Estudio y comparación de técnicas de segmentación por color para la estimación de la fracción de cobertura vegetal

J.M. González-Esquiva[1], J.L. Hernández-Hernández[2], G. García-Mateos[3], A. Ruiz-Canales[4] y J.M. Molina-Martínez[1]

[1] Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, Pº Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, Murcia, jgonzalez1690@gmail.com, josemiguel.molina.martinez@gmail.com
[2] Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Aut. de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, Chilpancingo, Guerrero (México), joseluis.hernandez4@um.es
[3] Departamento de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, Universidad de Murcia, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Murcia, ginesgm@um.es
[4] Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández de Elche, Orihuela, 30312 Alicante, aruizcanales@gmail.com

Resumen

En este artículo se describen y comparan tres técnicas diferentes de segmentación por color que han sido aplicadas a la estimación del porcentaje de cobertura vegetal en cultivos de lechuga de variedad Little Gem. La primera técnica es una segmentación manual supervisada con ayuda del software ENVI, basada en una selección imagen a imagen de las zonas de interés, permitiendo al experto humano validar el resultado del proceso para cada imagen. La segunda usa modelos de color probabilísticos no paramétricos y ha sido hecha con el programa CAPS; aunque es automática, requiere de un entrenamiento previo. La tercera es un método completamente no supervisado basado en *clustering* con el algoritmo C-*means* y lógica difusa. Los resultados experimentales demuestran la validez de los dos métodos automáticos como potenciales sustitutos del proceso supervisado en situaciones donde se necesite evitar la intervención de un operador.

Palabras clave: Segmentación por color, cobertura vegetal, monitorización de cultivos.

Study and comparison of color segmentation techniques for the estimation of the fraction of green cover

Abstract

This paper describes and compares three different color segmentation techniques that have been applied to estimate the percentage of green cover of a lettuce crop of variety Little Gem. The first one is a manual segmentation technique using the software ENVI, based on a selection of areas of interest which allows the human expert to validate the outcome of the process for each image. The second one uses nonparametric probabilistic color models and has been performed with the software CAPS; although it is automatic, it requires prior training. The third one is a completely non supervised method based on clustering with the C-means algorithm and fuzzy logic. The experimental results demonstrate the feasibility of the two automatic methods as substitutes of the supervised process, in applications where human control needs to be avoided.

Keywords: Color segmentation, percentage of green cover, crop monitoring.

INTRODUCCIÓN

La estimación del porcentaje de cobertura vegetal (PGC, *percentage of green cover*) o fracción de cobertura, *Fc*, es un problema conocido en el ámbito de la ingeniería agrónoma, en base al cual se puede estimar el coeficiente de cultivo, *Kc*, la altura de las plantas y la profundidad radicular (Escarabajal-Henarejos et al., 2015). Diversas técnicas han sido propuestas para estimarlo usando visión artificial, entre las cuales las basadas en el color están entre las más exitosas. En este artículo se describen y comparan tres métodos diferentes de segmentación por color que han sido aplicados sobre cultivos de lechugas. La comparativa no solo considera la precisión, sino también otros aspectos que influyen en su aplicabilidad práctica como son su coste, flexibilidad y automatización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de las pruebas de segmentación se utilizaron fotografías de 4 parcelas de cultivos comerciales de lechuga de la variedad Little Gem, de bajo vigor (*Lactuca sativa* L. cv 'Little Gem'), que fueron monitorizadas entre 2011 y 2012, durante dos periodos: dos parcelas en primavera situadas en Pozohondo (38º39'20''N, 1º47'14''W), Albacete, y dos parcelas en San Javier (37º47'04''N, 0º49'34''W), Murcia. La captura se realizó a intervalos de entre 2 y 4 días con una cámara digital Nikon Coolpix S3300 a alta resolución, y las imágenes consisten en una vista superior del terreno. En total hay 169 fotografías de una resolución mínima de 3000x2000 píxeles.

Dichas imágenes fueron recortadas de acuerdo con un patrón situado físicamente sobre el terreno. Esto garantiza que el área bajo estudio es siempre la misma. Sobre las 169 fotografías se aplicaron las tres técnicas de segmentación que serán descritas más adelante: ENVI, CAPS y Fuzzy C-Means. En la tabla 1 se muestra un resumen esquemático de las principales características de cada una de ellas.

