

Robots de Invernadero

■ PILAR BARREIRO

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción en invernadero constituyen en la actualidad un claro exponente de producción intensiva donde se alcanzan niveles de rendimiento de 92kg/m² en pepino ó 55-51 kg/m² en tomate y tomate en rama respectivamente. Para ello resulta imprescindible una gran cantidad de horas de trabajo humano (1.5-2.5 h/m²) no siempre accesibles en las zonas de producción.

La técnica de producción denominada de alto cableado (high wire, ver Foto 1) es la más extendida en los invernaderos de los países bajos y se basa en la obtención de plantas entutoradas muy extensas (hasta 22 m en el caso de plantas de pepino) en las que tan sólo la parte superior permanece fotosintéticamente activa. Estudios específicos sobre el tema han demostrado que un número aproximado de 13 hojas en la parte superior (más joven) de la planta son suficientes para sostener la producción con máximo rendimiento. De esta manera el área fotosinté-

Este artículo expone los últimos desarrollos realizados por el Departamento de Sistemas Avanzados y Mecatrónica del Instituto de Ingeniería Rural y Medioambiental (IMAG- Universidad de Wageningen, Países Bajos) estudiados durante una estancia estival en dicho Centro bajo la tutela de Profesor Jan Meuleman.

ticamente activa queda separada de la zona donde crecen los frutos, en este caso pepinos, facilitando el acceso a los mismos; tan sólo en la fase inicial y final de campaña las hojas ocluyen en cierta medida los frutos, si bien se trata de periodos de mínimo rendimiento. Por otra parte, este sistema permite mantener la zona de recolección entre 1.2 y 2.0 m de altura sin más que descolgar paulatinamente la planta de manera que las partes más viejas del tallo queden tumbadas.

Japón es en la actualidad uno de los países con mayor número de robots desarrollados para uso agrícola (MURASE, 2000). Existe de hecho un robot ya comercializado para la recolección de pepinos. Sin embargo, el elevadísimo precio que alcanzan los productos hortofrutícolas en este país permiten menores

rendimientos de producción orientados a facilitar la automatización del cultivo, por ejemplo, posición oblicua de las plantas.

La finalidad del robot actualmente en desarrollo en el IMAG es en primera instancia la recolección, con extensión a otras operaciones de importancia como la poda. El cultivo tipo es el pepino, dado su elevado rendimiento de producción aunque se espera su extensión a otros productos hortícolas como el tomate. El robot ha de poder moverse de forma autónoma por el invernadero, revisando e identificando los frutos u órganos vegetativos de interés, estableciendo su posición exacta en el espacio y definiendo el movimiento de aproximación de las herramientas de corte y sujeción del producto, para su posterior depósito un remolque.



Foto 1. Sistema de cultivo high wire.

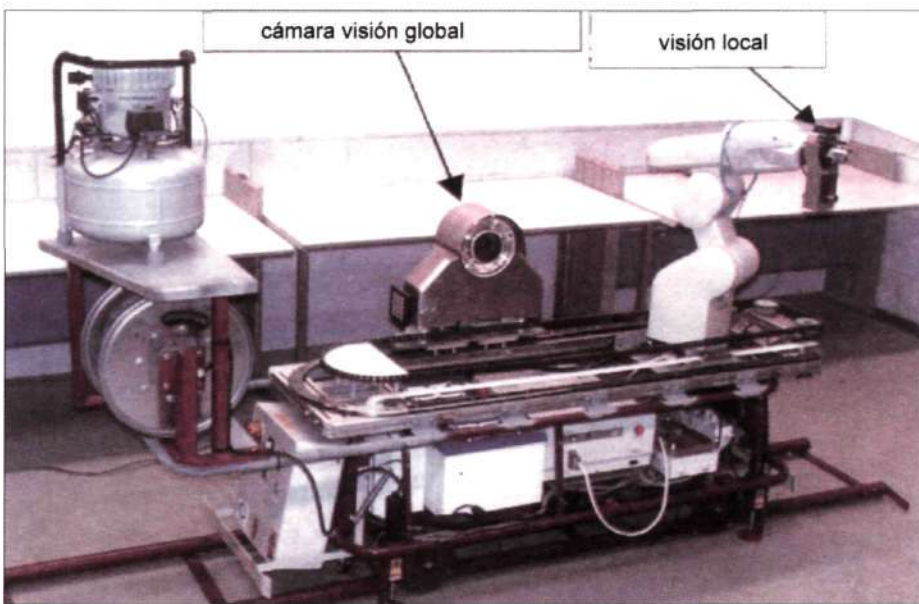


Foto 2. Vista general del robot.

