

AP03 - Sistema de visión artificial embarcado en un vehículo agrícola para la inspección en tiempo real de fruta mientras se recolecta

Cubero, S.¹; Albert, F.²; López, S.¹; Ramos, P.^{3,4}; Blasco, J.¹; Aleixos, N.²

¹ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera, Km 5, 46113 Moncada, Valencia, España. e-mail: {cubero_ser, lopez_sanala, blasco_josiva@gva.es}² Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. e-mail: {fraalgi1, naleixos@dig.upv.es}³ Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, km 4 vía antigua Chinchina – Manizales, Colombia. e-mail: paula.ramos@cafedecolombia.com. ⁴ Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Carrera. 45 # 26-85, Bogotá D.C., Colombia. e-mail: paula.ramos@cafedecolombia.com

Resumen

Se ha diseñado un sistema de inspección de fruta en tiempo real basado en visión por computador optimizado para ser embarcado en un vehículo agrícola, que consta de una cámara, un sistema de iluminación basado en tecnología LED y un ordenador industrial. Todo el sistema está alimentado únicamente mediante paneles solares y se puede incorporar a un vehículo agrícola capaz de transportar la fruta a través de una zona de inspección. La alimentación de los LED en modo estroboscópico, la captura y análisis de las imágenes y la posterior separación de la fruta está sincronizada con el avance de la fruta mediante un codificador de pulsos incremental conectado al eje de la cinta transportadora. En este trabajo, el sistema se ha probado inspeccionando naranjas sobre una plataforma móvil de asistencia a la recolección de cítricos con capacidad para individualizar la fruta, transportarla haciéndola rotar mientras atraviesa la zona de inspección y separarla en categorías de calidad en función de su color, tamaño y defectos. Se ha diseñado un algoritmo de segmentación de imágenes para detectar los defectos más comunes de la piel de los cítricos, el tamaño y el color a partir de varias vistas de la fruta adquiridas mientras ésta avanza por la zona de inspección. Finalmente, el sistema de visión se comunica con el control de la máquina para separar la fruta por su salida correspondiente. Los resultados preliminares son prometedores y demuestran el potencial de estos sistemas para realizar una preselección de la fruta mientras se recolecta y detectar aquellas que no tienen calidad suficiente para su comercialización en fresco.

Palabras clave: Segmentación de imágenes, agricultura de precisión, plataforma de asistencia, recolección de cítricos.

Machine vision system integrated on an agricultural vehicle for the in-line real-time quality inspection of fruit at harvest

Abstract

A fruit inspection system based in real-time computer vision has been designed especially to be embarked on an agricultural vehicle, consisting of a camera, a lighting system based on LED technology and an industrial computer. The system is powered entirely by solar panels and can be incorporated into an agricultural vehicle capable of transporting fruit through an inspection chamber. The LEDs powered in strobe mode, the acquisition and analysis of the images, and the subsequent separation of the fruit are synchronized with the advance of the fruit by incremental encoder connected to the shaft of the conveyor belt. In this paper, the system was tested by inspecting oranges on a mobile platform to assist in the citrus harvesting, with capacity to individualise, transporting and separating the fruit into quality categories according to their colour, size and defects. An algorithm of image segmentation was developed to detect the most common skin blemishes of citrus fruits, the size and the colour from multiple views of the fruit acquired while it moves rotating through the inspection area. Finally, the vision system communicates with the control of the machine to separate the fruit by the outlets corresponding to their quality. Preliminary results are promising and demonstrate the potential of these systems to perform a presorting of the fruit while it is collected and detect those that do not achieve quality to be sent to the market.

Keywords: Image segmentation, precision agriculture, mobile platform, citrus harvesting.

