

**IMPLEMENTACIÓN DE VISIÓN POR COMPUTADORA A UN MÓVIL
AUTÓNOMO BASADO EN RASPBERRY PI**
***IMPLEMENTATION OF A COMPUTER VISION TO AN AUTONOMOUS MOBILE
BASED ON RASPBERRY PI***

Autores: Juan Carlos Ambriz Polo
Roberto Alejo Eleuterio
Erika López González

Institución: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Correo electrónico: juan.ambriz@tesjo.edu.mx

RESUMEN

Se presenta un prototipo de un Móvil autónomo basado en visión por computadora, cuyo objetivo es la recolección y clasificación de desechos. La unidad de procesamiento del móvil es la tarjeta de desarrollo Rasberry PI B+, esta es en esencia una computadora, soportada por un procesador ARM y un sistema operativo fundamentado en Linux, debido a sus características proporciona un entorno de hardware capaz de ejecutar algoritmos diseñados para implementar visión por computadora, de igual forma permite la interacción con diversos sensores y actuadores digitales. El algoritmo de visión por computadora aplicado para detección de colores tiene las bases en el análisis de modelo de color HSV, mientras que para la detección de formas se basa en el algoritmo Canny. Con referencia en los algoritmos de visión por computadora ya mencionados, el móvil es programado para que realice una exploración de su entorno y de esta manera pueda distinguir y clasificar objetos, para finalizar se presentan algunos resultados y las conclusiones generadas.

Palabras clave: Móvil autónomo, Visión por Computadora, Modelo de color HSV, Rasberry Pi.

ABSTRACT

A prototype of an autonomous mobile based on computer vision is presented, whose objective is the collection and sorting garbage. The mobile processing unit is the development card Raspberry PI B +, this is essentially a computer, supported by an ARM processor and an operating system based on Linux; due to its characteristics provides a hardware environment capable of running algorithms designed to implement computer vision, similarly it allows interaction with various digital sensors and actuators. The computer vision algorithm applied to color detection has bases on the analysis of the HSV color model, while for detection of shapes is based on the Canny algorithm. With reference in computer vision algorithms already mentioned, the mobile is programmed to perform a scan of your environment and thus to distinguish and classify objects; to end generated some results and conclusions.

Keywords: Autonomous Mobile, Computer Vision, HSV Color Model, Raspberry Pi.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la Inteligencia Artificial (IA) ha sido una de las ramas con mayor auge dentro del marco de las ciencias computacionales, esto debido al afán del ser humano por recrear procesos naturales mediante computadora, con el fin de automatizar diversos procesos que le permitan facilitar su vida. Una de las áreas de investigación más importante de la IA es la Visión por Computadora o Visión artificial, cuyo propósito es dotar a una computadora de los algoritmos necesarios para que pueda interpretar una imagen percibida mediante algún dispositivo óptico (Laucka A. et al, 2016; Reyes, C. E. et al, 2016; Noor, A. I. et al, 2012).

En este trabajo se propone el desarrollo de un móvil autónomo, cuyo objetivo principal es el reconocimiento y clasificación de basura, esto mediante el reconocimiento de formas y colores, la unidad de procesamiento para el móvil es la tarjeta de desarrollo Raspberry PI B+, dicha tarjeta le permitirá obtener imágenes del entorno mediante la conexión con una cámara, para realizar el reconocimiento de colores y formas, a través de algoritmos de análisis de imagen basados en el modelo de color HSV y algoritmos de detección de bordes, respectivamente, de igual forma

la tarjeta de desarrollo permite realizar el control de los actuadores, que le permiten al móvil desplazarse en su entorno y ubicar los desechos en los mismos. Es importante resaltar que el prototipo del móvil se desarrolla mediante 4 fases: a) construcción del prototipo, b) codificación y pruebas de algoritmos para obtención de imágenes y reconocimiento de formas y colores, c) ajustes de algoritmos para clasificación de objetos en específico (botellas de PET y latas de refrescos) y d) ajustes para tratamiento de variación de luz en el reconocimiento de formas y colores así como pruebas finales. En este documento se presenta el desarrollo de la fase a y b del prototipo así como los resultados obtenidos hasta el momento.

