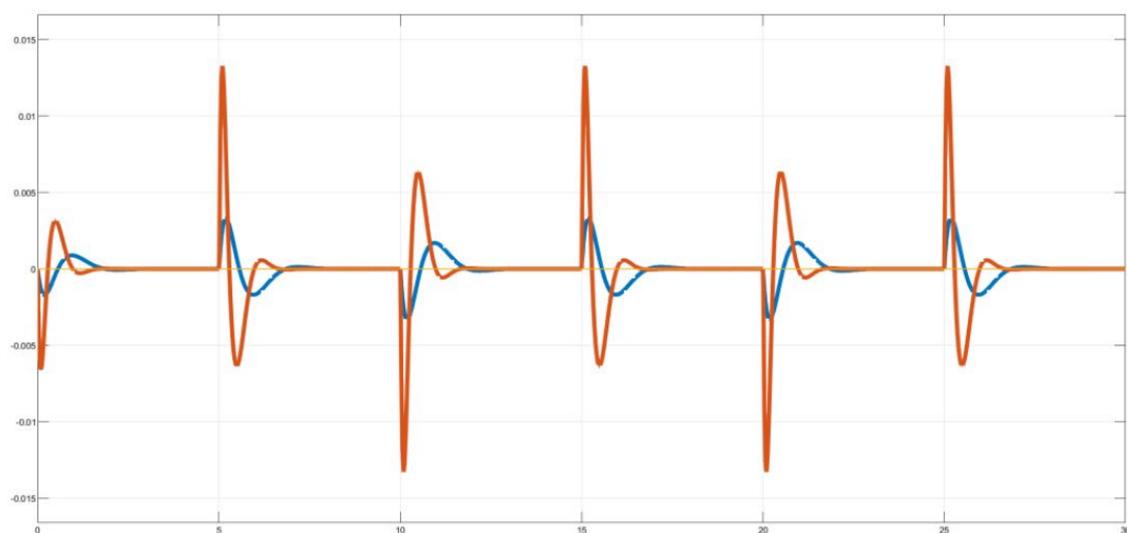


Figura 2. Simulación de controladores para el Segway. Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos apuntan hacia un control adecuado de la posición del polo o cuerpo del robot sobre el punto de equilibrio dado con un tiempo de establecimiento de 2 segundos para ambos controladores, sin embargo, el controlador LQR permitió una respuesta anticipada, es decir, el cuerpo del robot no superó una desviación de $0,23^\circ$ (0.004 rad) aproximadamente ($0,8^\circ$ o 0.013 rad para el controlador por realimentación de estados) lo cual se traduce a una reducción del consumo de energía necesario para realizar la tarea de equilibrio y que corresponde al concepto de optimización de esta metodología de control (Chantarachit, 2019) En la Figura 3 se observa el comportamiento del polo del robot a través del tiempo.



Por otra parte, respecto al subsistema de visión, se diseñaron 9 marcadores circulares que representan los obstáculos dentro de la pista y así mismo, un marcador para reconocer el robot. Estos marcadores cuentan con regiones de colores en donde cada uno de ellos tiene cierta cantidad de los colores seleccionados (amarillo, azul, magenta y verde) En la Figura 4 se observan los diseños.

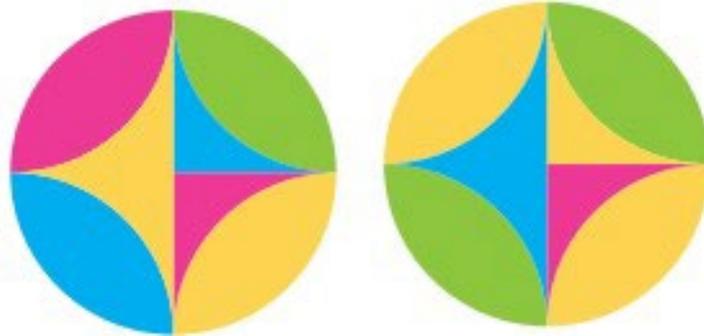


Figura 4. Diseño de marcadores. Fuente. Elaboración propia.