Justificación

Una parte importante de los costes totales de la producción de frutas y hortalizas corresponden a la recolección, tarea que puede suponer entre el 30% y el 60% al realizarse principalmente de forma manual, lo que da una idea de la influencia que tiene sobre el precio final del producto (Ruiz-Altisent *et al.*, 2004). En el caso de los cítricos, la fruta se deposita en cajas que son transportadas por los propios recolectores hasta la zona donde se carga en camiones y se transporta a las centrales hortofrutícolas para su posterior tratamiento y comercialización. Esta forma de recolección genera grandes tiempos muertos, por lo que se considera ineficiente y costosa. Para mejorar esta situación y reducir los costes de producción, se están realizando estudios para mecanizar y automatizar las labores de recolección (Torregrosa *et al.*, 2009; Ortiz *et al.*, 2011; Shamshiri *et al.*, 2013; Torregrosa *et al.*, 2014).

En estos estudios, se han destacado como una alternativa viable las plataformas de asistencia a la recolección, máquinas autónomas que facilitan las operaciones de recolección a pie de árbol, evitando que los recolectores transporten la fruta hasta los camiones. Estas máquinas ofrecen, además, algunas ventajas adicionales, como por ejemplo, la posibilidad de inspeccionar el producto recién recolectado en el propio campo, ofreciendo la posibilidad de preseleccionar la fruta individualmente y separarla en lotes según tamaño, color o presencia de defectos en la piel. En el caso de los cítricos, aquellas frutas que no cumplen los estándares de calidad para consumo en fresco se podrían detectar y llevar directamente a la industria de transformación, con el consiguiente ahorro en tratamientos, almacenaje y transporte en que se incurre en la actualidad transportando y procesando esta fruta en los almacenes de confección junto con el resto de frutas de buena calidad. Otro caso donde puede ser importante hacer una preselección en el campo es el de la estimación del color al inicio de la campaña, cuando la fruta recolectada ha alcanzado su nivel óptimo de maduración pero no la coloración externa característica, por lo que se tiene que someter a tratamientos de desverdización cuya duración depende del color en el momento de la recolección.

La visión por computador es una tecnología utilizada ampliamente en la evaluación automática de la calidad de frutas y hortalizas en centrales hortofrutícolas (Cubero *et al.*, 2011, Lorente *et al.*, 2012), sin embargo, resulta complicado llevar esta tecnología al campo e incorporarla sobre un vehículo agrícola, donde el suministro eléctrico es limitado, las condiciones ambientales son desfavorables y cambiantes, existe suciedad y fuertes vibraciones provocadas por la mecánica del vehículo.

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema de inspección de fruta basado en visión por computador en tiempo real y que se puede utilizar embarcado en un vehículo agrícola. Este sistema consta de una cámara, un eficiente sistema de iluminación basado en tecnología LED y un ordenador industrial. Todos los elementos del sistema se alimentan mediante paneles solares y se puede incorporar a un vehículo agrícola capaz de transportar la fruta a través de una zona de inspección.

Las principales limitaciones de un sistema de este tipo son la robustez para funcionar en condiciones de campo, tamaño reducido para facilitar su instalación y mantenimiento sobre una máquina agrícola, consumo energético mínimo ya que se trata de un vehículo

autónomo que funciona con baterías, y una alta velocidad de procesamiento capaz de inspeccionar toda la fruta mientras se recolecta.

Materiales y Métodos

Los sistemas de inspección de fruta basados en visión por computador utilizados en las centrales de confección tienen unas grandes dimensiones debido a que las cámaras suelen situarse en posición perpendicular a los carriles de transporte de fruta. Trasladar un sistema de este tipo a una máquina en campo supondría aumentar aproximadamente un metro la altura de la máquina, lo que provocaría problemas a la hora de transportar y almacenar la máquina, además de los propios de mantenimiento de una estructura de tanto volumen. Por ello, se ha tratado de reducir al máximo el tamaño del sistema de visión y hacerlo más ligero, cómodo en su mantenimiento y con la menor altura posible. Sin embargo, las estructuras deben ser robustas y permitir su montaje y desmontaje sin alterar los parámetros de configuración del sistema de visión.

Se ha desarrollado un nuevo diseño (Figura 1) que cumple con todos estos condicionantes basado en una estructura donde la cámara se encuentra en un plano paralelo al avance de la fruta, y entre ellos se sitúa un espejo a 45° sin alterar la escena a analizar. De esta forma, se consigue que todo el sistema de inspección tenga una altura total de solo 330 mm.