Iberflora EUROAGRO conexión verde

2 0 0 2



EUROAGRO

16ª FERIA INTERNACIONAL DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

17 AL 19 DE OCTUBRE 2002

V A L E N C I A - E S P A Ñ A



Iberflora

FERIA INTERNACIONAL DE HORTICULTURA
ORNAMENTAL, FORESTAL Y FLORESTERA



SALÓN DEL JARDÍN,
URBANISMO Y PASAJISMO



SALÓN DE LA TECNOLOGÍA
HORTICOLA Y AGRÍCOLA



FH

SALÓN DE LAS FRUTAS Y
HORTALIZAS

Feria Valencia: Avenida de las Ferias, s/n E-46035 Valencia (España)
Apdo. (P.O.Box) 476 E-46080 Valencia • Tel. 34-963 861 100 • Fax 34-963 636 111 - 963 644 064
E-mail: ferivalencia@ferivalencia.com • Internet: http://www.ferivalencia.com

FERIA
VALENCIA

Hortícolas

Transferencia Tecnológica

Por tanto, el desarrollo del robot (ver Foto 2) implica distintos aspectos: vehículo motorizado, sistemas de visión y localización espacial, brazo articulado, definición de la trayectoria, sistemas de corte y de recogida del producto, y sistema de control de alto nivel.

Vehículo y sistemas de visión

El vehículo se ha diseñado para moverse sobre las tuberías de calefacción a lo largo de las líneas de cultivo accionado por motores eléctricos, tal y como se viene usando en muchos invernaderos para el movimiento de plataformas de atención y de recolección.

El sistema de visión constituye una de las partes más complejas (MEULEMAN y otros, 2000) ya que tiene como finalidad tanto la identificación de los frutos susceptibles de ser recogidos, como la localización espacial de los mismos. Para ello se emplea la combinación de una cámara de visión global montada sobre el vehículo y dotada de un movimiento de traslación a lo largo del mismo, así como otra cámara de visión detallada montada en el extremo del brazo articulado.

La cámara de visión global está basada en el principio de visión multi-espectral con el fin de facilitar la identificación de los frutos. Estudios específicos sobre el tema han demostrado que la combinación de dos imágenes obtenidas a 850 y 970 nm respectivamente (infrarrojo cercano, áreas no visible por el ojo humano, ver Figura 1) permiten diferenciar hojas y frutos debido a sus diferencias en el contenido en agua sin necesidad de aplicar algoritmos morfológicos.

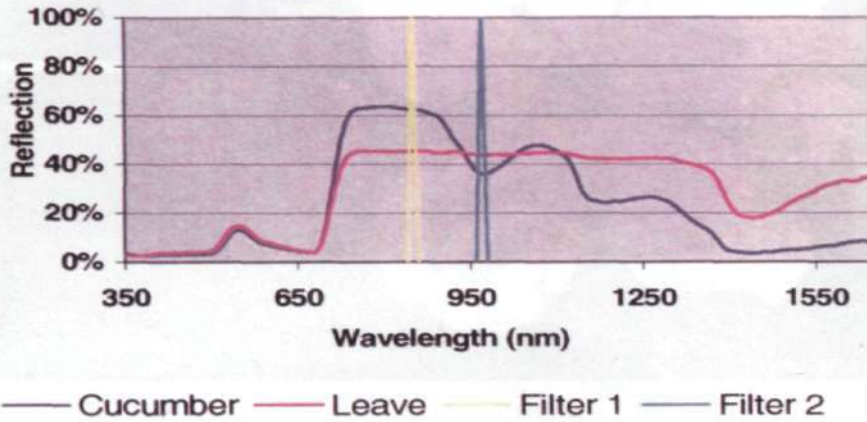
La cámara de visión global ha sido objeto de patente por parte del IMAG y consta de distintos componentes: un potente flash de Xénon que rodea el objetivo como fuente de iluminación (elimina el efecto de variaciones en la iluminación natural), un objetivo con corrección de difracción hasta 1.000 nm (permite enfocar simultáneamente imágenes de distintas longitudes de onda), espejo semi-transparente (permite proyectar la misma imagen sobre dos sensores distintos), dos sensores CCD de alta sensibilidad con filtros de paso banda específicos (850 y 970 nm, el rango dinámico de los sensores CCD ha sido ajustado en función de los niveles de reflectancia a cada longitud de onda), y una tarjeta digitalizadora RGB (sólo dos de los canales son empleados, el temporizador de uno de los sensores es sometido al otro). La combinación de imágenes a 2 longitudes de onda permite clasificar



FIGURA 1

Selección de filtros para visión multi-espectral. La curva azul corresponde a la respuesta espectral de los frutos, mientras que la rosa es característica de las hojas.

