

Uso de la visión artificial en la estimación automática de la calidad de los arilos de granada

José Blasco y Sergio Cubero

Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA),
Ctra. Moncada-Náquera km 5, 46113 Moncada (Valencia). e-mail:blasco_josiva@gva.es

1. Resumen

La visión artificial es una técnica que, desde hace unos años, se viene empleando habitualmente para la inspección automática de frutas y hortalizas. La programación previa de unos parámetros de calidad permite objetivar la inspección e independizarla de factores que afectan a la tradicional inspección manual como son el cansancio o la disparidad de criterios entre operadores. A la hora de diseñar un equipo para la inspección de fruta procesada empleando esta técnica, la fruta procesada presenta una serie de particularidades respecto de la fruta fresca debido a su difícil manejo, a la mayor fragilidad de producto, a que habitualmente está mojado o húmedo, o a la elevada cantidad de producto que se requiere analizar. El centro de Agroingeniería del IVIA ha desarrollado en colaboración con una empresa del sector un prototipo para la inspección automática de arilos de granada mediante visión artificial. El prototipo incluye sistemas para la individualización y transporte del producto, inspección y separación de un producto. Los algoritmos de procesamiento de imágenes de arilos permiten determinar su posición y color en tiempo real para después clasificarlo hasta en cuatro categorías diferentes con un porcentaje de acierto cercano al 90%.

2. Abstract

Machine vision is being used for automatic inspection of fruits and vegetables. The setting up of previous quality parameters leads to an objective inspection, independent of factors affecting the traditional manual inspection, such as fatigue or difference of criteria

among operators. When designing a machine for inspection of processed using this technique, there is has a number of peculiarities because of its difficult handling, the fragility of the product, which is usually wet, or the high amount of product to be analysed. The Centro de Agroingeniería of IVIA developed in collaboration with a company a prototype for the automatic inspection of pomegranate arils using machine vision. The prototype includes systems for the singularisation, inspection and separation of the arils. The image processing algorithms allow to determine the position and colour of the arils in real time, and then to classify them into four different categories with a success rate close to 90%.

3. Introducción

El consumidor se siente inclinado a la compra de un producto en base a una serie de atributos que los hacen más o menos atractivos, como, por ejemplo, madurez, tamaño, peso, forma, color, presencia de manchas o enfermedades, presencia de irregularidades o de semillas, etc. En resumen, son características que influyen en la apariencia del producto, en sus cualidades nutricionales y organolépticas o en su aptitud para la conservación. La mayoría de estos factores se han evaluado tradicionalmente mediante inspección visual realizada por personal cualificado. Sin embargo, en determinados casos como el de los arilos de granada, una inspección manual adecuada es difícil de conseguir debido al pequeño tamaño del producto y a la gran cantidad de producto a inspeccionar por unidad de tiempo. Una posible alternativa para automatizar el proceso es el desarrollo de sistemas de inspección basados en visión artificial (Blasco et al., 2009a, Cubero et al., 2010) adaptados a la particularidad de este tipo de productos (Blasco et al., 2008, 2009b, 2009c). El Centro de Agroingeniería del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), lleva diseñando, desde hace 20 años, sistemas de visión artificial para automatizar tareas agrícolas (Blasco et al., 2010) y ha trabajado junto con una empresa del sector en el desarrollo de un sistema capaz de inspeccionar de forma automática los arilos de granada. Fruto de estos trabajos se ha creado un prototipo capaz de analizar y separar por su color los arilos en cuatro categorías diferentes.

4. Máquina de selección

Uno de los elementos más problemáticos y claves para el buen funcionamiento del sistema es el de separación del producto. Es muy importante que los grandes viajen separados para que los algoritmos implementados puedan estimar la calidad de cada uno de forma individual. En el caso de que se toquen, el algoritmo necesitaría de características especiales que le permitieran detectar y separar las uniones, de otra forma los datos obtenidos corresponderían al conjunto de arilos en contacto y no a cada uno de forma individual. Por otra parte, si van demasiado juntos, es posible que por el efecto de arrastre el sistema cometa errores durante la fase de separación del producto en calidades. para que el producto entre en las cintas transportadoras separado, se ha usado un vibrador con una inclinación y una frecuencia determinada.