Existen múltiples y diversas aportaciones científicas en el área de visión por computadora, englobando algoritmos para detección de colores y formas, así como aplicaciones de los mismos en diversas áreas, tales como, medicina, ecología, ingeniería, entre otras. Como ejemplo de la aplicación de visión por computadora tenemos el trabajo de (Brown L. et al, 2015), en el cual describe la creación de un prototipo de móvil autónomo para la recolección de basura, dicho móvil es programado para poder hacer el recorrido en un vecindario y mediante la aplicación de visión artificial, detectar e interpretar los semáforos ubicados en las calles del vecindario, esto a través del reconocimiento de colores por medio del análisis de píxeles con el modelo de color HSV, de igual forma detecta los contenedores de basura los cuales mediante un brazo robótico son sujetados y vaciados en el contenedor del móvil. (Kuan-Yu C. et al, 2010), propone en su trabajo desarrollar una interacción humano-robot en tiempo real, aplicando reconocimiento de señas realizadas con la mano, empleando como fundamento el análisis del color y reconocimiento de formas. Para el análisis de color se propone un método de umbralización de varios colores con un mecanismo de ajuste automático en ambientes interiores y exteriores. Para el reconocimiento de forma, el gesto de la mano se determina mediante el algoritmo de extracción de contorno y los descriptores de Fourier. Por otro parte (Ching-Hung S. et al, 2011), presenta un modelo para la reconstrucción de imágenes, esto mediante la extracción de características de color de los píxeles, utilizando el modelo de color HSV,

destacando la idea de aplicar el análisis de imágenes a partir de modelos de color, como una técnica eficiente que permite identificar colores dentro de una imagen digital. Como muestra del uso recurrente de modelos de color dentro del área de visión artificial (Wen C. et al, 2007), presenta en su trabajo una comparativa para determinar la eficacia del manejo de los modelos de color RGB y HSV, mencionado que las características que se pueden extraer mediante el modelo de color HSV, principalmente desacoplar el brillo de los componentes cromáticos, proporcionan un mejor rendimiento para el tratamiento de gráficos en comparación con las características que permite extraer el modelo de color RGB. Por otro lado el uso de tarjetas de desarrollo como unidad de procesamiento para robots autónomos, ha tenido un gran auge en las últimas décadas, esto debido al avance en las arquitecturas de las mismas, porque proveen a los desarrolladores de un poder de procesamiento cada vez más alto, esto al incorporar microprocesadores como base de dichas tarjetas. Como muestra del potencial de las tarjetas de desarrollo para robots, en el trabajo de (Szabó R. y Gontean A., 2016), se presenta la implementación de un sistema de un brazo robótico para realizar diversas tareas en una fábrica, todo soportado con la tarjeta Raspberry PI la cual es capaz de manipular los movimientos del brazo robótico y monitorear los movimientos mediante cámaras IP las cuales son interconectadas a la misma tarjeta. De la igual forma (Suchitra et al, 2016) comprueba el rendimiento de la tarjeta Raspberry Pi al utilizarla como unidad de procesamiento para la ejecución de un sistema de reconocimiento de gestos en imágenes, esto al permitir interconectar una cámara para la obtención de imágenes y posteriormente aplicando algoritmos de reconocimiento a las mismas, con el fin de identificar gestos en los rostros de humanos, generando como conclusión que el tiempo de procesamiento es eficiente así como los resultados de ejecución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo del algoritmo de reconocimiento

El algoritmo aplicado para el reconocimiento de formas y colores está desarrollado por tres etapas; i) obtención de imágenes en tiempo real, ii) reconocimiento de

colores mediante modelo HSV y reconocimiento de formas mediante algoritmo Canny, iii) recolectar y clasificar los objetos encontrados, como se describe en el diagrama de la figura 1.

