

Separación de granos en contacto con spline – cúbico para la aplicación en visión artificial.

Sampallo Guillermo Manuel, Cleva Mario Sergio, Liska Diego Orlando

Grupo GISIA – Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia. French 414,
Resistencia, Chaco (H3500ENC) – Argentina.
gsampallo@gmail.com

Abstract. En este trabajo se presenta un nuevo método automático para separar granos en contacto, basado en el análisis del contorno de grupos de granos. El contorno se representa mediante una función ajustada por spline cúbico y se analiza el comportamiento de sus derivadas de 1ro y 2do orden que permiten determinar posiciones sobre el contorno que son empleadas para trazar rectas que constituyen las fronteras para separar los granos. Se muestra que cuando el método se aplica a conjuntos de granos en contacto de diferente forma y tamaño produce la separación de los mismos en forma satisfactoria y con una tasa de éxito elevada, demostrando la robustez y validez del método.

Keywords: Procesamiento de imagen, segmentación, granos.

1 Introducción

En el procesamiento de los granos para su comercialización, la determinación del tipo y calidad del mismo es de mucha importancia. Actualmente en la mayoría de las dependencias especializadas, aún con los avances tecnológicos disponibles, el análisis de los parámetros que definen la calidad y clasificación de los granos es realizada en forma manual por los peritos. El análisis manual de los granos puede presentar inconvenientes porque es una tarea altamente tediosa y subjetiva. La percepción humana depende mucho de las condiciones y tiempo de trabajo.

Una metodología alternativa que sirve para realizar el análisis de granos y controlar su calidad de manera objetiva, repetitiva y sin fatiga es a través de un sistema experto que emplea visión artificial y que es capaz de emplear criterios de evaluación consistentes. El sistema está compuesto por un equipo de adquisición de imagen, una PC y un software de procesamiento digital de imagen especializado.

La técnica de procesamiento digital de imágenes (PDI) es tratada en la bibliografía especializada [1], [2], [3] [4]. Su aplicación al análisis y control de la calidad de alimentos está en crecimiento constante. El desarrollo de algoritmos que conducen a obtener descriptores característicos y a partir de ellos hacer una clasificación de la calidad es un tema de permanente estudio, revisión y aplicación en el área de alimentos agrícolas. Por ejemplo, Yadav B.K, Jindal V.K [5] aplicaron las técnicas de procesamiento de imagen para monitorear la calidad de granos de arroz. Beyer M. y et al.

adfa, p. 1, 2011.
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

[6] analizaron la forma del cerezo empleando PDI y cálculo numérico. Boundit Jarimopas y Nitipong Jaisin [7] clasifican vainas de tamarindo teniendo en cuenta su forma y tamaño. G. Van Dalem [8] determinó el tamaño de granos de arroz empleando análisis de imagen. Cheng-Jin Du and Da-Wen Sun a, b y c [9] hacen una revisión de los desarrollos recientes en aplicaciones de las técnicas de PDI para evaluar la calidad de alimentos, y las aplican para analizar la forma de la base de la pizza, y para estimar la superficie y volumen de jamones de forma elipsoidal. McG Square D and Caelli T [10] analizan la invariancia de la firma con respecto a la rotación, traslación y cambio de escala. Ta Yuan Wang y Sing Kiong Nguang [11] desarrollaron un sistema sensor de bajo costo que empleando PDI calcula en forma automática el volumen y superficie de revolución de productos agrícolas axi-simétricos. G.S. Gonzales y V.Y. Mariano [12] analizan la morfología de los granos de arroz usando descriptores de Fourier. Sampallo et al. [13] y [14] analizan la morfología de los granos de arroz empleando la firma de los contornos de los granos y presentan un esquema de control de calidad para granos de arroz pulidos.

