

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SELECCIÓN DE GRANOS DE CAFÉ TOSTADO BASADO EN UN MICROPROCESADOR RASPBERRY-PI

Alberto Nicolas Bautista Bautista

Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación
alberto_bautista85@hotmail.com

Víctor Vivanco Trujillo

Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación
vivanco.truvi@gmail.com

Mario Alberto García Martínez

Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación
gmmario55@gmail.com

Oscar Osvaldo Sandoval González

Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación
o.sandovalgonzalez@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se presenta el diseño de un sistema basado en el procesamiento de imágenes digitales para la selección de granos de café tostado, mediante la utilización de software y hardware libre. Se realiza la implementación de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) basada en un microprocesador Raspberry-Pi "B" Modelo 2. Las características intrínsecas del microprocesador, con el apoyo de una cámara dedicada (Raspicam) y la programación del software requerido, han permitido obtener y procesar imágenes en formato digital. El procesamiento de las imágenes se basa en utilizar el método *background subtraction*. Posteriormente se calcula la ROI (*Region of interest*) del área de interés y se genera el histograma de color de cada ROI. Este histograma se compara con un histograma base y se obtiene un valor que permite seleccionar

granos de café tostado. Con esta plataforma software/hardware se puede realizar una selección correcta de granos de café tostado de acuerdo a la característica particular de color que requiere la verificación de la calidad del tipo de grano de café que se desee por parte del usuario.

Palabra(s) Clave(s): Procesamiento de imágenes, Raspberry Pi, tarjetas de adquisición de dato (DAQ).

1. Introducción

El procesamiento digital de señales, y particularmente de imágenes, es ya en nuestro tiempo un área de aplicación tecnológica altamente atendida y necesaria. La selección de productos deseados entre un conjunto de productos que puede incluir defectuosos o no deseados en una línea de producción, es llevada a cabo comúnmente de forma manual; este procedimiento manual puede presentar diferentes problemáticas y factores que repercuten en la eficiencia del sistema. A lo largo de los últimos años y con el fin de realizar sistemas verdaderamente capaces de modernizar, agilizar y volver más eficiente esta parte del proceso, se ha optado por utilizar técnicas que basen su funcionamiento en el campo de la visión artificial y el procesamiento de imágenes. Se han desarrollado varios sistemas de selección de diversos materiales o productos bajo éste principio de funcionamiento. Un ejemplo de ello es el sistema de visión para la selección de tamarindo dulce reportado en [1], el cual permite identificar entre dos tipos de vaina de tamarindo en base a los parámetros de forma, tamaño y defectos. Este sistema se encuentra compuesto por una cámara CCD, microcontroladores, sensores y una computadora; el programa de computadora se encuentra escrito en Borland C++5.0. Un ejemplo más es el desarrollo de una máquina para la automatización de la selección de arilos de granada basada en visión por computadora. Los autores en [2] muestran que esta máquina es capaz de detectar y remover material indeseado y seleccionar los arilos por cuatro colores. Este sistema de visión por computadora se encuentra compuesto por dos cámaras, una computadora y un sistema de iluminación; el software para el análisis de las imágenes se encuentra escrito en lenguaje C. Un ejemplo final de la utilización de

estos sistemas es el trabajo realizado en [3], para determinar la aplicabilidad y efectos de un sistema de selección por color en la línea de producción de bulgur. Para el desarrollo del sistema se utilizó un microprocesador, un fotodetector, dos cámaras y una computadora.

Así como en el caso del tamarindo, la granada y otros productos de diversas áreas de producción se han automatizado sus procesos de selección y análisis, en este trabajo se busca desarrollar un sistema de selección de granos de café tostado basado en el microprocesador Raspberry Pi. Este trabajo se enfoca en la necesidad de controlar un proceso de selección de granos de café tostado en base al procesamiento de imágenes con ayuda de tarjetas DAQ (tarjetas de adquisición de datos) que se consideran de uso libre sobre plataformas software/hardware. Cabe mencionar que la adquisición de datos consiste en la medición de un fenómeno físico o eléctrico para generar información que pueda ser manipulada por un sistema electrónico, proporcionando una solución para la obtención de mediciones que sea más potente, flexible y rentable [4].