Durante la etapa (i) del algoritmo se realiza la conexión y configuración de la cámara con Raspberry Pi, la comunicación se establece mediante el puerto CSI de la placa, mientras que la configuración para la captura de imágenes, se realiza mediante la inicialización de captura de video con la función *VideoCapture* de la librería OpenCV, una vez que la captura de video se establece se almacena en una variable un *Frame* de video, es importante destacar que el almacenamiento del *Frame* se realiza en el modelo de color RGB (Red,Green,Blue). En la fase (ii) el análisis de la imagen se realiza mediante el modelo de color, de ahí la importancia de seleccionar un modelo de color que permita el análisis de una mayor gama colores y tonos de color, como se menciona en el trabajo [referencia] el modelo de color HSV es un modelo más robusto que RGB debido a las tonalidades de color que permite representar, en lugar de basarse solo en las bandas de color rojo verde y azul como es el caso del espacio de color RGB como se aprecia en la figura 2a; el modelo HSV se basa en en el matiz H (hue) que define el tono o color, saturación S(saturation) que define la intensidad o pureza del color color y el brillo V(value brightness) que define el grado de claridad u oscuridad del color, en la figura 2b se describe gráficamente el funcionamiento del modelo.

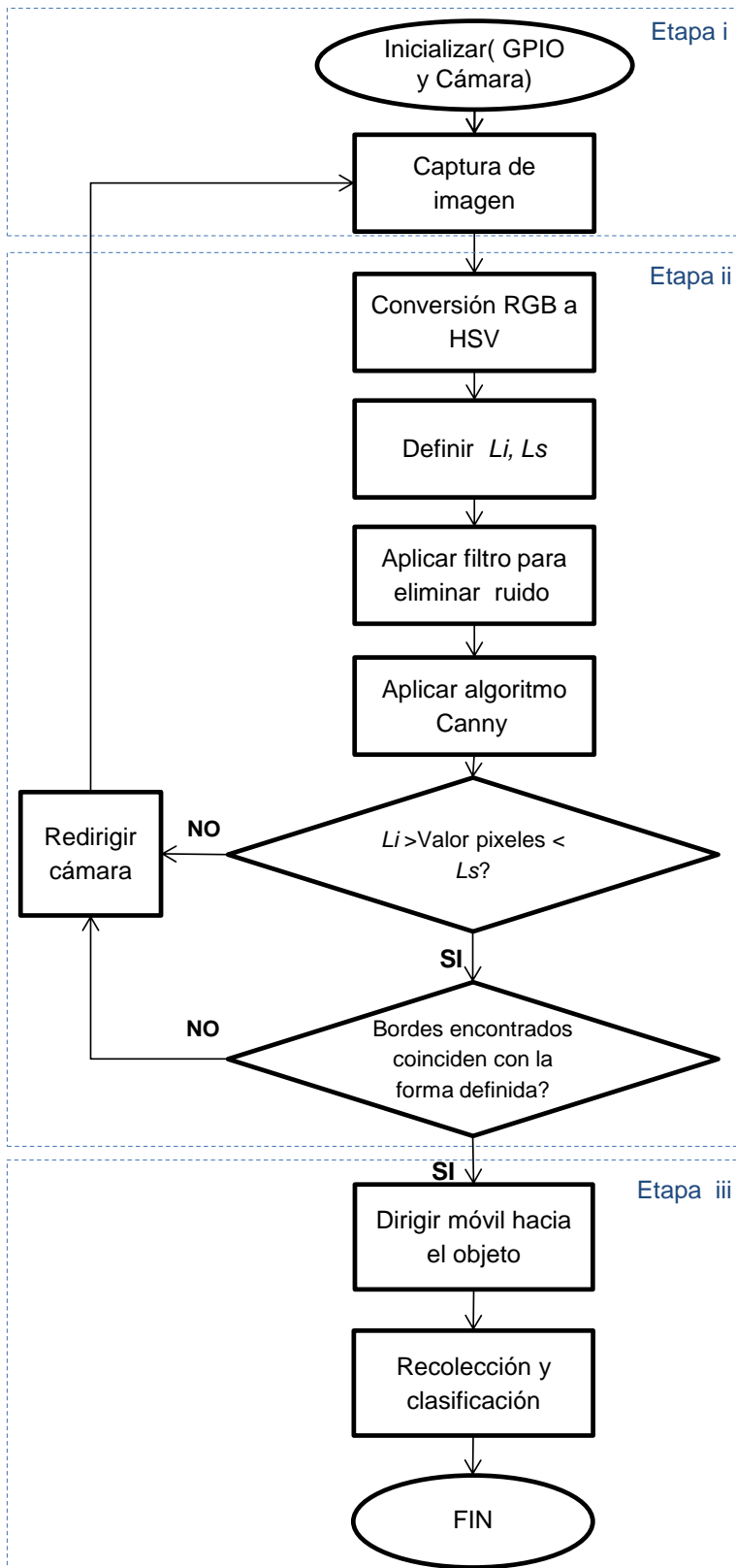


Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo de visión para el móvil.

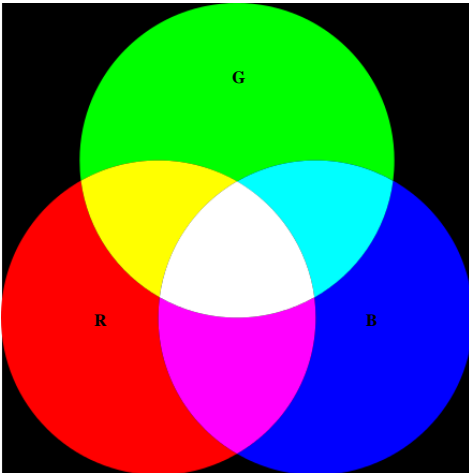


Figura 2a. Diagrama del modelo de color RGB.

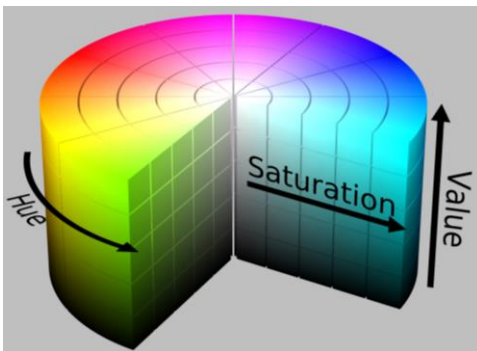


Figura 2b. Diagrama del modelo de color HSV.

De igual forma dentro de la etapa (ii), una vez que se obtiene el *Frame* y se convierte en el modelo de color deseado es preciso codificar en el algoritmo que color será capaz de reconocer, esto se realiza mediante el establecimiento de L_i (límite inferior) y L_s (límite superior), estos límites