La mayoría de los algoritmos de extracción de características morfológicas y de aspecto se han aplicado a imágenes de granos que no están en contacto entre sí. Estos escenarios se arman manualmente o bien el montaje requiere de una plataforma especial, con el fin de evitar que existan grupos de granos en contacto que dificultan el procedimiento para extraer sus características individuales. A pesar del uso de plataformas vibratorias con el fin de lograr una monocapa de granos aislados siempre se presentan granos en contacto en la plataforma de inspección. Este es un problema que se intentó resolver empleando diferentes metodologías, por ejemplo Gong Zhang y colaboradores [15] emplearon la transformada de Hough y las operaciones morfológicas para separar granos en contacto, H.K. Mebatsion y colaboradores [16] usaron la transformada de Fourier elíptica para obtener un ajuste a una función representativa del contorno del grupo de granos en contacto y el análisis del comportamiento de la curvatura de esa función. Wesley Nunes Gongalves [17] consideraron el contorno y lo asocian con el comportamiento de una poligonal y analizaron los puntos cóncavos. Faessel Matthieu, Courtois Francis [18] presentan un método de llenado de líneas aplicada al esqueleto de la imagen de los objetos como una técnica alternativa en el proceso de separación de los objetos fusionados.

Uno de los métodos de separación de granos es emplear las operaciones morfológicas de erosión y dilatación. En el caso de los granos se deben aplicar en forma sucesiva la operación de erosión hasta separar los granos. La aplicación de este algoritmo no asegura la separación simultánea del conjunto de granos contactos. Quedando la imagen del conjunto de granos muy diferente a la imagen original. La elaboración del proceso de reconstrucción que emplea la operación de dilatación requiere un número de condiciones no sencillas y con un resultado poco satisfactorio.

En este trabajo se presenta un nuevo método automático para separar granos en contacto, se basa en el análisis del comportamiento de las derivadas de 1er y 2do orden de una función ajustada por spline cúbico representativa del contorno del grupo de granos, determinando posiciones sobre el contorno que permiten trazar rectas que constituyen las fronteras necesarias para separar los granos.

2 Metodología

2.1 Adquisición y procesamiento de las imágenes

La adquisición de imágenes se realiza con un escáner convencional. Las imágenes se escanean con fondo negro. El fondo negro asegura, en granos de tonalidad clara, un buen contraste entre el fondo y los granos. Las imágenes de las muestras se guardan en formato BMP con una resolución de 300 dpi. La imagen inicialmente se suaviza con un filtro de media con el fin de reducir la presencia de ruido, en particular en el contorno de los granos, causado principalmente por la iluminación del escáner. Luego se binariza empleando el método de Otsu para determinar el umbral apropiado. A la imagen binarizada se aplica un algoritmo basado en operaciones morfológicas para obtener el contorno de los granos, caracterizado por producir una traza de píxeles simple, de modo que cada píxel perteneciente al contorno solo tenga únicamente dos vecinos del mismo. En la Figura 1 se observa todo el proceso mencionado.

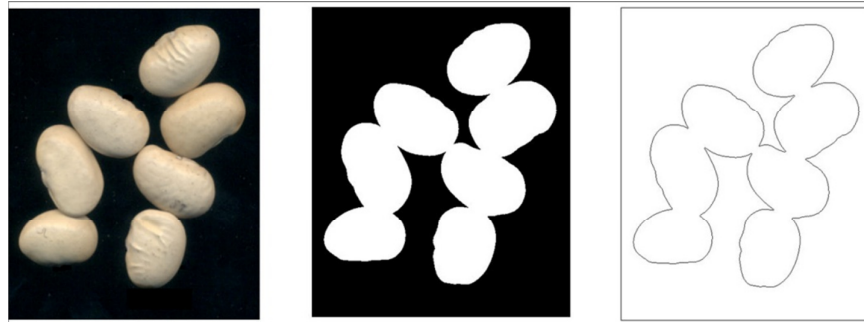


Fig. 1. Izquierda: Imagen original. Centro: Imagen binarizada. Derecha: Imagen del contorno