En éste proyecto se ha diseñado y desarrollado un sistema de adquisición de datos basado en el microprocesador Raspberry-Pi B modelo 2. La tarjeta Raspberry-Pi permite el procesamiento de información sin la necesidad de comunicarse o conectarse con una computadora personal, lo cual hace posible crear un sistema de adquisición de datos mínimo dedicado a las tareas específicas de recepción, transmisión y tratado de la información [5].

La interfaz de este sistema está creada sobre las plataformas de programación Gambas y Python, las cuales son plataformas de software de desarrollo libre; por lo tanto, puede ser reprogramadas a nivel software cuantas veces sea necesario. Esto permite la implementación de un sistema versátil, multipropósito y aplicable a diversos sistemas que requieren el procesamiento de señales digitales.

2. Desarrollo

El sistema de adquisición de datos que proponemos está integrado por un sensor, una tarjeta DAQ y el microprocesador que contiene un software de

programación que permite crear una interfaz y procesar la información recibida como se muestra en la figura 1.

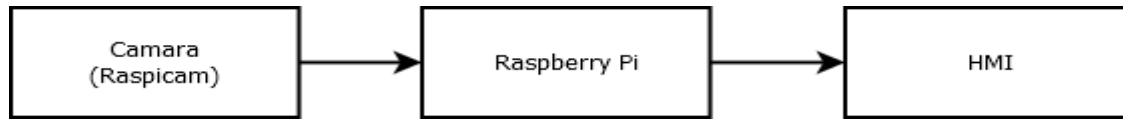


Figura 1 Diagrama a bloques de componentes del sistema.

Las señales analógicas y digitales pueden describir un sinnúmero de fenómenos y por medio de diversos dispositivos pueden ser captadas e interpretadas para su posterior utilización. Este trabajo se enfoca principalmente en el tratado de señales digitales. Una señal digital a diferencia de una señal analógica se define sobre un intervalo discreto de tiempo [6]. El sistema recibe señales digitales, las cuales provienen de un sensor, en este caso una cámara. El dispositivo que actúa como sensor es la cámara Raspicam, dispositivo propio de la tarjeta Raspberry-Pi. Es una cámara de video de alta definición con una resolución de 5 megapíxeles, grabación de video en 1080p HD y con una frecuencia máxima de cuadros de 90 fps [7]; Esta última característica hace que este dispositivo sea idóneo para la realización de éste proyecto.

Para éste trabajo se tomó como caso de estudio la selección de granos de café tostado [8], usando como plataforma de hardware un microprocesador Raspberry-Pi.

El sistema de selección de granos de café tostado se compone de una tolva dosificadora, una banda transportadora, una fuente de luz dentro de un medio controlado de forma de prisma rectangular de 20x15x10cm, una cámara (Raspicam), una electroválvula y la unidad de control y procesamiento de imágenes. En la figura 2 se puede observar un esquema del sistema de selección de granos de café tostado.

Para iniciar el proceso de análisis y selección de granos de café tostado; dentro de la tolva se introducen algunos granos de café, estos caen de la tolva hacia una banda transportadora y se desplazan hacia el medio controlado, el cual se

encuentra iluminado en su interior por unas tiras de *Leds* localizadas en la parte superior y lateral de éste.

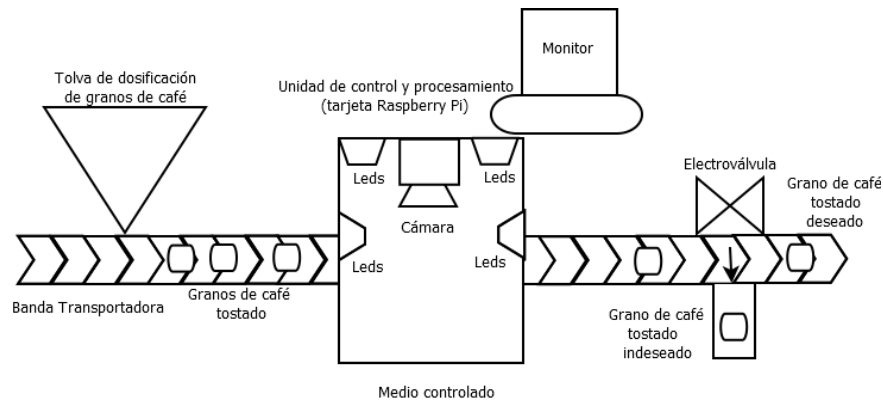


Figura 2 Diagrama del sistema de selección de granos de café tostado.