Para el reconocimiento de cada elemento diseñado, se realizó un algoritmo en el cual se utilizó la librería OpenCV que permite el análisis y procesamiento de imágenes (Kaehler, 2017) donde inicialmente, a partir de una máscara binaria se segmentaron los marcadores dispuestos en la escena y que posteriormente, se trata cada área de interés de forma independiente para realizar una nueva segmentación para determinar la cantidad de color en cada una de ellas permitiendo comparar los valores obtenidos con una matriz de referencia para finalmente, agregar una etiqueta en el centroide de cada área. Cabe destacar que las áreas que no corresponden a los marcadores (ruido) eran filtradas mediante código. Se utilizaron conceptos tales como segmentación, binarización de imágenes, operaciones morfológicas, entre otras. El lenguaje utilizado para la implementación fue Python, el cual permite una buena velocidad de procesamiento. En la Figura 5 se puede observar el procesamiento de imágenes para la identificación de marcadores.

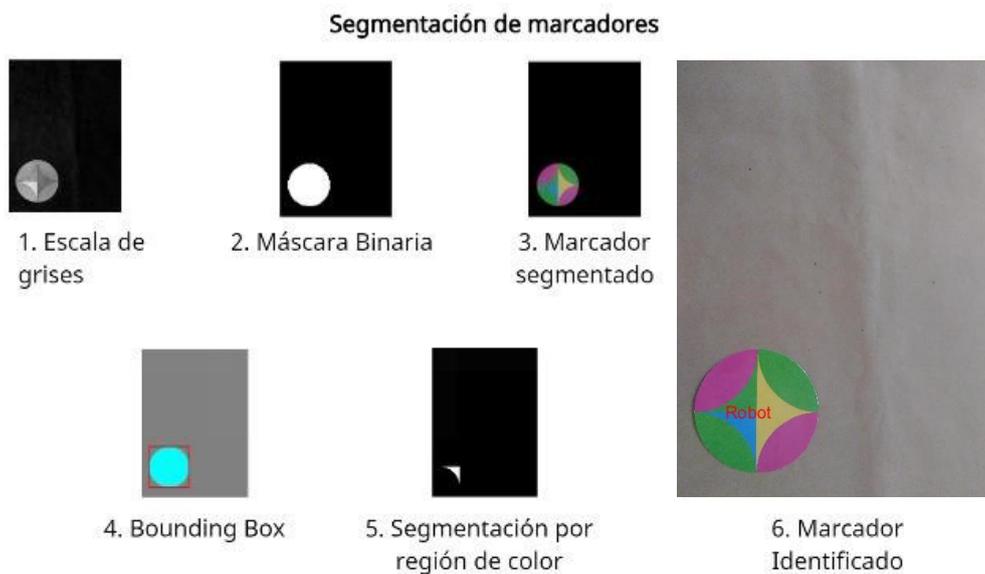


Figura 5. Proceso de detección e identificación de marcadores

5 Conclusiones y perspectivas futuras

En primer lugar, se realizó el modelo CAD del robot el cual se adapta hacia los tamaños de los componentes principalmente el microcontrolador. Además, mediante el software SolidWorks se obtuvieron los parámetros necesarios para el modelo dinámico.

Así mismo, se obtuvo el modelo correspondiente a la dinámica del sistema utilizando la ecuación de la robótica y que, a su vez, permitió diseñar dos controladores propios para las características de la planta y que lograron de manera efectiva el control del equilibrio del robot visto desde una perspectiva de simulación. Esto indicaría un comienzo para la construcción de la planta permitiendo seleccionar de manera correcta los actuadores correspondientes que cumplan con el torque y la velocidad necesaria para mover y estabilizar el Segway.

Respecto al sistema de visión, se logró identificar cada marcador que representa tanto obstáculos como la planta robótica. Cabe resaltar que el lenguaje Python permite una alta velocidad de procesamiento en la toma de fotogramas consecutivos, sin embargo, se realizará la implementación de código que permita determinar la orientación del robot, dato que es necesario para el algoritmo de planeación de trayectorias junto con los centroides de cada marcador.

6 Referencias

1. S. Chantarachit, "Development and Control Segway by LQR adjustable Gain," 2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 649-653.
2. Barrientos Cruz, A. (2007). Fundamentos de robótica (2nd ed.). Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.
3. Kaehler, A.; Bradski, G. (2017) Learning OpenCV 3. Estados Unidos. O'Reilly Media, Inc *Revistas*.