2.2 Aproximación por el método de spline cúbico

En la imagen del contorno de los granos en contacto (Figura 2), se determina la posición de un píxel perteneciente al contorno. Este píxel, se identifica como píxel inicial y a sus coordenadas como las coordenadas iniciales (x_0 , y_0). Luego se recorre el contorno en el sentido horario determinando las coordenadas de los píxeles en forma secuencial hasta volver al píxel inicial. Por lo tanto, se extraen las coordenadas $x_i y_i$ de los píxeles del contorno construyendo una tabla de valores discretos ordenados en función del índice i , el cual recorre de $i=0$ hasta $i=N-1$, siendo N el número total de píxeles presentes en el contorno bajo estudio.

Tanto los valores de x_i como los de y_i de estas tablas pueden ser aproximados a las funciones continuas correspondiente $x(i)$ e $y(i)$, (Figura 3) empleando diferentes técnicas de ajuste. Por ejemplo Mebatsion H.K., Paliwal J. [19] y Ghadge S. B., RautS. D. [20], utilizaron una aproximación por serie de Fourier elíptica.

En este caso, se hace empleando la técnica de spline cúbico que proporciona un excelente ajuste de los valores tabulados ordenados. Su cálculo no es complejo y evita

las oscilaciones como el efecto Gibbs que se producen en las discontinuidades con el desarrollo de Fourier. La técnica determina un polinomio cúbico distinto para cada intervalo. Para la reconstrucción de la traza se emplean estos polinomios según el rango del índice.

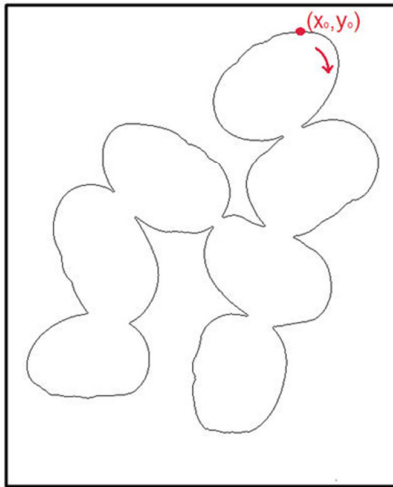


Fig. 2. Posición del pixel inicial y sentido de recorrido del contorno.

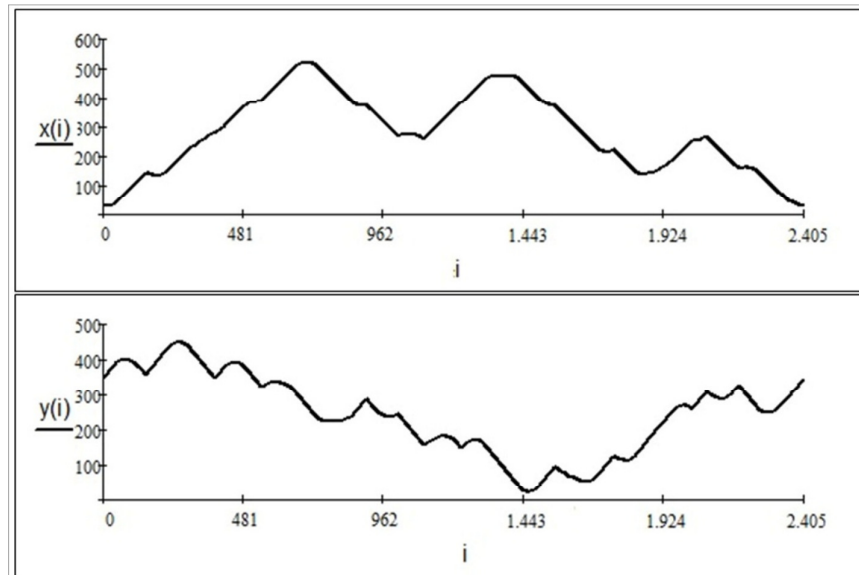


Fig. 3. Superior: Representación gráfica $x(i)$ ajustada por spline-cúbico. Inferior Iden para $y(i)$.