Una vez que los granos de café se encuentran dentro del medio controlado son captados por la cámara, la cámara manda la información hacia la tarjeta Raspberry Pi, aquí la información es procesada y mostrada en pantalla. El resultado obtenido por medio del procesamiento de imágenes de los granos de café es transmitido a la electroválvula, la cual permite el paso del grano de café tostado o lo expulsa hacia otro canal, dependiendo si el grano de café es deseado o no de acuerdo al parámetro de color establecido por el usuario.

El proceso utilizado para el tratamiento de las imágenes se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Como primer paso se le proporciona al programa una imagen base, la cual sirve como muestra para establecer el color del grano de café tostado contra el cual se compararán los demás granos de café y así seleccionar los que son correctos o no, esto se puede observar en la figura 3.

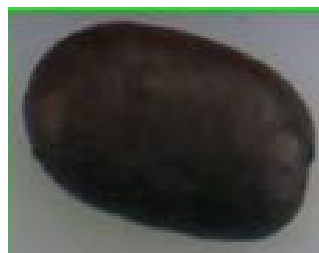


Figura 3 Imagen de grano de café tostado base.

- Posteriormente se activa la toma de imagen y se realiza el método denominado *background subtraction*, el cual consiste en determinar un frame inicial para poder compararlo con los siguientes frames que se van generando a lo largo de la captación de video. Este frame inicial se toma de la primera imagen que ve la cámara al correr el programa, se guarda la imagen generándose una matriz de ésta y posteriormente se van tomando frames consecutivos a lo largo de la toma del video, estos frames también se guardan en forma de una matriz. Cada matriz que se genera de cada frame posterior al inicial es restada a la matriz del frame inicial, esto permite detectar cambios que se generen en el área donde se está trabajando, dicho con otras palabras, se detecta cualquier movimiento generado en el área de interés. Cada vez que es detectado algún tipo de cambio con respecto al frame inicial, éste es mostrado por medio de una máscara llamada *FrameDelta*. En esta máscara se muestra claramente el resultado de cada resta entre el frame inicial y los frames posteriores. Una vez que es detectado algún movimiento, éste es detectado por la máscara *FrameDelta*, y se determina el área donde se localiza el movimiento, como se observa en la figura 4, y posteriormente será enmarcado por un rectángulo verde.



Figura 4 Máscara *FrameDelta* original y máscara *FrameDelta* con grano de café tostado.

- Este procedimiento está basado en el método de la región de interés o ROI por sus siglas en inglés (*region of interest*), el cual consiste en tomar solo una porción del total de una imagen y así poder analizar más fácilmente esa región específica. Dibujar una región de interés es uno de los puntos críticos de esta metodología para detección de granos de café. La ROI

genera una pequeña imagen del objeto presente en ese momento en que se produce un cambio en el frame inicial, para este caso se trata de granos de café tostado, captando principalmente la parte central del grano.

- Una vez generada la ROI, ésta es captada como una pequeña imagen y a cada imagen generada de una ROI se le genera su propio histograma de color; la ROI se puede observar en la figura 5. Al principio del programa se cargó una imagen base de un grano de café tostado, la cual sirve como referencia para identificar los granos de café correctos; a esta imagen base se le calcula su histograma de color también. Una vez calculado el histograma de color de la imagen base y de cada grano de café tostado detectado por la cámara, se comparan ambos histogramas y si tienen gran coincidencia se determina que es un grano de café correcto. El programa utiliza un método de comparación basado en una librería *OpenCV*. Este método se basa en encontrar la correlación (*CV_COMP_CORREL*) entre histogramas; cuando existe una correlación perfecta entre el histograma base y el histograma generado de cada ROI. El valor que nos proporciona la comparación de correlación es 1.0, lo que significa que las dos imágenes son exactamente iguales y dependiendo de qué tan diferentes sean las imágenes, los valores que nos proporcione la comparación de histogramas tendrá un valor entre 0.9 y 0; el valor "0" significa que son completamente diferentes.