permiten generar los umbrales para el color que se desee reconocer, suponiendo que el color a reconocer por el móvil fuera azul; se tendría que declarar el vector $L_i=[H, S, V]$ y $L_s=[H, S, V]$ como se aprecia en la figura 3, de esta forma el móvil podrá reconocer diferentes tonos del color azul que se encuentren entre dichos umbrales. Posterior a la generación de los umbrales se aplica un filtro para descartar áreas mínimas del color que puedan causar una confusión para el algoritmo. Por otra parte para la detección de formas se aplicó la función Canny de OpenCv misma que implementa el algoritmo del mismo nombre,

con el cual se realiza la detección de bordes. Dicho algoritmo está definido por tres etapas, a) obtención del vector gradiente de un pixel, con este proceso se puede identificar la variación de intensidad, en los pixeles donde no existe variación se genera como resultado un valor 0 mientras que en donde se detecta una variación se genera un valor mayor que 0; b) supresión no máxima, en este proceso se descartan los pixeles donde el valor obtenido en paso (a) fue muy cercano a 0 logrando adelgazar la banda de pixeles que serán reconocidos como bordes, c) umbral se aplica una función basada en dos límites superior e inferior que permita ayudar a la etapa (b) así como para eliminar contornos falsos. Como parte final de la etapa (ii) del algoritmo con base en los procesos previos se generan las condiciones para definir si se ha detectado el color deseado, de ser así se corrobora que la forma cumpla con la forma especificada en el algoritmo del móvil en caso de que se cumplan las dos condiciones se asocia la activación de los motorreductores para que el móvil se mueva hasta el objeto detectado, de otra forma si no se cumplen las dos condiciones descritas se realiza un proceso para redirigir la cámara a otro punto del espacio de interacción del móvil y se repite el proceso de detección de colores y objetos.