2.3 Análisis de curvatura y detección de puntos característicos

La información de la forma de un objeto está descrita primitivamente por la presencia de vértices en el objeto (Coren S., Ward L.M. y Enns J.T [21]). Estos vértices se han definido matemáticamente de forma distinta por diferentes investigadores, Abe et al.[22] como máximos locales, Guru, Dinesh, y Nagabhushan [23] como el punto con mayor "índice cornerity", (2004), Rosenfeld y Johnston [24] como el punto con el valor-k del coseno, y Freeman y Davis [25] como el punto de máximo cambio de curvatura.

La detección de un vértice puede surgir del análisis del cambio abrupto, de la magnitud de la discontinuidad y de las regiones a cada lado del vértice considerado que son uniformes y libres de discontinuidades. El análisis de curvatura se puede hacer a través de los valores de la primera y segunda derivada.

La función de curvatura $k1(i)$ es la derivada de la función orientación $\phi(i)$, expresado como (Frette, Zirnovsky, y Silin, 2009[26]; Walton y Meek, 2001[27])

$$\phi(i) = \tan \left[\frac{y(i)}{x(i)} \right] \quad k3(i) = \frac{x'(i)y''(i) - x''(i)y'(i)}{\left\{ [x'(i)]^2 + [y'(i)]^2 \right\}^{3/2}} \quad (1)$$

Donde $x'(i)$ y $x''(i)$ representan la primera y la segunda derivadas de la función ajustada $x(i)$. Lo mismo para $y(i)$.

También se puede analizar la curvatura empleando:

$$k1(i) = \sqrt{[x'(i)]^2 + [y'(i)]^2} \quad (2)$$

$$k2(i) = \sqrt{[x''(i)]^2 + [y''(i)]^2} \quad (3)$$

La mayoría de los granos tienen, generalmente, forma convexa y cuando están en contacto, forman contornos cóncavos donde los valores de curvatura locales son negativos. Los puntos característicos para múltiples objetos en contacto entre sí se obtienen a partir de determinados rangos de valores de estos tres parámetros $k1$, $k2$ y $k3$. Estos rangos son elegidos en forma empírica. Una vez configurado los rangos de valores para los parámetros mencionados, se establece la siguiente condición:

Todos los i que cumplen con:

$$[a_1 \leq k1(i) \leq a_2] \text{ o } [b_1 \leq k2(i) \leq b_2] \text{ o } [c_1 \leq k3(i) \leq c_2] \quad (4)$$

Identifican como posibles puntos característicos $x(i)$ e $y(i)$.

Con los puntos identificados, se seleccionan aquellos cuyo intervalo de i es inferior a 5 (valor definido empíricamente), esto significa que son puntos interiores a una pequeña región y se promedian sus posiciones si existen más de uno. Se selecciona el punto de posiciones promediadas y se lo considera como punto característico. Luego

se forman pares de puntos característicos en función de las distancias entre ellos y se traza una recta entre los mismos. Esta recta (de color negro dibujada en la imagen) sirve de frontera entre los objetos.

Con el fin de ver cómo responde el método cuando los objetos en contacto presentan orientaciones diferentes, se hizo un análisis del rango de valores de los parámetros k_1 , k_2 y k_3 para una imagen que exhibe dos objetos elípticos en contacto (simulando dos granos) y se estudió su comportamiento bajo rotación desde 0° a 90° con saltos de 18° . En la Tabla 1, en la primera columna se indica la orientación. En la segunda, se muestra la imagen del contorno de los objetos en contacto. En la tercera, se indican en un gráfico xy los posibles puntos característicos del contorno cuyos valores de k_1 , k_2 y k_3 pertenecen al rango considerado. En la cuarta, fueron seleccionados los píxeles más cercanos que corresponden a los puntos característicos. En la quinta, se muestra la traza que conecta los puntos anteriores y que sirve de separación. En la última, se muestra la imagen con los objetos separados.