Segmentación supervisada con ENVI

En el primer método de segmentación, las imágenes fueron procesadas con el programa ENVI® (Environment for Visualizing Images) que es un software comercial desarrollado por Research System Inc., Boulder, CO, USA. Esta aplicación ofrece un entorno amigable para la visualización y análisis de imágenes. En primer lugar el experto debe definir las clases (planta y suelo) y señalar regiones de interés de ambas en cada imagen. Después se realiza una segmentación píxel a píxel basada en máxima verosimilitud en el espacio HSI. El resultado es supervisado por el humano, que realiza un refinamiento progresivo; es decir, si detecta una cantidad significativa de errores, puede modificar las regiones de interés y repetir de nuevo el proceso. Esto asegura un resultado muy preciso, pero a costa de un alto coste para el operador.

Clasificación con histogramas de color con CAPS

El software CAPS® (Clasificación Automática de Plantas y Suelo) implementa el método de segmentación propuesto por García-Mateos et al. (2015) y es distribuido por Telenatura E.B.T. Se trata de una aplicación amigable e intuitiva para la segmentación binaria de imágenes por color, que incluye el recorte de imágenes y el entrenamiento de modelos de color (Hernández-Hernández et al., 2015). El programa incluye varios modelos genéricos de planta/suelo; y se pueden crear otros modelos nuevos. Para ello el experto debe introducir entre 2 y 10 imágenes y señalar regiones de interés de cada clase. Igual que en ENVI el proceso es iterativo, permitiendo al usuario refinar el resultado. Pero, a diferencia de aquel, el espacio de color no es prefijado de antemano, sino que se

selecciona el espacio óptimo entre los 9 incluidos. Y el proceso solo debe ejecutarse una vez para cada tipo de cultivo. La clasificación usa un método probabilístico con modelado no paramétrico mediante histogramas de color que realiza una primera clasificación píxel a píxel de la imagen. Después se aplica morfología para mejorar el resultado.

Segmentación con Fuzzy C-Means

El algoritmo fuzzy C-means ha sido aplicado de forma exitosa en diversos problemas de segmentación por color. Entre ellos se encuentra también la clasificación planta/suelo de imágenes de cultivos (González-Esquiva et al., 2015). La principal ventaja de este método es que no requiere de la intervención del humano para su aplicación. Sin embargo, el programa debería ser ajustado si cambia el escenario de uso. Aunque el método es computacionalmente muy costoso, es posible bajarlo reduciendo el tamaño de las imágenes sin causar una pérdida significativa en la estimación del PGC. El método se basa en la aplicación del algoritmo de *clustering* de las C-medias, sobre los histogramas de los tres canales del espacio RGB. Los grupos de píxeles que quedan fuera de las C-medias son después clasificados usando lógica difusa. La clase resultante con mayor proporción de color verde es considerada como la planta y el resto como suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres métodos descritos de segmentación por color han sido aplicados a las 169 imágenes disponibles obteniendo las estimaciones del PGC (entre 0 y 100). Puesto que el valor correcto de cada PGC no se conoce, se han tomado los valores estimados con ENVI como base de la comparación (ya que, en este caso, todos los resultados han sido supervisados manualmente). Los datos obtenidos pueden encontrarse en la tabla 2. Los errores absolutos son calculados como la diferencia entre el PGC base y el de cada técnica. Los errores relativos están en proporción al PGC base de cada imagen.

Dentro de la tabla se ha incluido el tiempo de ejecución por imagen de cada técnica, que en el caso de ENVI es el tiempo de procesamiento medio del experto. Las pruebas fueron realizadas en un portátil con Intel® i5 a 2,27 GHz y 4 Gbytes de RAM. Con el propósito de comparar la evolución de las estimaciones devueltas por las tres técnicas, en la figura 1 se muestran los valores producidos para la parcela de cultivo 3.