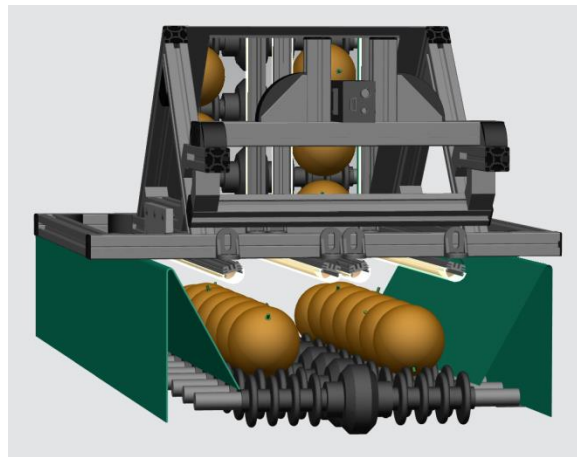


Figura 1. Diseño del sistema de visión sobre una línea de rodillos

Para adquirir las imágenes se ha seleccionado una cámara color Manta G-125C (Allied Vision Technologies GmbH, Alemania) que cuenta con un puerto de comunicaciones de alta velocidad Giga Ethernet y alimentación a través del propio cable de comunicaciones (PoE). Esta cámara permite adquirir hasta 30 imágenes color (RGB, rojo, verde, azul) por segundo con una resolución de 1296 x 966 píxeles, requerimientos suficientes para la aplicación. Se ha establecido un tiempo de exposición de 1/500 s para evitar que las imágenes aparezcan movidas ya que la fruta se desplaza a alta velocidad.

El sistema de iluminación está formado por tiras de diodos LED de alta luminosidad, de 600 mm de longitud con una separación de 1 cm entre cada uno de ellos. Las tiras de han dispuesto en sentido longitudinal al sistema de transporte de la fruta, colocando una tira a cada lado de la línea a inspeccionar para proporcionar una iluminación uniforme. Para evitar la presencia de brillos se ha utilizado polarización cruzada, colocando una lámina de filtro polarizador en el interior de las carcasas protectoras de los LED y otro en

la lente de la cámara. A pesar de que los LED son muy eficientes energéticamente, es necesario reducir su consumo dada la gran cantidad de LED necesarios. Para ello, se ha diseñado un sistema de encendido sincronizado con la adquisición de las imágenes de forma que únicamente permanecen encendidos durante el momento de la adquisición de cada imagen, ahorrando así hasta un 93% de energía y con una disipación de calor completamente nula, permitiendo la integración de los filtros polarizadores en el interior de las carcasas de protección de las tiras de LED.

Para procesar las imágenes se ha utilizado un ordenador industrial (Nuvo-3000E/DIO, Neousys Technology Inc., Taiwan) que incorpora un procesador Intel® i7 y 4 GB de memoria RAM. Estos dispositivos están diseñados para trabajar en condiciones adversas y ofrecen un alto grado de protección, permitiendo su aislamiento en una caja estanca gracias a su funcionamiento sin ventilación. Además, están especialmente diseñados para su utilización en vehículos, trabajando con voltajes entre 8 V y 25 V DC, lo que permite conectarlos directamente a la batería del vehículo.

Sin embargo, el objetivo es crear un sistema que se pueda incorporar a cualquier vehículo y por lo tanto es aconsejable obtener una independencia energética respecto del mismo. Para ello, se ha incluido una placa solar de 756 x 460 mm (SM 160-M, Solara GmbH, Alemania) sobre la cubierta del sistema de visión, una batería de 12 V y un controlador de carga que maneja tanto la entrada de energía a la batería como el consumo de todo el sistema, lo que permite que funcione de forma autónoma. Además, se ha utilizado un sistema de posicionamiento global (GPS) que permite georeferenciar la cosecha y crear mapas del estado del cultivo. El esquema de conexión completo se muestra en la Figura 2.