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
0					
18					
36					
54					
72					
90					

Tabla 1. Análisis de dos objetos en contacto rotados. (a) Inclinación, (b) Imagen con objetos en contacto, (c) Puntos de interés, (d) Selección de los extremos, (e) Trazo del separador, (f) Imagen con objetos separados.

Claramente el método de separación propuesto responde satisfactoriamente a los cambios de orientación de objetos en contactos, por lo tanto, no depende de cual sea la distribución espacial de los mismos.

3 Resultados de la aplicación de la metodología a casos concretos

Se presenta la aplicación de la metodología desarrollada a casos concretos que involucran granos en contacto de diferentes especies, formas y tamaños. En los primeros cuatro ejemplos se muestra la secuencia de procesamiento de imagen (imagen original, imagen binaria e imagen del contorno). Luego, la representación gráfica de la función que aproxima el contorno por el método de spline-cúbico y la obtención de los puntos inicial y final de cada sección de frontera. A continuación se muestran la imagen del contorno con la frontera y la imagen reconstruida con los granos separados. Finalmente se aplica a un caso idealizado donde se presentan objetos en forma de granos en contacto y que generan dos funciones de contorno en vez de una sola como anteriormente. Los granos que se consideraron para el ejemplo son: lenteja, arveja, alubia y poroto manteca.

3.1 Caso 1: Cuatro granos de arvejas en contacto

Los granos de arveja tienen forma circular. Se obtuvieron las funciones $x(i)$ e $y(i)$ representadas con traza azul y con ellas se analizaron el comportamiento de $k1(i)$, $k2(i)$ y $k3(i)$ que permitió determinar los puntos característicos (puntos rojos en XY) y con ellos se trazaron las rectas que representan las fronteras entre los granos. Finalmente en la última imagen se muestra la separación de los granos.

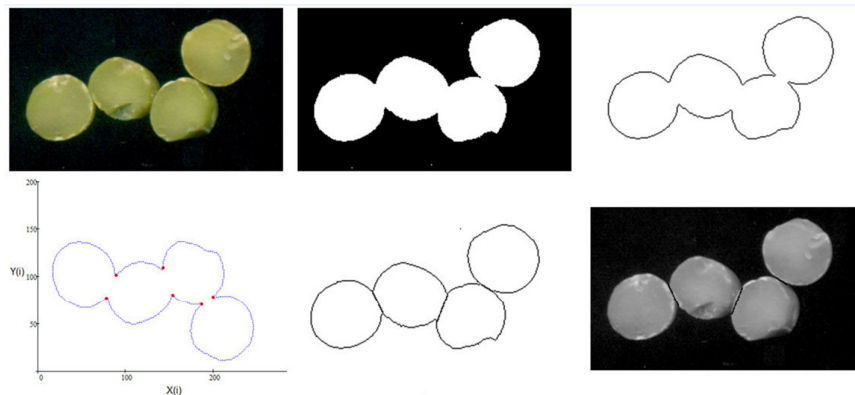


Fig. 4. Granos de arveja. Superior: Imagen original. Imagen binarizada. Imagen del contorno. Inferior Contorno ajustado. Imagen del contorno reconstituida. Imagen con granos separados.

3.2 Caso 2: Cinco granos de alubia en contacto

En este ejemplo, se presentan cinco granos de alubia en contacto. Sus contornos tienen forma elíptica, la traza de la frontera en uno de ellos se observa que pasa ligeramente sobre el grano.