Spectral reflection



directamente todos los puntos de la imagen, el número de frutos se determina aplicando algoritmos de conectividad muy sencillos y rápidos (Foto 3).

Por otra parte, la obtención sucesiva con el sistema de visión global de dos imágenes con un desplazamiento horizontal de 5 cm (visión estereoscópica, Foto 4) permite calcular para el punto superior del fruto la posición espacial en tres dimensiones respecto al centro coordinado del robot. Para ello resulta imprescindible el uso de un procedimiento de calibración pendiente de patente por parte del IMAG. El nivel de exactitud en el cálculo de la profundidad por parte del sistema de visión global es de ± 5 mm por lo que es necesario realizar posteriormente una definición más detallada (visión local) del entorno del fruto: presencia de pedúnculos, hojas, flores, tallos...

El sistema de visión local situado en el extremo del brazo articulado está constituido por una cámara CCD en blanco y ne-

En sus plantaciones de Cítricos

Fuego + Micor

La combinación perfecta para la sanidad de sus raíces

Fuego

Producto biológico a base de una flora microbiana que parasita los hongos patógenos del suelo e inhibe la evolución de larvas de nemátodos, mejorando la microbiología del suelo.

Micor

Enraizante natural a base de polisacáridos que aumenta el desarrollo radicular.



BIAGRO
BIOESTIMULANTES
AGRÍCOLAS, S.L.

Cuida la naturaleza

C/ Jaime I, 8
Polígono Industrial del Mediterráneo
46560 Masalfasar, Valencia

Tel.: 961 417 069 · Fax: 961 401 059

E-mail: biagro@ediho.es
<http://www.ediho.es/biagro>

gro cuya característica esencial es un bajo nivel de ruido (ver Foto 5) acompañada de su respectiva tarjeta digitalizadora. En el sistema de visión detallada también se procede a la obtención de imágenes estereoscópicas mediante desplazamiento horizontal de la cámara. A parte del mencionado procedimiento de calibración para el cálculo de las coordenadas espaciales, en este caso resulta imprescindible además la aplicación de un algoritmo de identificación de puntos coincidentes en ambas imágenes. Este aspecto del sistema de reconocimiento resulta extremadamente lento y exigente en recursos (caro) por los métodos tradicionales por lo que el IMAG ha desarrollado un procedimiento rápido y novedoso basado en principios de descomposición de la varianza. El nivel de exactitud alcanzado en el cálculo de la profundidad mediante el sistema de visión local es de ± 1 mm lo que en principio ha de permitir un correcto acercamiento y corte del fruto.

Brazo articulado y definición de la trayectoria

El brazo articulado es un dispositivo comercial de la marca Mitsubishi (www.ri-xam.com) con seis grados de libertad. A este brazo se le ha añadido un séptimo grado de libertad consistente en la traslación a lo largo del vehículo motorizado. En sus movimientos el brazo muestra una precisión de ± 0.1 mm lo que le hace apropiado para tareas de acercamiento a objetos de pequeño tamaño. Este dispositivo dispone de un *software* capaz de efectuar el acercamiento secuencial a un objetivo con coordenadas expresadas respecto al centro coordinado del robot aunque no contempla las posibles colisiones durante la trayectoria. Por ello, un aspecto fundamental en el desarrollo de este robot ha sido la algorítmica de definición de la trayectoria sin colisiones.

Para el planeamiento de la trayectoria (Van Henten y otros, 2000) ha sido necesaria la modelización 3D del brazo y vehículo motorizado (ver Figura 2). El sistema de visión aporta al modelo de simulación las coordenadas espaciales respecto al centro coordinado del brazo de los frutos así como de los obstáculos circundantes. A partir de las coordenadas y orientación del objetivo, los algoritmos desarrollados buscan desde la articulación final del brazo hasta la base del mismo las distintas configuraciones de los 7 grados de libertad que redundan en suficiente espacio libre sin colisiones. Una vez conocida la configuración final, los algoritmos interpo-