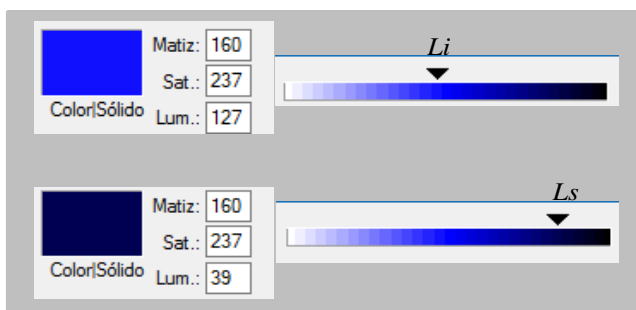


Figura 3. Generación de vectores L_i y L_s para detección de color.

En la fase (iii) y última del algoritmo se genera el proceso para dirigir el móvil hacia el objeto detectado, en este proceso la imagen se divide en dos partes (Flanco izquierdo y flanco derecho), se compara en cuál de los dos flancos se encuentra mayor presencia del color detectado tomando en cuenta un umbral definido con base en experiencia y se asocia la activación de los motorreductores de dicho flanco

permitiendo que el móvil gire hacia el objetivo, si el color se encuentra en una aproximación igual en los dos flancos tomando en cuenta el umbral, los motorreductores de ambos flancos se activaran permitiendo al móvil desplazarse en forma directa al objetivo, para evitar la colisión de móvil con el objetivo se estudia la implementación de algún sensor de proximidad. Por otra parte lo relacionado con la recolección y clasificación del objetivo se pretende la implementación de algún mecanismo como brazo mecánico que sea programado para clasificar el objeto.

Prototipo del móvil

Para la construcción del móvil se empleó como base de procesamiento de imágenes, así como para el control de los actuadores del móvil, la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi B+ la cual está basada en una arquitectura de procesador ARM permitiendo ejecutar en ella un sistema operativo basado en Linux en el cual es posible la adquisición y tratamiento de imágenes en tiempo real, de igual forma permite la interacción con dispositivos digitales a través de puerto de propósito general de entrada y salida (GPIO). En la tabla 1 se describe las características de dicha tarjeta de desarrollo, es importante mencionar que el rendimiento que brinda dicha tarjeta para el desarrollo de este proyecto es óptimo debido a que no se requiere de alguna otra tarjeta de adquisición de datos para la interconexión de cámaras así como para el control de actuadores y sensores.

Respecto a la cámara que permite la adquisición de video se utilizó una cámara con una definición de 5 megapíxeles, dicha resolución era óptima para el reconocimiento de formas y colores, así como la facilidad de conexión con la tarjeta de desarrollo.

CPU	ARM1176JZF-S.
Núcleos	Single-core.
Juego de instrucciones	ARMv6 32bits.
Velocidad	700MHz.
Memoria RAM	512MB.

Almacenamiento	MicroSD slot.
GPU	250MHz Broadcom VideoCore IV.
Puertos	HDMI 4x USB2 ports 10/100 Ethernet 40 GPIO pins MIPI camera connector MIPI display DSI Vídeo compuesto (PAL y NTSC) vía 3.5 mm TRRS jack compartido con audio estéreo.
Dimensiones	Largo: 8.6cm Ancho: 5.7cm Peso: 45g

Tabla 1. Características principales de Raspberry Pi B+.