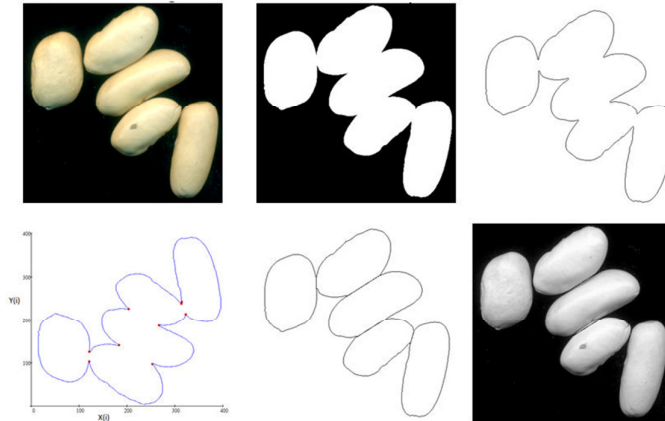


Fig. 5. Granos de alubia. Superior: Imagen original. Imagen binarizada. Imagen del contorno. Inferior: Contorno ajustado. Imagen del contorno reconstituida. Imagen con granos separados.

3.3 Caso 3: Cuatro granos de lenteja en contacto

En las lentejas que están en contacto en este ejemplo, se observa que en la zona de inicio y final de la frontera el método detecta más de un punto. En estos casos para trazar la frontera se promedian los puntos y el resultado es satisfactorio.

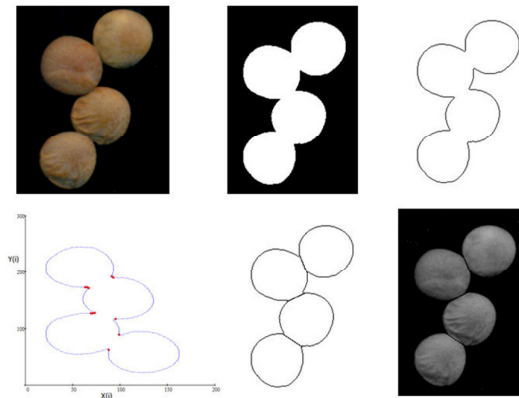


Fig. 6. Granos de lentejas. Superior: Imagen original. Imagen binarizada. Imagen del contorno. Inferior: Contorno ajustado. Imagen del contorno reconstituida. Imagen con granos separados.

3.4 Caso 4: Siete granos de poroto en contacto

En este ejemplo, se consideró siete granos de poroto manteca en contacto, donde estos son de diferentes formas e inclinación. Se observa que solo en dos granos la frontera obtenida corta parte del grano aunque ocurre en la zona de menor cintura del mismo.

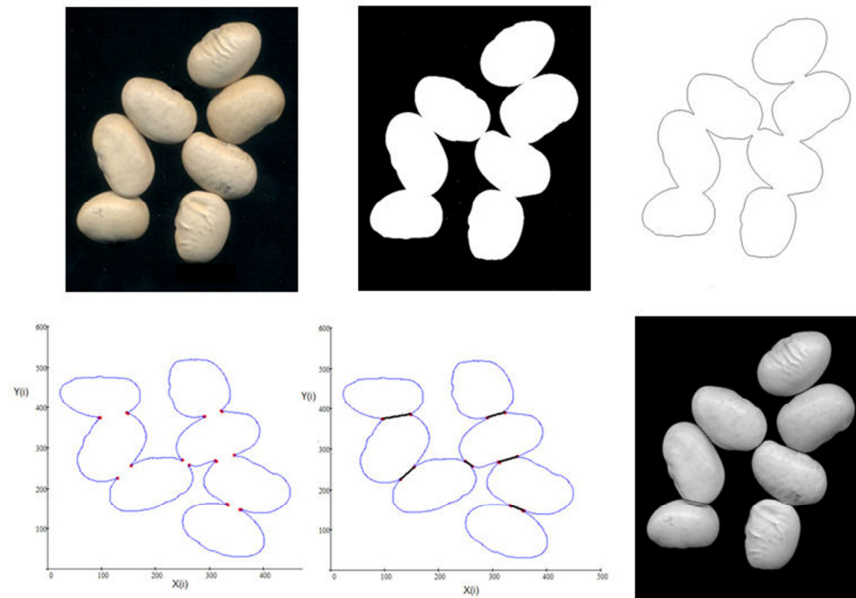


Fig. 7. Granos de poroto manteca. Superior: Imagen original. Imagen binarizada. Imagen del contorno. Inferior: Contorno ajustado. Imagen del contorno reconstituida. Imagen con granos separados