Para tomar las imágenes se utilizan cámaras de muestreo progresivo que adquieren imágenes en color. La escena se ilumina por tubos fluorescentes (tipo luz de día) colocados en la parte superior de unas cintas transportadoras por las que viaja el producto. Estos tubos se

alimentan por medio de balastos electrónicos de alta frecuencia para evitar el efecto de parpadeo. La influencia de brillos en la escena, que podría alterar la percepción del color por el sistema de inspección, se resuelve empleando la técnica de polarización cruzada en las lámparas y en las ópticas de las cámaras. La escena capturada por las cámaras tiene un tamaño de aproximadamente 300 mm a lo largo del movimiento de las cintas transportadoras. Todo el sistema se aloja dentro de una campana de inspección que lo protege del ambiente.

Una vez que los arilos se han inspeccionado pasan por la zona de expulsión, donde se sitúan las salidas del producto. Enfrente de cada salida se ubica un eyector de aire que expelle aire a presión al paso del arilo, desviándolo hasta la salida correspondiente. El flujo de aire se regula a través de unas electroválvulas controladas directamente por el ordenador a través de una tarjeta de entradas y salidas digitales. Tras analizar una imagen, el ordenador determina la calidad de cada arilo individualmente, almacena su posición y estima la distancia hasta la salida correspondiente a esa calidad determinada. A través de un sistema de sincronización, el ordenador es capaz de seguir el movimiento de cada arilo, cuando estima que un arilo va a pasar por la salida elegida, activa la electroválvula y expelle un chorro de aire se desplaza el arilo hasta la salida.

Gráfico 1:
Interfaz del prototipo.





Foto 1: Arilos escogidos al azar de las diferentes salidas del prototipo. Categorías de izquierda a derecha excelente, buena, rechazo 1 y rechazo 2.

5. Software de adquisición de imágenes y análisis

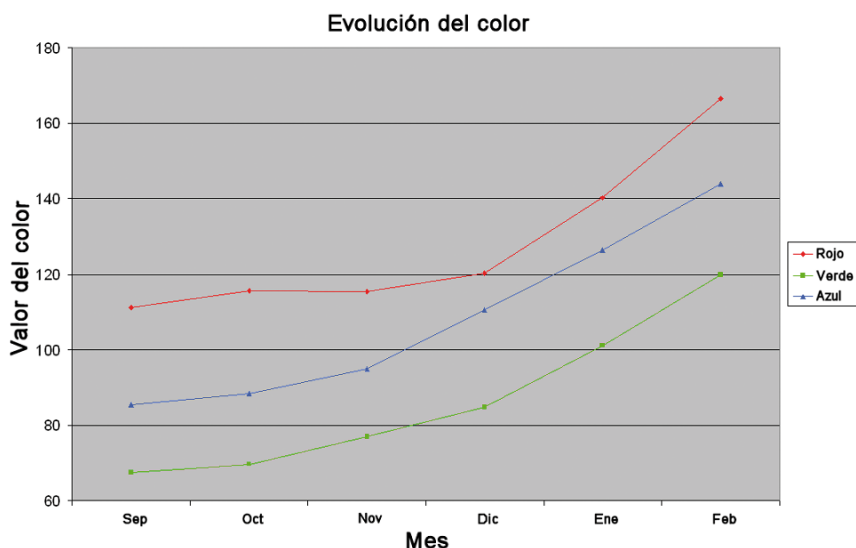
El prototipo se maneja mediante un interfaz amigable que permite seleccionar los parámetros de inspección (gráfico 1). El color de los arilos varía entre blanco-rosa (predominante en el comienzo de la temporada) a rojo-marrón (más frecuente al final de la campaña). Para la realización de las pruebas, el producto se dividió en cinco clases: arilo blanco, arilo rosado, arilo rojo, arilo marrón (podrido) y material no deseado. Esta última categoría incluye principalmente a membranas internas desprendidas durante el proceso de pelado, que son en su mayoría de color blanco y más grande que un arilo. Para comprobar si la clasificación de la máquina se ajustaba a la exigida, se realizaron dos experimentos, el primero de ellos cuantitativo, de forma que la máquina clasificó arilos previamente clasificados por personal cualificado, y el segundo de ellos cualitativo, en el que la máquina procesó varios kilos de fruta que fue después supervisada por el mismo personal.