Por otra parte en cuanto a los actuadores que permiten el desplazamiento del móvil, se implementaron 4 motorreductores de corriente continua (CD), los cuales son configurados con un circuito electrónico que permite el avance y retroceso del mismo (Puente H matricula L298), con lo cual se puede configurar el movimiento de giro hacia izquierda o derecha del móvil así como su avance y retroceso en forma directa.

CONCLUSIONES

Con base en los avances realizados para este prototipo de móvil autónomo basado en visión por computadora se han podido detectar ciertas limitantes que afectan el funcionamiento del reconocimiento de formas y colores, en primera instancia es necesario resaltar que el factor que afecta de sobremanera la visión por computadora es la variación de luz y aunque dentro de la literatura se mencionan diversas estrategias para el tratamiento de este problema, no todas son aplicables

por cuestiones de procesamiento porque la mayoría se basa en filtros que en un nivel de rendimiento computacional son muy costosos. De igual forma es necesario mencionar que la mayor parte de pruebas de sistemas basados en visión por computadora son ejecutadas en ambientes controlados y los que son ejecutados en ambientes no controlados requieren de unidades de procesamiento robustas.

Por otra parte tomando en cuenta que el procesamiento de imágenes para este prototipo se realiza mediante una tarjeta de desarrollo Raspberry, cuya arquitectura está limitada en cuestión de hardware (Memoria Ram), es necesario optimizar los algoritmos para el reconocimiento de formas y colores porque después de algunos minutos de ejecución la aplicación comienza a ralentizarse. Por su parte es necesario resaltar las ventajas que provee la tarjeta de desarrollo Raspberry, para la aplicación en sistemas autónomos, entre estas resalta la el bajo consumo de energía, la interconexión que permite tanto con dispositivos plug and play por medio de USB, así como la interconexión con dispositivos digitales a partir del puerto GPIO.

Para finalizar se tiene que aclarar que el desarrollo del prototipos se sigue trabajando en una segunda etapa en la cual se implementara el mecanismo para recolección y clasificación de desechos como se mencionó en la introducción de este documento, también es preciso depurar el diseño del algoritmo con el fin de mejorar el rendimiento del mismo.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- LAUCKA, A.; ANDRIUKAITIS, D.; VALINEVICIUS, A. Y NAVIKAS, D.: *Computer vision system for defects detection in PET preform*, 21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), pp.1280–1285, 2016.
- REYES, C. E.; MOJICA, E. F.; CORREA C. V. Y ARGUELLO H.: *Algorithm for underwater swimmer tracking using the HSV color model and compressive sensing*, IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM), pp.1–5, 2016.

- NOOR, A.I.; MOKHTAR, M.H.; RAFIQL, Z.K.; PRAMOD, K.M.: «Understanding Color Models: A Review», *ARN Journal of Science and Technology*, Vol. 2, No.3, Abril 2012.
- BROWN, L.; GARCÍA, S.; NIXON, M.; VALENTÍN, G. Y WALKER, V.: *Autonomous Trash Collection Robotic System*, Project Report, Department of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology, 2015.
- KUAN-YU, C.; CHENG-CHIN, C.; WEN-LUNG, C. Y JYH-TONG, T.: *An integrated color and hand gesture recognition approach for an autonomous mobile robot*, Image and Signal Processing (CISP), 3rd International Congress on, pp. 2496 – 2500, 2010.
- CHING-HUNG, S.; HUANG-SEN, C. Y TSAI-MING, H.: *An efficient image retrieval based on HSV color space*, Electrical and Control Engineering (ICECE), International Conference on, pp. 5746-5749, 2011.
- WEN, C.; YUN, Q.S. Y GUORONG, X.: *Identifying Computer Graphics using HSV Color Model and Statistical Moments of Characteristic Functions*, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp. 1123–1126, 2007.
- SZABÓ, R. Y GONTEAN, A.: *Industria robotic automation with Raspberry Pi using image processing*, International Conference on Applied Electronics (AE), pp. 265 – 268, 2016.
- SUCHITRA SUJA, P. Y SHIKHA, T.: *Real-time emotion recognition from facial images using Raspberry Pi II*, 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), pp. 666–670, 2016.