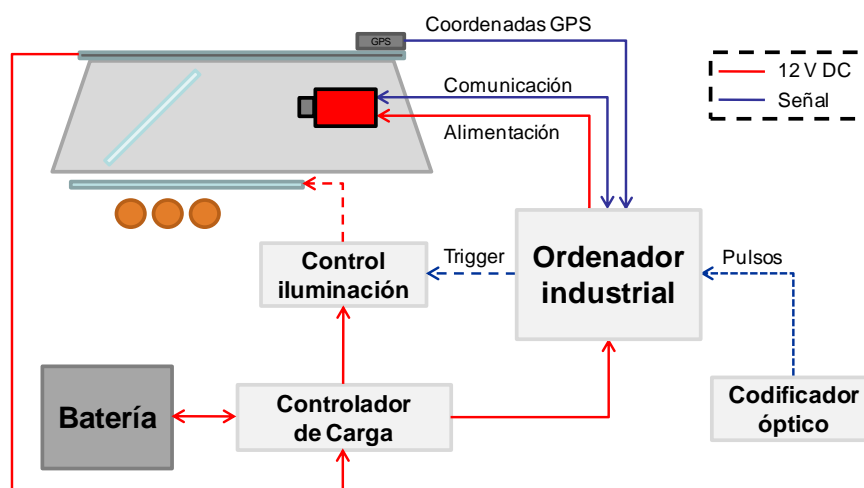


Figura 2. Esquema del sistema desarrollado

Cuando la fruta se está inspeccionando, el codificador óptico del vehículo envía pulsos eléctricos sincronizados con el avance de la fruta que se reciben en una entrada digital del ordenador. De modo similar, a través de una salida digital se realiza el disparo de la cámara y la iluminación (*trigger*). Se realiza la captura de una imagen a cada paso de rodillo, o sea, cada vez que una fruta completa entra en la escena, por lo que el disparo de la cámara se efectúa cuando se recibe la cantidad de pulsos correspondiente entre dos rodillos. Como en una escena hay cuatro frutas de cada línea, se garantiza la captura de cuatro vistas diferentes de la misma fruta, maximizando así la superficie de piel analizada.

Cada imagen recibida por el ordenador se segmenta clasificando los píxeles que pertenecen a la fruta y los que pertenecen al fondo de la imagen. Se ha utilizado para ello el ratio G/B entre el valor de verde y azul del valor RGB de cada píxel, de tal forma que aquellos píxeles cuyo valor está por encima de un umbral se consideran fruta y el resto fondo. Se ha establecido esta ratio debido a que los píxeles de la fruta presentan valores muy bajos en la componente azul y muy elevados en la verde en todos los estados de maduración, mientras que los píxeles de fondo presentan siempre valores muy bajos de ambos valores.

Una vez segmentada la imagen se realiza la búsqueda de cada fruta completa así como de las diferentes características (objetos) que puede presentar (pedúnculo, zonas de piel naranja o verde, defectos, etc), donde para cada una de las frutas y objetos encontrados se determinan parámetros como el perímetro, diámetros máximo y mínimo, área y centroide entre otros. Para implementar esta búsqueda de objetos se ha utilizado un método basado en código de cadena (Freeman, 1961), que busca los píxeles que pertenecen al contorno de cada objeto. Posteriormente, recorriendo esos píxeles del contorno se extraen el resto de parámetros.

El momento de recolección depende del estado de madurez de la fruta, sobre todo al inicio de la campaña, y el principal indicador que se utiliza es su color. Según sea este, la fruta se puede someter a un tratamiento de desverdización si no ha alcanzado un color comercial. La duración de estos tratamientos depende de su coloración, por lo que es importante estimarlo de forma objetiva. El índice de color de los cítricos (ICC) es el principal estándar en la industria cítrica española para determinar el color y, por tanto, cuándo se debe recolectar o qué tipo de tratamiento precisa la fruta (Jimenez-Cuesta *et al.*, 1981; DOGV, 2006).