Para el primer experimento se seleccionaron arilos de diferentes colores que se asignaron manualmente a las distintas categorías predefinidas. En el conjunto de entrenamiento, cada lote de cada categoría se componía de 100 arilos y, además, se emplearon 50 membranas (550 objetos). El conjunto de validación consistió en muestras independientes de 400 arilos de cada categoría y 100 membranas (1700 objetos). Cada lote se inspeccionó por el prototipo simulando una operación estándar en línea. El color y la categoría de cada objeto se almacenaron en el ordenador para su posterior análisis. Se utilizaron diferentes métodos para estimar el color de los objetos. Estos métodos se basaron en el cálculo de estadísticos básicos como la media y la varianza de los valores RGB y HSI de los arilos o combinaciones de ellos como la razón R/G promedio. Estos ensayos se realizaron a principio y final de la campaña (octubre y enero) para observar las diferencias debidas a la evolución natural de la fruta.

Para el segundo experimento, el prototipo se probó en condiciones comerciales durante un período de 6 meses, entre septiembre y febrero de 2007/2008 y durante dos meses en enero y febrero de 2009, que corresponde con la campaña de recolección de la variedad Mollar de Elche. Durante las pruebas, el prototipo inspeccionó más de 9 toneladas de objetos (arilos más pieles). Es inviable evaluar los resultados de la clasificación individual de cada objeto por lo que la evaluación se realizó a través de la inspección global del producto reco-

Gráfico 2:

Evolución del color promedio mostrado por los arilos a lo largo de la campaña de experimentación.



gido en cada salida de la máquina. Un panel de expertos analizó muestras aleatorias obtenidas de las diferentes salidas de la máquina, cada uno de los cuales valoró de forma subjetiva el resultado de la inspección para cada categoría (foto 1).

6. Resultados

El principal resultado es la aplicación de una solución de ingeniería para la clasificación automática de un producto de alto valor añadido como los arilos de la granada en condiciones comerciales.

Los resultados de clasificación fueron aceptables tanto al comienzo como al final de la campaña. Se observó que el color evoluciona con el tiempo, tal y como muestra el gráfico 2. Al principio de la campaña presentan valores relativamente bajo que van aumentando a lo largo del tiempo. Las tablas 1 y 2 muestran la matriz de confusión para la clasificación del conjunto de validación. Estas tablas también muestran que el material no deseado fue la clase en la que se obtuvo una mayor tasa de clasificación correcta (98%). Esto se explica fácilmente por el hecho de que el color y el tamaño de material extraño (pieles, membranas) son muy diferentes de los de los arilos. Las clases más problemáticas correspondieron a los arilos de color rojo y marrón, con un porcentaje de éxito del 90% al comienzo de la temporada y del 85% al final. Mejores resultados se obtuvieron para las clases de color blanco y rosa. Cabe señalar, a partir de la experiencia, que los arilos se oscurecen (evolucionan hacia rojo oscuro) a lo largo de la temporada conforme las frutas maduran, aunque este hecho no se ha

Tabla 1:

Matriz de confusión de la clasificación realizada al comienzo de la campaña.

Clasificado \ Real	Blanco (rechazo 1)	Rosa (bueno)	Rojo (excelente)	Marrón (rechazo 2)	Membranas (rechazo 2)
Arilo blanco	92.0 %	4.0 %	0.0 %	2.7 %	1.3 %
Arilo rosa	1.5 %	91.4 %	1.5 %	5.6 %	0.0 %
Arilo rojo	0.0 %	2.3 %	89.2 %	8.5 %	0.0 %
Arilo marrón	0.8 %	4.7 %	5.5 %	89.0 %	0.0 %
Membranas	1.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	98.3 %

Tabla 2:

Matriz de confusión al final de la campaña.

