

DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE MALAS HIERBAS MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

E.MOLTÓ*, J.V.BENLLOCH*, J.BLASCO**, A. GIMENO**

*IVIA. Apartado Oficial. 46113 Moncada (Valencia). emolto@ivia.es

**DISCA-Univ.Polit. de Valencia. Apartado 22012. 46071 Valencia. jbenlloc@disca.upv.es

Resumen: En el contexto de la llamada “agricultura de precisión”, este trabajo aborda el desarrollo de sistemas automáticos para detectar malas hierbas, que permitan realizar un control de las mismas en función de su localización y densidad, de forma que se reduzca o elimine el uso de productos químicos. Se presentan dos métodos: uno para la detección de malas hierbas en cultivos de cereales, con el fin de realizar mapas de densidad de infestación, y otro para la detección de las malas hierbas en cultivos hortícolas en tiempo real, destinado a ser el sistema de visión de un robot que elimine las malas hierbas por métodos no químicos.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de procesado digital de imágenes han sido tradicionalmente aplicadas en entornos industriales, en la mayoría de los casos, bien estructurados y con condiciones de trabajo controladas por el usuario. Sin embargo, es especialmente interesante aplicar este tipo de técnicas a entornos agrícolas, donde la variabilidad, no sólo de los productos biológicos objeto de estudio, sino también de las condiciones ambientales bajo las que se trabaja, significan un reto importante para los trabajos de investigación.

Actualmente, la discriminación entre las malas hierbas y el cultivo mediante métodos ópticos se realiza, bien analizando las diferencias en reflectancia espectral o bien utilizando técnicas de análisis de imagen (THOMPSON *et al.* 1991). Diversos autores han utilizado la espectrofotometría para distinguir incluso entre distintas especies de malas hierbas (PARDO *et al.*, 1993). Sin embargo, la aplicación de estas técnicas en maquinaria de campo es relativamente complicada, debido a que parte de la información que permite la discriminación entre las especies se encuentra en la zona del espectro correspondiente al infrarrojo cercano, y, actualmente, los sensores de bajo coste, basados en CCD, son poco sensibles y producen respuestas no lineales en dichas longitudes de onda.

En el contexto de la llamada “agricultura de precisión”, el presente trabajo trata sobre el desarrollo de dos sistemas automáticos para detectar malas hierbas, que permitan realizar tratamientos herbicidas en función de la localización y densidad de las poblaciones de las

mismas, de forma que se reduzca o elimine el uso de productos químicos. El trabajo forma parte del proyecto de investigación europeo AIR-CT93-1299 (Acrónimo PATCHWORK). Dicho proyecto tiene dos vertientes: una, orientada a la reducción de herbicidas en cultivos de cereales y otra, a la eliminación de malas hierbas en cultivos hortícolas. Por ello, se han planteado dos estrategias distintas:

-En el caso de los cereales, se ha diseñado un sistema capaz de recibir un mapa de las densidades de las malas hierbas de una parcela que, al combinarlo con otras fuentes de información, permite definir un mapa de tratamiento. Posteriormente, un sistema equipado con una barra herbicida controlable, y con el correspondiente sistema de información geográfica, se encarga de aplicar mayor o menor dosis de herbicida en función de la posición del equipo en el campo. El trabajo que aquí se presenta forma parte de un sistema para la elaboración automática de dicho mapa de densidades.

-En el caso de los cultivos hortícolas, se ha diseñado un robot capaz de detectar las malas hierbas y eliminarlas mediante una descarga eléctrica. El robot consiste en una plataforma móvil, arrastrada por un tractor, sobre la que se monta un brazo robotizado de seis grados de libertad, que lleva en su extremo un electrodo. En el presente trabajo se describe el sistema de detección de las malas hierbas mediante visión artificial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el caso de los cereales, se realizaron diversas adquisiciones de imágenes tratando de incluir condiciones de trabajo variadas: diferentes densidades de cereal y de malas hierbas, distintos tipos de suelo, días soleados y nublados, etc. Para ello se obtuvieron diapositivas e imágenes de video. En ambos casos, la cámara se situaba perpendicularmente al suelo, tratando de abarcar un rectángulo inscrito en una área circular de $0,25\text{m}^2$. Las imágenes se digitalizaron mediante el uso respectivo de un escáner en color o una digitalizadora de vídeo. El proceso de toma de imágenes es similar al utilizado en la estimación de densidades de malas hierbas, a partir del conteo visual en un conjunto de posiciones (NORDBO *et al.*, 94), con el fin de poder comparar ambos resultados.