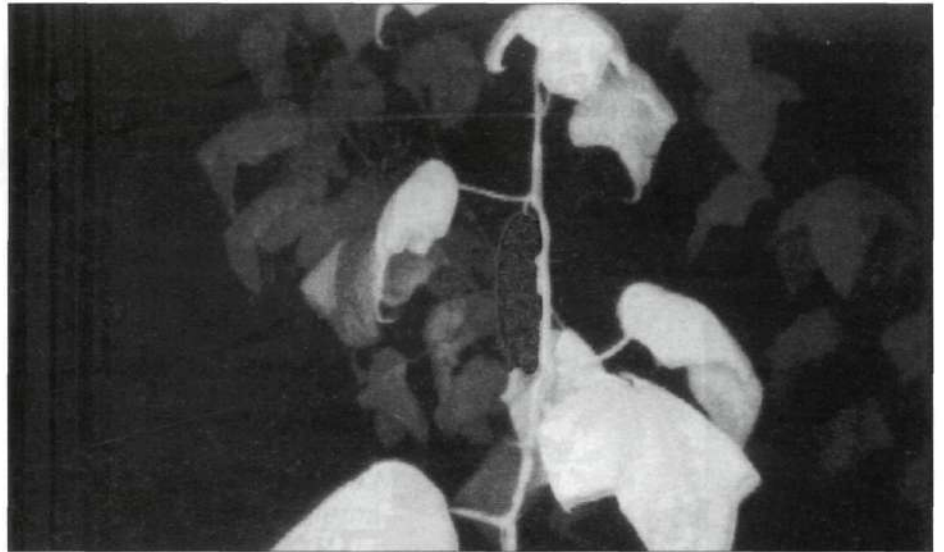


Foto 3. Resultado de la identificación de los frutos basado en ratios espectrales en el sistema de visión global, una vez aplicado un algoritmo de conectividad.

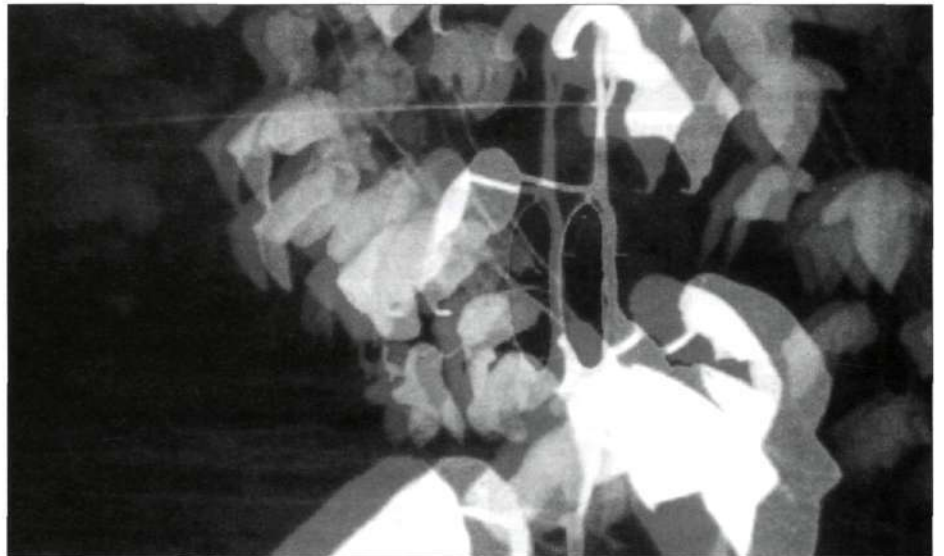


Foto 4. Par de imágenes estereoscópicas procedentes del sistema de visión global. Los objetos están más desfasados cuanto más cercanos a la cámara.

lan un número de posiciones intermedias entre la situación actual de brazo y la posición final deseada (ver Figura 3).

Dispositivos de corte y recogida del producto

El dispositivo de corte está montado en el extremo del brazo en posición inmediatamente inferior al sistema de visión local. El principio de corte es térmico lo que favorece la cicatrización de la herida sin infecciones y asimismo evita las pérdidas de peso del fruto. Este elemento patentado por el IMAG se ha desarrollado

también en forma de dispositivo manual para el corte de flores por ej. rosas.

Simultáneamente al corte es imprescindible la sujeción del producto para su posterior traslado al punto de descarga, en uno de los extremos del vehículo motorizado. Para ello, se ha desarrollado una copa de succión neumática en la parte inferior del dispositivo de corte.

Control de alto nivel

Esta es la última fase en el desarrollo del robot e implica la programación de herramientas informáticas capaces de integrar los apartados anteriormente men-