Figura 5 ROI de un grano de café tostado.

- Después de realizar varias pruebas con el algoritmo de detección de granos de café tostado se observaron los valores que proporcionaba la comparación

de histogramas y se determinó que para el algoritmo de programación se tomarán valores entre un rango de 0.5 y 1.0 para determinar si un grano de café tostado es correcto. Si la comparación de histogramas da un valor menor de 0.5 significa que no corresponde a un grano de café tostado correcto, esto debido a que no es del color deseado o idóneo.

- Una vez que son comparados los granos de café y se determina si son correctos o no de acuerdo al valor proporcionado por el programa, se envía un valor “1” o “0” por uno de los puertos GPIO de la tarjeta Raspberry Pi. El valor “1” corresponde a un voltaje de 3.3 V y el valor “0” a un voltaje de 0 V. Estos voltajes son mandados a una electroválvula FESTO, la cual al recibir la señal de control de valor “1” se acciona y permite el paso del aire a presión; la electroválvula está alimentada con una presión de 30 psi de aire. La electroválvula al permitir el paso de aire al recibir un valor de “1” proveniente de la tarjeta Raspberry Pi realiza la acción de expulsar hacia un canal externo los granos de café tostado incorrectos o no deseados para el sistema. Si el grano de café es semejante al color propuesto, el programa manda un valor “0” desde la Raspberry Pi hacia la electroválvula, lo cual significa que no realizará ninguna acción la electroválvula, permitiendo el paso del grano de café tostado por la banda sin ningún problema. En la figura 6 se muestra el sistema de selección de granos de café tostado.



Figura 6 Sistema de selección de granos de café tostado.

3. Resultados

Después de realizar varias pruebas con el sistema de selección de granos de café tostado se obtuvieron los siguientes resultados. Se trabajó con la cámara Raspicam para realizar la selección de granos de café, teniendo como objetivo identificar granos de un color específico. Se lograron detectar y seleccionar satisfactoriamente los granos de café tostado de determinado color; se colocó un vidrio cuadrado en la banda transportadora en el área que se encuentra dentro del medio controlado, ya que éste logra resaltar mejor los granos de café u objetos que pasen sobre él. En la figura 7 se puede ver el arreglo que se hizo en la banda transportadora.



Figura 7 Vidrio que ayuda a reconocer mejor los granos de café y objetos en movimiento.

Una vez que se encuentran los granos de café sobre la superficie de vidrio; para el programa es más fácil detectarlos sobre esa superficie. El programa calcula el histograma de color de cada objeto y lo compara con el histograma base, un valor entre 0.5 y 1 resultante de la comparación, significa que es un grano de café tostado correcto, por lo tanto, se redondea el valor a 1 para poder ser mandado por un puerto GPIO de la tarjeta Raspberry Pi. Al realizar pruebas con diferentes colores y objetos se obtuvieron los resultados que se muestran en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1 Resultado de comparación de histogramas de color.

Color y objeto	Resultado de comparación de histogramas	Valor pin GPIO
 Grano de café tostado	0.744577721058	1
 Objeto semejante a grano de café	0.489854360464	0

Tabla 2 Continuación de resultado de comparación de histogramas de color.

Color y objeto	Resultado de comparación de histogramas	Valor pin GPIO
 Objeto semejante a grano de café	0.452702584625	0
 Grano de café quemado	0.331545286125	0
 Objeto semejante a grano de café	0.319300271048	0

Tabla 3 Continuación de resultado de comparación de histogramas de color.

Color y objeto	Resultado de comparación de histogramas	Valor pin GPIO
 Objeto semejante a grano de café	0.0650878812936	0
 Objeto semejante a grano de café	0.057513889765	0

4. Discusión

Un primer punto que debemos mencionar es la situación que se detectó en cuanto a la velocidad de frames por segundo al momento de detectar los granos de café; ésta se veía ralentizada considerablemente al correr el programa y mostrar la información en pantalla, situación un poco problemática si se requiere gran exactitud al realizar el procesamiento de imágenes. La instalación de librerías externas al sistema operativo Raspbian, la librería OpenCV y al IDE de Python es algo destacable por mencionar, ya que si no se cuenta con suficiente espacio en memoria podría causar problemas a nivel hardware.