Clasificado \ Real	Blanco (rechazo 1)	Rosa (bueno)	Rojo (excelente)	Marrón (rechazo 2)	Membranas (rechazo 2)
Arilo blanco	89.4 %	7.3 %	0.0 %	2.0 %	1.3 %
Arilo rosa	4.0 %	88.0 %	1.7 %	6.3 %	0.0 %
Arilo rojo	0.7 %	3.0 %	85.7 %	10.3 %	0.0 %
Arilo marrón	2.0 %	5.3 %	11.3 %	81.3 %	0.0 %
Membranas	1.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	98.3 %

demostrado cuantitativamente en este trabajo. Esto podría explicar el aumento de la confusión entre las distintas clases al principio y al final de la campaña. El prototipo únicamente dispone de cuatro salidas por lo que se programó para que tanto los arilos marrones y las membranas (rechazo 2), se expulsaran por la misma salida si bien se ha considerado importante conocer las estadísticas de clasificación por separado.

El tiempo consumido por los algoritmos de visión para un procesar cada imagen es de unos 15 ms, lo que permite alcanzar la cifra teórica de 65 imágenes/s. Esta cifra está restringida por la capacidad de adquisición de las cámaras (25 imágenes/s), pero se ha limitado a un máximo de 12 imágenes/s debido a limitaciones mecánicas y de manejo del producto.

En cuanto al experimento de prueba en condiciones comerciales, la inspección se consideró como buena durante toda la campaña para las categorías de material no deseado, arilo blanco y arilo rosa. Sin embargo, la clasificación de arilo rojo y marrón se consideró válida únicamente durante los primeros meses debido a la evolución del color del arilo y al a necesidad de frecuentes ajustes y puestas a punto del prototipo. Al final de la temporada, el rendimiento de la clasificación de disminuyó debido al aumento de la confusión entre el arilo rojo y el marrón. El rendimiento del prototipo durante las últimas pruebas realizadas en enero de 2009 fue de unos 220 kg de arilo por hora en condiciones de puesta a punto, pero posteriormente disminuía con el uso hasta unos 150 kg/h.

6. Conclusiones

La visión artificial es una técnica que permite la detección y eliminación de objetos no deseados en líneas de confección de fruta mínimamente procesada como son los arilos de granada. Esta técnica se ha empleado con éxito el desarrollo de un prototipo capaz de inspeccionar, clasificar y separar este delicado producto en cuatro categorías atendiendo a su color.

8. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) a través del proyecto TRT2006-00046-00-00 y a Frutas Mira Hermanos, S.L. por haber financiado parcialmente este proyecto.

9. Bibliografía

- Blasco, J., S. Cubero-García, S. Alegre-Sosa, J. Gómez-Sanchís, V. López-Rubira, E. Moltó (2008). Short communication. Automatic inspection of the pomegranate (*Punica granatum* L.) arils quality by means of computer vision. Spanish Journal of Agricultural Engineering, 6 (1), 12-16.
- Blasco J, Aleixos N, Gómez-Sanchís J, Moltó E (2009a) Recognition and classification of external skin damages in citrus fruits using multispectral data and morphological features. Biosystems Engineering, 103(2), 137-145.
- Blasco, J., Cubero, S., Gómez-Sanchís, J., Mira, P., Moltó E., (2009b). Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision. Journal of Food Engineering 90(1), 27-34.
- Blasco J., N. Aleixos, S. Cubero, J. Gómez-Sanchís, E. Moltó. (2009c). Automatic sorting of satsuma (*Citrus unshiu*) segments using computer vision and morphological features. Computers and electronics in agriculture 66, 1-8.
- Blasco J., Cubero S., Gómez-Sanchis J., Moltó E. (2010) Avances en visión artificial para la inspección automática de productos hortofrutícolas. Horticultura Global 288, 48-51.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., and Blasco, J. (2010). Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. Food and Bioprocess Technology. DOI 10.1007/s11947-010-0411-8: In press.