

Capítulo 6

Conclusiones y resultados

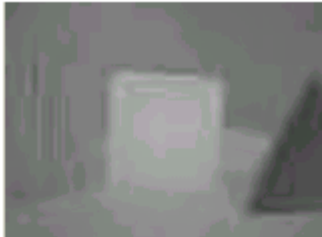
6.1 Resultados de los filtros de segmentación

En este apartado se reportan las pruebas que se realizaron a los filtros $I2_GR$ ecuación (3.3), y al filtro propuesto en este trabajo ecuación (3.8) que es una modificación de $I2_GR$, para segmentar imágenes rojas heterogéneas sin perder información de las aristas u objetos oscuros, la imagen original se muestra en la figura siguiente:



Figura 6.1 Imagen de prueba original

En esta secuencia de imágenes se aprecian los pasos a seguir para obtener el vector de características de la escena que utiliza el algoritmo de exploración del robot, usando el filtro I2_GR



Después de aplicar el filtro



Reducción de escala



Al aplicarte un umbral de 130



Vector resultante

Esta imagen en tonos de grises muestra el resultado de pasar la imagen original por el filtro I2_GR.

Imagen resultante al aplicar el método de las ventanas para reducir tamaño.

Imagen binaria resultado de umbralizar la imagen anterior con un valor de 130, este valor puede ser variado para obtener mayor o menor información

Vector resultante que describe el horizonte del robot

Figura 6.2 Algoritmo de visión robótica



Figura 6.3 Resultados al aplicar el filtro I2_GR modificado propuesto en esta tesis

En la figura 6.3, se aprecia, después de aplicar el filtro modificado propuesto en este trabajo, información de las líneas verticales del objeto que se encuentra en la parte izquierda de la imagen original, esta información no se aprecia al usar el filtro I2_GR, como lo muestran los resultados de la figura 6.2, por tanto al usar el filtro propuesto en este trabajo, se puede tener información además de los objetos rojos, de las aristas de otros objetos sin importar el color, lo cual permitiría tener líneas verticales en el ambiente que sirvieran de ayuda en la navegación y orientación del robot en el mundo desconocido tal como se propone en [19], a continuación se aprecia otra secuencia de imágenes resultados de nuestros algoritmos .



Figura 6.4 Imagen de prueba

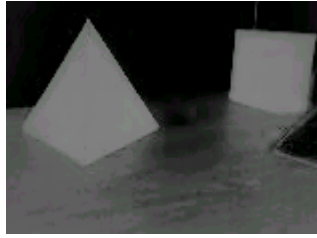


Figura 6.5 Imagen en tonos de grises resultado de aplicar el filtro propuesto



Figura 6.6 Vector de características resultante

6.2 Resultados de las pruebas de los algoritmos de exploración del ambiente

En el sistema de control del robot se implementaron tres algoritmos para la exploración de un ambiente desconocido, todos ellos basados en los vehículos de Braitenberg, el primero de ellos es el algoritmo descrito en [25] llamado explorador, con la modificación descrita anteriormente en el capítulo 3, tal que evita que el robot quede varado cuando la percepción de sus sensores hace que su comportamiento de atracción y repulsión en el cual se basa se nivele.

El segundo algoritmo implementado está basado al igual que el resto de los algoritmos en el vehículo explorador de Braitenberg pero con movimientos discretos, por lo que permite llevar un control odométrico, y construir mediante éste un mapa, el cual es una aproximación burda del mundo explorado.

El tercer algoritmo incluye un sistema de visión y movimientos discretos del robot, lo que permite construir un mapa con las características mencionadas arriba, pero con una mejora en la percepción del ambiente, ya que el robot no requiere aproximarse demasiado a un obstáculo para percibirlo.



Figura 6.7 Ambiente a explorar

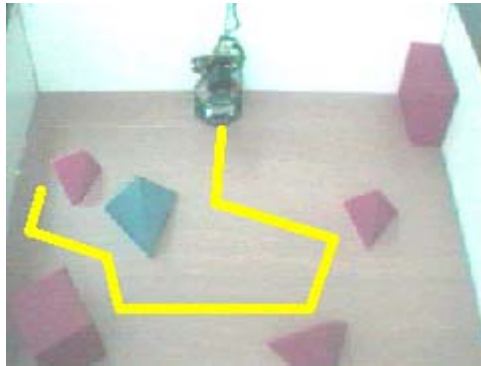


Figura 6.8 Trayectoria del robot usando el algoritmo de Braitenberg original

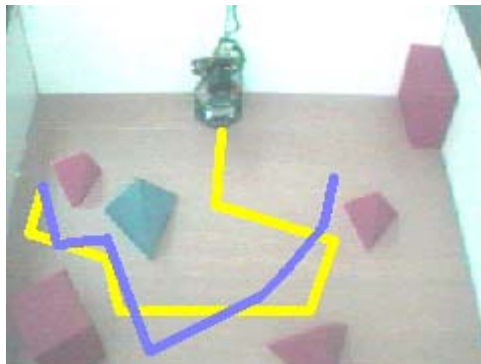


Figura 6.9 Trayectoria parcial del robot usando el algoritmo de Braitenberg modificado