3.5 Caso 5: Cinco objetos idealizados en forma de granos en contacto

En este caso, se consideró seis formas distintas (que simulan granos) en contacto, donde los contactos son de diferentes formas e inclinación. Difiere del caso anterior, porque presenta dos contornos, uno exterior (en traza roja) y otro interior (traza azul). Por lo tanto, se obtuvieron las funciones $X1(i)$ e $Y1(i)$ (azul) y $X2(i)$ e $Y2(i)$ (roja) y con ellas se analizaron el comportamiento de $k1(i)$, $k2(i)$ y $K3(i)$. Esto permitió determinar los puntos característicos (puntos rojos y negros en XY) con los que se trazaron las rectas que representan las fronteras entre los objetos.

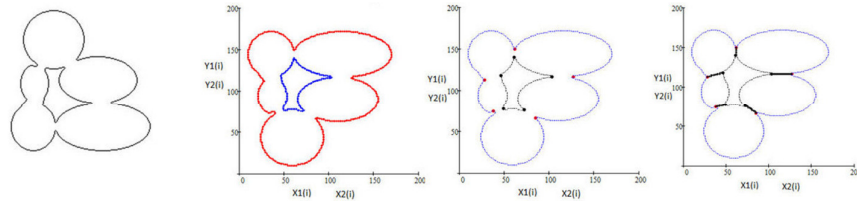


Fig. 8. Objetos en forma de granos. Imagen del contorno. Contornos ajustados exterior rojo e interior azul. Detección de puntos característicos. Imagen con granos separados.

4 Conclusiones

En el análisis automatizado de muestras de granos empleando procesamiento digital de imágenes es muy importante lograr la separación de los granos que en la escena se muestran en contacto.

En este trabajo se presenta un método para separar grupos de granos en contacto dispuestos en una capa, como alternativa a la separación manual. Está basado en el análisis de las derivadas de la función que representa el contorno del conjunto de granos en contacto.

El método se muestra robusto y eficaz para diferentes formas, tamaño y tipo de granos y en escenarios de múltiples granos en contacto.

La tasa de éxito del método es satisfactoria, sólo en dos casos (alubia y poroto manteca) la traza de la frontera es sobre el grano y corresponde a la zona de menor cintura del mismo.

5 Referencias

1. González, R. y Woods R. Tratamiento Digital de Imágenes. Prentice Hall. 3era edición
2. Parker J.R. Practical Computer Vision. Editorial J. Wiley & Sons Inc (N.Y.- USA)1994
3. Castleman, K. Digital image processing. Ed Prentice Hall (1996).
4. Duda, R., Hart, P. Y Stork, D. Pattern Classification. 2ª ed. John- Wiley & Sons. (2001)
5. Yadav B.K, Jindal V.K.:Monitoring milling quality of rice by image analysis. Computers and Electronics in Agriculture. 33 (2001) 19–33
6. Beyer M, Hahn R, Peschel S, Harz M, Knoche M. Analysing fruit shape in sweet cherry” Scientia Horticulturae 96 (2002) 139-150.
7. Boundit Jarimopas y Nitipong Jaisin. An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind Journal of Food Engineering Volumen 89 Issue 3.(2008), Pages 291-297
8. Van Dalem G. .Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. Food R. International 37 (2004) 51-58
9. Cheng-Jin Du and Da-Wen Sun a(2004) y b(2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. Trends in Food Science & Technology 15 (2004) 230–249.
10. McG Squire D y. Caelli Terry Invariance Signatures: Characterizing contours by their departures from invariance. Computer Vision and Image Understanding: CVIU. Volume 77, Number 3, March, 2000.