Para estimar el ICC, se calcula el valor RGB promedio de todos los píxeles incluidos en el interior del contorno de una fruta. Posteriormente, se realiza la conversión del valor resultante al espacio de color Hunter Lab ya que originalmente el ICC se definió utilizando este espacio. En las pruebas realizadas se han utilizado unos LED con una temperatura de color de 6000 K, por lo que se han utilizado las ecuaciones para hacer la conversión correspondientes al iluminante D65 (6500 K) y al observador 10°, que se encuentran descritas en Hunter Lab (2008). Según la Ecuación (1), se puede calcular el ICC a partir de los valores de las componentes L, a y b del espacio de color Hunter Lab obtenidos tanto por colorímetros como por los algoritmos desarrollados (Vidal *et al.*, 2013).

$$ICC = \frac{1000*a}{L*b} \quad (1)$$

En la Figura 3 se muestra el aspecto visual de frutas con diferente coloración y sus valores aproximados de ICC, aunque en la realidad la coloración no es uniforme.

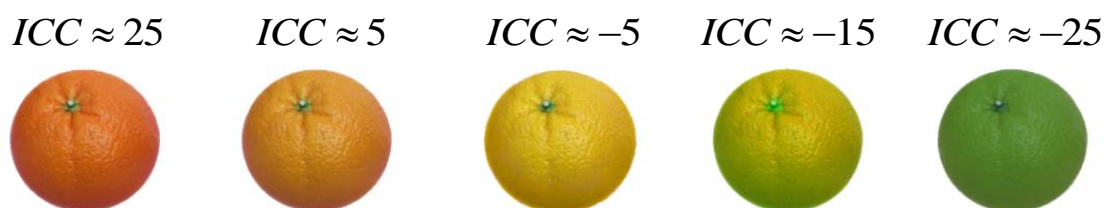


Figura 3. Aspecto visual del ICC de una naranja

Otro parámetro importante y que requiere algoritmos más complejos es la detección de defectos. Esta se ha realizado mediante la identificación del color de algunos píxeles como pertenecientes a zonas de defectos. Utilizando la aplicación Food-ColorInspector (<http://www.cofilab.com>) se realizó un entrenamiento previo basado en un clasificador bayesiano que permitió la creación de un mapa de color en el que se identifican los defectos superficiales más comunes en cítricos. Tanto los píxeles que corresponden a piel sana como a daños se clasifican en categorías. Los algoritmos de análisis de imágenes clasifican cada uno de los píxeles del interior del contorno de una fruta en una de las clases de defecto y posteriormente se calculan las áreas de los daños encontrados. Si una fruta presenta un daño con área superior a un determinado umbral se considera que esa fruta está dañada.

Cada fruta se inspecciona cuatro veces presentando diferentes vistas a la cámara, los valores de los parámetros totales corresponderán a los valores medios obtenidos en cada una de las imágenes. En el caso de los defectos, se considera una fruta como dañada si en al menos una vista se ha clasificado como dañada. Para saber en qué posición se encuentra la fruta en la imagen, se han utilizado las coordenadas X e Y del centroide de cada fruta. Según la orientación de la cámara, una de las coordenadas indicará la línea en la que se encuentra la fruta y la otra coordenada la vista de la fruta para poder seguirla en las siguientes imágenes y poder calcular el valor medio de los resultados individuales obtenidos.

Para probar el sistema, se utilizaron 150 naranjas de la variedad 'Navelate' recolectadas aleatoriamente en las parcelas del IVIA para ofrecer un conjunto representativo de muestras con diferentes tamaños y colores. Estas frutas se lavaron previamente, se numeraron y se les midió el diámetro ecuatorial con un calibre digital (Digit-CAL, Tesa, SA, Suiza). El color se midió utilizando un colorímetro (Minolta C400, Konica Minolta Opto, Inc. Japón) en cuatro zonas diferentes de la fruta, una próxima al pistilo, una próxima al pedúnculo y dos en la zona ecuatorial. Posteriormente, se calculó la media de todas estas medidas. Tanto los datos de calibre como los de color se utilizaron a modo de referencias respecto de los datos obtenidos por el sistema automático. La presencia de defectos o manchas en la superficie de la fruta la determinó un experto del IVIA.