CONCLUSIONES

En este artículo se han comparado tres técnicas para la estimación de la cobertura vegetal, la primera de ellas manual (ENVI), la segunda automática aunque con un entrenamiento manual (CAPS) y la tercera no supervisada (Fuzzy C-means). Los experimentos demuestran que las dos últimas consiguen unos resultados muy similares a la primera, con errores relativos por debajo del 2,5% y 5%, respectivamente. Es más, en González-Esquiva et al. (2015) se prueba que estos pequeños errores tienen una influencia muy pequeña en el cálculo del coeficiente de cultivo, Kc. Su bajo coste computacional las hace muy adecuadas para integrarlas en un sistema automático de monitorización de cultivos y gestión de riego. Además, estos resultados pueden ser aplicables a otros tipos de cultivos, puesto que las técnicas no incluyen particularidades de las lechugas.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el MINECO, así como por la Comisión Europea bajo los fondos FEDER, con el proyecto TIN2012-38341-C04-03. También ha sido apoyado por el programa de mejoramiento del profesorado UAGro-196 de México.

REFERENCIAS

Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J. M., Fernández-Pacheco, D. G., Cavas-Martínez, F., and García-Mateos, G. 2015. Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce. *Agricultural Water Management* 151:148-57.

García-Mateos, G., Hernández-Hernández, J.L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaén-Terrones, S., and Molina-Martínez, J. M. 2015. Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management* 151:158-166.

González-Esquiva, J.M., Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., y Molina-Martínez, J.M. 2015. Estudio de la aplicación del algoritmo Fuzzy C-Means para la determinación de la cobertura vegetal de cultivos hortícolas. XIV Congreso N. de Ciencias Hortícolas, Orihuela, 3-5/6.

Hernández-Hernández, J.L., García-Mateos, G., González Esquiva, J.M., y Molina-Martínez, J.M. 2015. Entrenamiento y selección automática de modelos de color para la segmentación de plantas. VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería, Orihuela, 1-3/6.

Característica	ENVI	CAPS	Fuzzy C-Means
Requiere supervisión	Para cada imagen	Para cada tipo de cultivo	No se requiere
Automatizable	No, proceso manual	Sí	Sí
Uso en otros dominios	Sí	Sí	Requiere adaptación
Coste del proceso	Alto (experto humano)	Bajo coste por imagen	Coste medio por imagen
Espacios de color	HSI	9 espacios de color	RGB
Adaptable a multiclase	Sí	Posible	Posible
Técnica de clasificación por color	Probabilística, máxima verosimilitud	Probabilística, modelos de histogramas de color	Clustering C-medias y lógica difusa

Tabla 1. Las tres técnicas de segmentación utilizadas y sus principales características.

	ENVI	CAPS	Fuzzy C-Means
Error absoluto: medio/máximo	-	0,27 / 1,19	0,40 / 2,04
Error relativo: medio/máximo	-	2,37% / 20,52%	4,77% / 36,1%
Tiempo por imagen	102 s	0,24 s	0,65 s

Tabla 2. Resultados comparativos del cálculo del PGC.

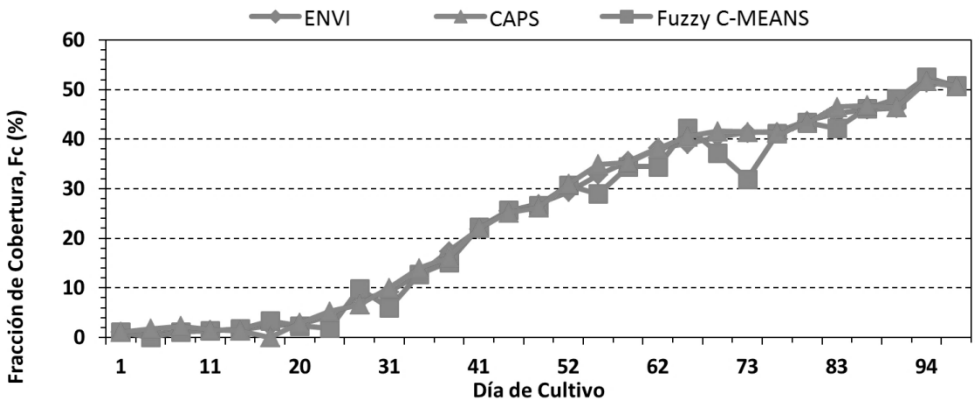

Fig. 1. Comparación del PGC estimado por las tres técnicas en la parcela 3.