Para diferenciar entre el suelo y la vegetación se introdujo el índice normalizado de diferencias (NDI), considerando únicamente los canales rojo y verde de la imagen, ya que existe una diferencia de reflectancia espectral entre suelo y vegetación, tanto en el rojo como en el verde, en parte debido a la presencia de la clorofila. El mencionado índice se define como: $\text{NDI} = (\text{verde} - \text{rojo}) / (\text{verde} + \text{rojo})$. Posteriormente, se analizan los pixels en los que se plantea alguna incertidumbre sobre su pertenencia a la clase "plantas" o "suelo", siguiendo diversos criterios de vecindad. La salida de esta etapa proporciona una imagen binaria en la que se ha de determinar la posición de las filas de cereal. Por último, los pixels clasificados como plantas que están conectados a dicha fila se consideran como pertenecientes al cultivo, mientras que el resto se clasifican como pertenecientes a malas hierbas (BENLLOCH *et al.*, 1995). De los objetos considerados malas hierbas en esta primera clasificación, se extraen una serie de características morfológicas a partir de las cuales se diseña un clasificador capaz de constatar si realmente lo son.

En el caso de los cultivos hortícolas, se han realizado experiencias en plantaciones de lechugas, dado que en otros cultivos, tales como la alcachofa, las diferencias de color entre estos y las malas hierbas simplifican la discriminación (MOLTÓ *et al.*, 1995). Las imágenes se adquieren usando una cámara de vídeo en color, conectada a una tarjeta digitalizadora que se inserta en el bus de un ordenador personal convencional. El procedimiento para distinguir los

diferentes objetos de la escena se basa en un entrenamiento previo, en el que un operador indica, sobre varias escenas, qué puntos de la imágenes son lechuga o mala hierba y cuáles son suelo. Estos datos se emplean para generar un algoritmo de clasificación bayesiano. Durante la fase de clasificación automática, el sistema de visión clasifica cada uno de los pixels de la escena que analiza en “planta” (lechuga o mala hierba) o “suelo”. Posteriormente, los objetos considerados como plantas se reclasifican como cultivo o mala hierba siguiendo criterios geométricos. Por último, se envían al robot las coordenadas de los objetos considerados como mala hierba para ser eliminados. El proceso total, para imágenes de aproximadamente 0,25 m², con alrededor de 30 malas hierbas, dura menos de 500 ms. Entre las malas hierbas presentes en el cultivo durante el experimento, se observaron: *Amaranthus blitoides*, *Amaranthus retroflexus*, *Senecio vulgaris*, *Setaria adhaerens*, *Fumaria officianalis* y *Diplotaxia erucoides*.

RESULTADOS

En el caso de los cereales, se puede observar la correlación existente entre el número de malas hierbas detectado por el sistema y el número real de ellas (contado visualmente, sobre el propio terreno) (Fig. 1). La correlación es buena, si bien para obtener una predicción de las densidades reales de malas hierbas, es necesario introducir un factor de escala que compense las diferencias numéricas entre ambos. Este ajuste se justifica porque, en primer lugar, las áreas de trabajo analizadas no son idénticas, ya que manualmente se trabaja sobre áreas circulares mientras que la cámara enfoca un área rectangular (inscrita en aquélla); en segundo lugar, debido a la resolución de la imagen, las plantas más pequeñas no pueden ser detectadas automáticamente; por último, hay que citar que para realizarse el conteo visual se suelen utilizar diferentes vistas de la misma área, mientras que automáticamente se analiza una sola imagen por área (algunas malas hierbas pueden quedar ocultas en esa vista).

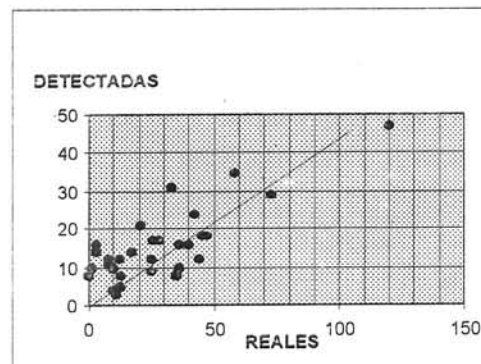


Fig. 1: Relación entre la cantidad de malas hierbas contadas visualmente (reales) y las detectadas por los algoritmos de análisis de imágenes.

El sistema de detección de malas hierbas en hortícolas fue capaz de obtener resultados satisfactorios (Tabla 1): apenas hubo falsas detecciones de malas hierbas (1%), lo que equivaldría a realizar descargas sobre el 1% de las lechugas, mientras que el 84% de las malas hierbas fue correctamente detectado, lo que supone un adecuado nivel de control. Hay que hacer constar que, actualmente, se desconoce si la descarga sobre la lechuga provocaría su muerte o depreciaría su valor comercial.