El sistema de inspección desarrollado se probó sobre una máquina de asistencia a la recolección desarrollada por la empresa Argilés S.A. (Lleida) con la colaboración del centro de Agroingeniería del IVIA. Esta máquina cuenta con cintas transportadoras donde el recolector deposita la fruta a pie de árbol. Toda la fruta se eleva a la parte superior de la máquina y se individualiza en un sistema de transporte de fruta compuesto por dos líneas paralelas de rodillos y un sistema de clasificación en tres categorías, siendo una de ellas destrío. Esta máquina es capaz de procesar hasta ocho frutas por segundo, la velocidad máxima que permite el sistema de transporte de la máquina, capturando cuatro imágenes de cada fruta en distintas caras ya que los rodillos rotan a la vez que se trasladan. Esta máquina, mostrada en la Figura 4, se utiliza principalmente para cítricos aunque podría servir para cualquier otro fruto principalmente esférico.



Figura 4. Vista general de la plataforma móvil con el sistema de visión por computador en la parte superior

Resultados y Discusión

El resultado principal de este trabajo es el diseño y desarrollo de un sistema de visión por computador de reducidas dimensiones y energéticamente autónomo, capaz de inspeccionar fruta en tiempo real y en condiciones de campo durante la recolección. Este sistema permite realizar una preselección automática de la fruta mientras se transporta en un vehículo móvil.

Para la estimación del calibre, se clasificó la fruta en tres grupos a modo de tres diferentes categorías comerciales según el tamaño (menores de 65 mm, entre 65 y 80 mm, y mayores de 80 mm). Se realizó una regresión de un modelo lineal utilizando los valores calculados a partir del diámetro ecuatorial medio de la fruta (en mm) medido con un calibre digital y los diámetros estimados con los algoritmos de análisis de imagen (en píxeles y convertidos a mm). El coeficiente de determinación (R^2) para el modelo lineal (Figura 5) muestra un valor de 0,99, presentando coeficientes estadísticamente significativos (p -valor < 0,05) y un error estándar inferior a 1 mm.

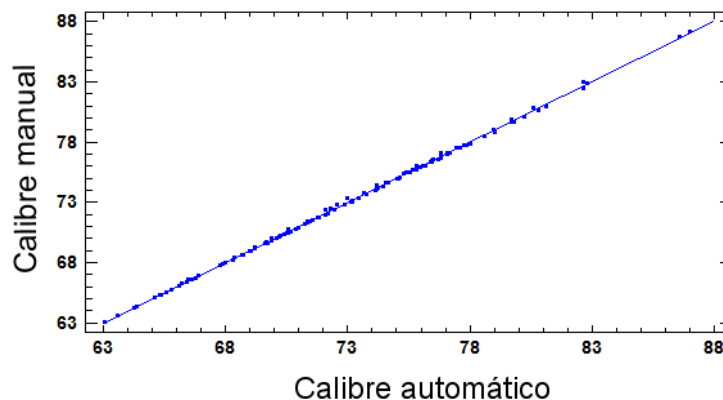


Figura 5. Ajuste al modelo lineal del calibre obtenido de forma manual respecto del automático

Todas las frutas se clasificaron correctamente en sus categorías comerciales de tamaño establecidas, según se observa en la matriz de confusión (Tabla 1).

Para la estimación del color, se ha correlacionado el ICC de la fruta obtenido por las medidas realizadas con el colorímetro respecto del estimado con los algoritmos de análisis de imagen. En este caso se ha obtenido una regresión cuadrática y un R^2 de

0,94 con coeficientes estadísticamente significativos (p -valor < 0,05). El haber obtenido un modelo cuadrático puede deberse a que la diferencia de color real entre diferentes valores de ICC no es uniforme. Los mayores cambios de color se producen para fruta verde (ICC > 0) y fruta naranja claro (ICC < 7). A partir de valores de ICC superiores a 7, la fruta presenta un color naranja más uniforme y las diferencias de color real entre frutas no son muy apreciables. En la Figura 6 se observa el ajuste al modelo lineal.