5. Conclusiones

Se ha presentado el diseño de un sistema de procesamiento de imágenes aplicado a la selección de granos de café tostado. El sistema está basado en el uso de un microprocesador Raspberry-Pi como procesador de uso específico en contraparte de la mayoría de los sistemas de este tipo que requieren de un procesador de uso general, es decir de una computadora. Consideramos que el procesamiento de imágenes fue bastante eficiente y consistente al permitir realizar correctamente el análisis de las imágenes procedentes de la cámara Raspicam,

procesando la información y mostrándola en pantalla para el análisis por parte del usuario.

El procesamiento de imágenes se puede analizar más profundamente en trabajos futuros atendiendo a la detección y selección de los granos de café por medio de la implementación de histogramas de color mostrándolos en pantalla o guardándolos en un registro de imágenes y así poder ver el porcentaje de color de la muestra que se está tomando y observar más claramente cómo es que se obtienen los resultados de cada comparación; buscando principalmente no ralentizar el sistema.

Un trabajo futuro consiste en mejorar la recepción de los datos obtenidos por medio de la comunicación serial entre tarjetas y sensores, para poder realizarla de manera más rápida y precisa.

En cuanto al procesamiento de las imágenes, se procurará desarrollar un trabajo más preciso en el desarrollo del algoritmo de detección de granos de café para prevenir la ralentización del programa y poder realizar en mayor número de frames el análisis y procesamiento de las imágenes procedentes de la Raspicam.

Poder grabar en 60 fps y 90 fps la toma de video y guardar en un registro los videos, y así analizar con mayor detalle la información procedente de la cámara, será un trabajo relevante para un futuro mediato.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] B. Jarimopas, N. Jaisin, "An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind". *Journal of food engineering*. 15 May 2008. Pág. 7.
- [2] J. Blasco, S. Cubero, J. Gómez – Sanchís, P. Mira, E. Moltó. "Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils base don computer vision". *Journal of food engineering*. 30 May 2008. Pág. 8.
- [3] M. Bayram, M. D. Öner. "Determination of applicability and effects of color sorting system in bulgur production line". *Journal of food engineering*. 7 March 2005. Pág. 8.
- [4] <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. Junio 2016.

- [5] M. Richardson, S. Wallace, "Getting started with Raspberry Pi", Published by O'Reilly Media, Inc. December 2012
- [6] OGATA, Katsuhiko. "Sistemas de Control en Tiempo Discreto". Segunda Edición. 1996. Prentice Hall. México D.F. Pp. 1-6.
- [7] Módulo de Cámara. <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/camera/>. Junio 2016.
- [8] G. Daza, L.G. Sánchez, J.F. Suárez, "Selección de características orientadas a sistemas de reconocimiento de granos maduros de café". *Scientia et Technica*. Vol. 13. Issue 35. 2007. Pp. 139-144.
- [9] J. E. Hernández, F. Prieto, "Clasificación de granos de café usando FPGA". *Ingeniería y Competitividad*. Vol.7. Issue 2. 2005. Pp. 35-42.

7. Autores

Ing. Alberto Nicolás Bautista Bautista es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba y cursa actualmente estudios de Maestría en Ingeniería Electrónica en la División de Posgrado del Instituto Tecnológico de Orizaba.

Ing. Víctor Vivanco Trujillo es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Orizaba y cursa actualmente estudios de Maestría en Ingeniería Electrónica en la División de Posgrado del Instituto Tecnológico de Orizaba.

Dr. Mario Alberto García Martínez obtuvo su grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en el CINVESTAV del IPN y actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en el Instituto Tecnológico de Orizaba en la Maestría en Ing. Electrónica.

Dr. Oscar Osvaldo Sandoval González obtuvo su grado de Doctor en Robótica en la Scuola Superiore Sant'Ana en Pisa Italia, y actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en el Instituto Tecnológico de Orizaba en la Maestría en Ing. Electrónica.