Por otro lado, la Tabla 2 representa los resultados de aplicar los algoritmos sobre una serie de 60 imágenes con diversas condiciones de luz ambiental. En la tabla se han promediado distintos parámetros que pueden considerarse como indicadores de la calidad del trabajo realizado. Se observa así que el promedio de malas hierbas presentes en cada imagen es de 11,4. De ellas, 9,5 son detectadas (84 %). Al mismo tiempo, hay un cierto número de detecciones erróneas debidas a objetos extraños (en promedio, 1,4 por imagen) y de dobles detecciones (plantas individuales de malas hierbas consideradas como dos plantas distintas), en promedio, 0,8 por imagen).

	DETECTADA COMO M.H	DETECTADA COMO LECH.
MALAS HIERBAS	84 %	16 %
LECHUGAS	1 %	99 %

Tabla 1. Resultados de detección de malas hierbas en cultivos de lechugas

	num/imagen
Malas hierbas	11,4
Detectadas	9,5
Falsas malas hierbas	1,4
Dobles detecciones	0,8

Tabla 2. Resultados medios por imagen

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el caso de los cereales, teniendo en cuenta la correlación existente entre las densidades obtenidas y las reales, es posible, a partir de muestreos y aplicando técnicas geoestadísticas, construir un mapa de densidad de malas hierbas de una parcela y, teniendo en cuenta otras fuentes de información (competitividad de las especies existentes, bases de datos históricas, factores económicos, disponibilidad de herbicidas, etc.), establecer una estrategia de control selectivo para el tratamiento de las malas hierbas. En un futuro, se podría disponer de una cámara de vídeo sobre un móvil, que incluyese un ordenador personal y la correspondiente digitalizadora de imágenes, de tal forma que se realizaran mapas de densidades a partir del análisis continuo de la parcela. Por otro lado, se espera contar con un hardware específico para acelerar el proceso y poder realizarlo en tiempo real. Este hardware pueden ser tanto multiprocesadores que realicen en paralelo los diferentes algoritmos (estructura pipe-line), como tarjetas de tratamiento de imagen específicas para acelerar los cálculos.

En el caso de los cultivos hortícolas, se escogió la lechuga por ser, a priori, en el que mayores dificultades en la detección se pueden encontrar, debido a la similitud de colores entre el cultivo y las malas hierbas. En estos experimentos se ha alcanzado unos niveles aceptables de detección (84%), que se han corroborado en experiencias reales de campo con el robot. La velocidad del sistema (500 ms/imagen como promedio) es compatible con el tiempo de respuesta necesario para trabajar en tiempo real. Actualmente se está trabajando en la optimización del funcionamiento del robot, que en los próximos años podría ser una alternativa rentable a los actuales métodos de control de las malas hierbas.

BIBLIOGRAFÍA

- BENLLOCH, J.V.; AGUSTÍ, M.; SÁNCHEZ, A.; RODAS, A. (1995). Colour segmentation techniques for detecting weed patches in cereal crops. Proceedings of the 4th IARP Workshop on Robotics in Agriculture & the Food-Industry. Toulouse, France. 71-81
- MOLTÓ, E.; ALEIXOS, N.; VÁZQUEZ, J.; JUSTE, F.(1995). Determination of weeds and artichoke plants position in colour images for local herbicide action. *Acta Horticulturae* 421. (En prensa).
- NORDBO, E.; CHRISTENSEN, S.; KRISTENSEN, K.; WALTER, M. (1994). Patch spraying of weed in cereal crops. *Aspects of Applied Biology* 40: 325-334.
- PARDO, A; SUSO, M.L; ECHAVARRI, F. y LOMAS, A. (1993). Discriminación entre pimiento (*capsicum annum L.*) y malas hierbas por medio de técnicas de reflectancia. *Actas del Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*. 268-271.
- THOMPSON, J.F.; STAFFORD, J.V, and MILLER, P.C.H. 1991. Potential for automatic weed detection and selective herbicide application. *Crop-Protection* Vol.10: 254-259.

Summary: Automatic detection of weeds using computer vision

In the context of precision agriculture, this work shows the development of automatic weed detection systems that will allow weed control depending on the location and density of plants, in order to reduce or eliminate the use of chemicals. Two methods are presented in the paper: the first one is oriented towards weed detection in cereal crops, with the objective of generating weed density maps. The second one is aimed at real-time detection of weeds in vegetable, row crops, in order to be included in a vision system of a robot capable of eradicating weeds by non-chemical means.