Tabla 1. Matriz de confusión de la clasificación automática de la fruta según el calibre

	Categoría 1 (%)	Categoría 2 (%)	Categoría 3 (%)
Categoría 1 (calibre < 65)	100,0	0,0	0,0
Categoría 2 (calibre [65-80])	0,0	100,0	0,0
Categoría 3 (calibre > 80)	0,0	0,0	100,0

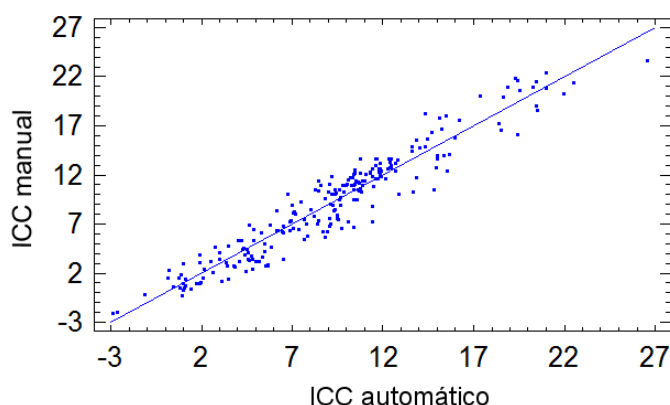


Figura 6. Ajuste al modelo lineal del cálculo del ICC con el colorímetro respecto del obtenido automáticamente

De un modo similar al anterior, se clasificó la fruta en tres categorías de color. En la matriz de confusión representada en la Tabla 2 se observan diferencias en la clasificación principalmente debidas a que los colores de la fruta no son uniformes y dependiendo de las zonas de medida, especialmente en el caso del colorímetro, los valores obtenidos pueden variar ligeramente la clasificación hacia una u otra categoría. De todos modos, en todos los casos se ha obtenido una clasificación superior al 84% de la fruta respecto de los valores tomados como referencia con el colorímetro.

Tabla 2. Matriz de confusión de la clasificación automática de la fruta según el ICC

	Categoría 1 (%)	Categoría 2 (%)	Categoría 3 (%)
Categoría 1 (ICC < 3)	84,0	16,0	0,0
Categoría 2 (3 < ICC < 7)	0,0	91,0	9,0
Categoría 3 (ICC > 7)	0,0	2,0	98,0

Para la clasificación de defectos, no se pudieron obtener valores definitivos debido a problemas de iluminación insuficiente para discriminar adecuadamente los colores de

los defectos. En unas pruebas preliminares realizadas en condiciones de laboratorio aunque con las imágenes capturadas por el sistema creado, se alcanzó una tasa de éxito de aproximadamente el 90% en la detección de los defectos. No obstante, es importante seguir trabajando en la mejora de estos algoritmos para hacerlos más precisos y eficientes.

Aunque la plataforma de recolección utilizada en los ensayos se ha creado principalmente para cítricos, podría servir para cualquier otro fruto esférico. El sistema de inspección a su vez podría adaptarse a cualquier otro tipo de fruta sea cual sea su forma y tamaño, y a cualquier vehículo que cuente con un sistema de individualización y transporte de fruta.

Las pruebas de autonomía realizadas demuestran que no hay problemas de suministro eléctrico después de una jornada completa de 8 horas funcionando a pleno rendimiento, independientemente de la climatología. En condiciones de sol la batería se mantiene por encima del 80% de carga, mientras que en días nublados la descarga de la batería ha sido mayor, aunque suficiente para funcionar durante la jornada completa sin llegar a descargarse completamente y trabajando de forma correcta. Evidentemente se podría conectar el sistema a la batería del vehículo en caso de necesidad, pero queda demostrado que el sistema funciona de forma completamente autónoma con la placa solar y la batería, lo que supone simplicidad de cableado e independencia casi total del vehículo. La estrategia de iluminación con encendido estroboscópico hizo posible este funcionamiento ya que se consiguió pasar de un consumo de aproximadamente 865 W/h a unos 25 W/h.