Figura. 6.10 Trayectoria parcial del robot usando el algoritmo de Braitenberg modificado y visión

Algoritmo	Tipo de sensores utilizados	Velocidad promedio de exploración	Continuidad en la exploración	Creación del mapa del entorno
Vehículo de Braitenberg original	6 sensores infrarrojos	40 mm/seg	Puede quedar varado	No es posible
Vehículo de Braitenberg modificado para evitar que el robot quede varado	8 sensores infrarrojos	40 mm/seg	Si	No es posible
Vehículo de Braitenberg con control odométrico	8 sensores infrarrojos	25 mm/seg	Si	Creación burda del mapa. Errores odométricos
Vehículo de Braitenberg con sistema de visión	8 sensores infrarrojos y cámara de video	3 mm/seg	Si	Creación burda del mapa. Errores odométricos

Tabla. 6.1 Tabla comparativa de los algoritmos implementados

6.3 Conclusiones

En esta tesis se ha desarrollado un sistema robusto para el control e integración de información de sensores externos e internos del robot khepera 213, con la finalidad de controlar al robot en la tarea de exploración de ambientes desconocidos con obstáculos geométricos de colores homogéneos. Para realizar esta tarea, se le adaptó al robot khepera una cámara de video como sensor principal de un sistema de visión artificial acoplado a los algoritmos modificados de Braitenberg, lo cual le permitió al sistema del robot tener una mejor representación del ambiente por explorar con la finalidad de construir un mapa de él.

Se propusieron e implementaron mejoras al vehículo definido por Braitenberg en [4] llamado vehículo con comportamiento explorador, dichas mejoras consistieron en adaptarle un mecanismo que permite que el robot no quede varado dentro del ambiente desconocido al nivelarse la percepción de los sensores con los que cuenta el robot, y por medio de los cuales presenta repulsión hacia los obstáculos en el camino y atracción hacia espacios abiertos, otra aportación más a los vehículos de Braitenberg consistió en que el comportamiento del agente autónomo ahora se ve influenciado por un sistema de visión robótico y no solo de sensores de proximidad, lo que le permite al robot tomar mejores decisiones sobre el rumbo que debe tomar en la tarea de exploración, la influencia del sistema de visión en la toma de decisiones puede ser ajustado por medio de un factor de sensibilidad, por lo que es posible controlar la distancia de acercamiento del robot a los obstáculos.

En la construcción de los mapas de espacios explorados se obtuvieron representaciones burdas del ambiente, debido a la poca exactitud que tiene el sistema odométrico interno del robot kepera, además de que la velocidad de reacción del robot esta condicionada al tiempo mínimo de captura (1 segundo) que permite el programa comercial que se utilizó para la adquisición de video.

Se sugieren como trabajos futuros, construir un sistema propio de adquisición de la información de video, debido a que el sistema desarrollado en esta tesis utiliza el software comercial de la cámara de video Quick cam vc, por lo tanto la comunicación entre este

programa y el sistema del robot se realiza por medio de un archivo de imagen, lo que limita la velocidad de respuesta del robot en su trabajo de exploración.

El sistema odométrico del robot es inexacto, lo que no permite conocer de manera confiable en cualquier momento la posición y orientación del robot dentro del ambiente, lo que se ve reflejado en la construcción del mapa del entorno, el cual es solo una aproximación burda de un mapa real, entonces es necesario construir un sistema robusto para conocer la ubicación y orientación del robot en cualquier momento y en tiempo real, se sugiere utilizar una corrección de posición por medio de marcas, lo cual es permitido por el sistema de visión propuesto en este trabajo .

Los algoritmos modificados de Braitenberg mostrados en este trabajo reciben un vector de características compacto del ambiente y que contiene información tanto de los sensores infrarrojos y del sistema de visión, por lo que se abre la posibilidad de utilizar este vector con alguna técnica de inteligencia artificial, específicamente redes neuronales, para controlar la incursión del robot en ambientes inexplorados.

Considero que se han cumplido los objetivos planteados al inicio de este trabajo, el cual es un buen punto de partida para estudiar más a fondo y hacer aportaciones interesantes en el fascinante mundo de la robótica.