11. Ta Yuan Wang y Sing Kiong Nguang Low cost sensor for volume and surface area computation of axi-symmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* Volume 79, Issue 3, April 2007, Pages 870-877.
12. Gonzales G.S. y Mariano V.Y. Rice Seed Recognition, Matching and Variety Classification through Shape Analysis using Fourier Descriptors. 8th National Conference on IT Education (NCITE 2010), La Carmela de Boracay Convention Center, Boracay Island, 20-23 October 2010
13. Sampallo Guillermo, González Thomas Arturo, Acosta Cristian, Cleva Mario. Medida de las Característica morfológicas de granos de arroz empleando procesamiento de imágenes. La Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. - en el Nordeste Argentino – N.E.A. Investigación y Desarrollo en la Facultad Regional Resistencia. Editorial Edutecne ISBN N° 978-987-27897-0-1 (2011).
http://www.edutecne.utn.edu.ar/investigacion_fr_res/investigacion_fr_res.html
14. Sampallo Guillermo, González Thomas Arturo, Acosta Cristian, Cleva Mario Sistema de control de calidad de granos de arroz pulidos empleando visión por computadora. Pag 326. XIV Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación 2012: WICC 2012. Compilado por Horacio Daniel Kuna. - 1a ed. - Posadas: Universidad Nacional de Misiones, E-Book. 30/03/2012. ISBN 978-950-766-082-5.
15. Zhang Gong; Jayas Digvir S.; White Noel D.G.. Separation of Touching Grain Kernels in an Image by Ellipse Fitting Algorithm. *Biosystems Engineering* (2005) 92 (2), 135–142.
16. Mebatsion Hibru K., Paliwal J., Jayas Digvir S. A novel, invariant elliptic Fourier coefficient based classification of cereal grains. *Biosystems Engineering* 111 (2012) 422 - 428
17. Wesley Nunes Gonçalves, Odemir Martinez Bruno. Automatic system for counting cells with elliptical shape. <http://arxiv.org/pdf/1201.3109v1.pdf>.
18. Faessel Matthieu, Courtois Francis Touching grain kernels separation by gap-filling. *Image Anal Stereol* 2009;28:195-203
19. Mebatsion H.K. , Paliwal J. A Fourier analysis based algorithm to separate touching kernels in digital images. *Biosystems Engineering* 108 (2011) 66-74.
20. Ghadge S. B, Raut. S. D. An improved algorithm for Fourier series approximation based algorithm for separating touching grain kernels. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 4, Issue 6, June 2014.
21. Coren S., Ward L.M. y Enns J.T. *Sensación y percepción* - McGraw-Hill México - 5ta Edición 2001. Capítulo 10.
22. Abe, K., Morii, R., Nishida, K., & Kadonaga, T.. Comparison of methods for detecting corner points from digital curves. *Proceedings of the international conference on document analysis and recognition*, (1993)857-954.
23. Guru, D. S., Dinesh, R., & Nagabhushan, P. (2004). Boundary based corner detection and localization using new ‘cornerity’ index: a robust approach. In: *Proceedings of the 1st Canadian conference on computer and robot vision*, 417-423.
24. Rosenfeld, A., Johnston, E. Angle detection on digital curves. *IEEE Transaction on Computers*, (1973). 22, 875-878.
25. Freeman, H., Davis, L. A corner finding algorithm for chain-coded Curves. *IEEE Transaction on Computers*, (1977). 26, 297-303.
26. Frette, O. I., Virnovsky, G., & Silin, D. Estimation of the curvature of an interface from a digital 2D image. *Computational Material Science* (2009), 44, 867-875.
27. Walton, D. J., & Meek, D. S. Curvature extrema of planar parametric polynomial cubic curves. *Journal of Computational and Applied Mathematics* (2001), 134, 69-83.