Este sistema de inspección es una evolución del descrito por Cubero *et al.*, (2014) que no permitía la detección de defectos en la fruta debido a la baja velocidad de procesamiento del equipo utilizado ni la alimentación autónoma con una placa solar y una batería, así como la inclusión de un módulo de posicionamiento que permita la generación de mapas de calidad de la fruta cosechada. En este trabajo, el sistema está preparado para detectar defectos aunque esta característica se encuentra en fase de mejora, al igual que el uso del GPS y la generación de mapas de calidad de la fruta, por lo que no se pueden presentar datos definitivos.

Conclusiones

Se ha desarrollado un sistema de visión por computador con la capacidad de inspeccionar fruta en tiempo real durante la cosecha. Este sistema se puede situar sobre vehículos agrícolas de transporte de fruta y se alimenta de forma autónoma gracias a una placa solar y una batería, simplificando su instalación sobre los vehículos. Este sistema cuenta con características importantes como su reducido tamaño, robustez y eficiencia, gracias al uso de un espejo para reducir la altura total, un potente ordenador industrial y una iluminación con un consumo energético mínimo gracias al encendido estroboscópico implementado que reduce en un 93% la energía necesaria respecto de un funcionamiento en modo continuo.

Los algoritmos de análisis de imagen desarrollados permiten clasificar la fruta atendiendo a parámetros como tamaño, color y presencia de defectos, obteniendo resultados superiores al 90% de éxito en la clasificación en todos los casos, con un 94% en el caso del color y prácticamente un 100% en la estimación del tamaño.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el INIA a través de los proyectos de investigación RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03 con el apoyo de los fondos europeos FEDER, y la colaboración UPV-IVIA mediante el convenio de colaboración UPV-2013000005. Los autores agradecen a la empresa Argilés Diseny i Fabricació S.A. su colaboración.

Bibliografía

- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4(4), 487-504.
- Cubero, S., Aleixos, N., Albert, F., Torregrosa, A., Ortiz, C., García-Navarrete, O., Blasco J., 2014 Optimised computer vision system for automatic pre-grading of citrus fruit in the field using a mobile platform. *Precision Agriculture*, Vol. 15(1), 80-94.
- DOGV, 2006. Diari Oficial de la Comunitat Valenciana, Vol. 5346, 30321-30328.
- Freeman, H., 1961. On the encoding of arbitrary geometric configurations. *IEEE Trans. Elect. Computers*, Vol. 10, 260-268.
- HunterLab, 2008. Applications note, 8(9), disponible en: <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/203997085-Hunter-L-a-b-Color-Scale-an08-96a>. Accedido en Abril de 2015.
- Jiménez-Cuesta, M.J., Cuquerella J., Martínez-Jávega, J.M., 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In *Proc. of the International Society of Citriculture*, Vol. 2, 750-753.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J., 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 5(4), 1121-1142.
- Ortiz, C., Blasco, J., Balasch, S., Torregrosa, A., 2011. Shock absorbing surfaces for collecting fruit during the mechanical harvesting of citrus. *Biosystems Engineering*, Vol. 110, 2-9.
- Ruiz-Altisent, M., Ortiz-Cañavate, J., Valero, C., 2004. Fruit and vegetables harvesting systems. In *Ramdane Dris and Shri Mohan Jain (Eds.), Production practices and quality assessment of food crops*, Vol. 1: Preharves practice. Kluwert Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands, pp. 261-285.
- Shamshiri, R., Ehsani, R., Maja, J.M., Rok, F.M., 2013. Determining machine efficiency parameters for a citrus canopy shaker using yield monitor data. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 29, 33-41.
- Torregrosa, A., Gil, J., Ortiz, C., Ortí, E., Martín, B., 2009. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain. *Biosystems Engineering*, Vol. 104(1), 18-24.
- Torregrosa, A., Albert, F., Aleixos, N., Ortiz, C., Blasco, J., 2014. Analysis of the detachment of citrus fruits by vibration using artificial vision. *Biosystems Engineering*, Vol. 119, 1-12.
- Vidal, A., Talens, P., Prats-Montalbán, J.M., Cubero, S., Albert, F., Blasco, J., 2013. In-Line Estimation of the Standard Colour Index of Citrus Fruits Using a Computer Vision System Developed For a Mobile Platform. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 6, Issue12, pp. 3412-3419.