



IV SIMPOSIUM NACIONAL DE RECONOCIMIENTO DE FORMAS Y ANALISIS DE IMAGENES

Granada
24-28 de septiembre 1990

COMUNICACIONES

Quiero BUS y Alameda Llorca

Sociedad Española de Reconocimiento de Formas y Analisis de Imagenes (SERFAI)

INDICE

Pag.

APLICACIONES

- Problemática y Resultados en teledetección sobre geología del SW Peninsular. P. Herranz, A.P. Pieren.....	1
- Elección de Componentes Principales para la Clasificación no Supervisada de Imágenes LANDSAT. A. Serra, A. Gasull, P. Montolio, Ll. Torres.....	9
- Análisis y Optimización del Algoritmo k-medias Aplicado a Teledetección de Imágenes LANDSAT. P. Montolio, A. Gasull, A. Serra, Ll. Torres.....	17
- Campo Dinámico en la Generación de la Estela de un Cilindro. Aplicación al Proceso Digital de Imagen. J. Massons, X. Ruiz, F. Díaz.....	24
- Ajuste de un Parcelario Catastral a una Fotografía Aérea del Terreno. F. Gómez, J.M. Carranza, C. Martín.....	32
-Recuento Automático de Olivos sobre Fotografías Aéreas. J.M. Carranza, C. Martín, F. Gómez.....	34
- Interpolación de Modelos Numéricos del Terreno. C. Martín, J.M. Carranza, F. Gómez.....	36
- Análisis de Imágenes Gammagráficas Mediante Morfología Matemática. J. Dupuy J. Serrat. J. Vitriá, J. Pladellorens....	44
- Mejora de Legibilidad de Documentos Antiguos Mediante Tratamiento Digital de Imagen. J. Bescos, J. Navarro, C. Ramón.....	51
- Reconstrucción Tridimensional de Especímenes Biológicos a partir de Imágenes de Microscopia Electrónica: Una Metodología General. J.M. Carazo, G. Abell, S. Marco, M. Muiyal, J. Lizarraga, I. Benavides, E.L. Zapata, J.L. Carrascosa.....	59
- Una Aproximación a la Localización de Frutos para Recolección Automática. M. Vicens, J. Pelechano, V. Arnau, V. Cerverón, J. Albert, F. Ferri, J. Domingo.....	66
- Reconocimiento Automático de Matrículas. M.A. Arregui, J.M. Mitxelena.....	74
- Investigación Sobre la Evolución de los Compuestos Intermetálicos en el Envejecimiento de la Aleación Al-Si-Mg Mediante la Técnica de Análisis Digital de Imagen. C. Ferrer, V. Amigó, M.D, Salvador.....	82
-Citometría Diagnóstica Asistida por Imagen. A. Sampedro, A. Martínez, J.R. Riera, P. Gonzalvo.....	89

UNA APROXIMACION A LA LOCALIZACION DE FRUTOS

PARA RECOLECCION AUTOMATICA

M. Vicens**, J. Pelechano**, V. Arnaiz**, V. Cerverón*, J. Albert**, F. Ferrí*, J. Domingo

* Dpto. de Informática y Electrónica. Universidad de Valencia

** Instituto de Robótica. Universidad de Valencia

ABSTRACT

This paper focuses on the application of several techniques and methods used in artificial vision to a prototype of a robotic system used for citrus harvesting. The several steps of the vision process are studied, which extend from optical properties of interesting objects to the implementation of procedures for fruit localization. Particular attention is devoted to review the main problems of this task, which are mainly produced because of variable illumination of the scenes due to the ambient in which such task must be made. Some representative examples are shown and an evaluation of the results is made.

INTRODUCCION

La incorporación de las nuevas tecnologías a las tareas agrícolas se ha encontrado con problemas por la amplia variedad de condiciones adversas bajo las que se debe operar (terrenos irregulares, condiciones ambientales extremas de temperatura y humedad, etc...) pero pese a ello se incrementa el interés por considerar la aplicación de sistemas inteligentes en este campo (SIST-87, GRAN-85, RABA-88). En tal sentido, comenzó en el año 1987 un proyecto de investigación franco-español dirigido a la construcción de un robot recolector de cítricos, enmarcado dentro del plan europeo Eureka (Citrus-Robot, EU-176), y bajo el cual se empezaron a realizar las investigaciones motivo del presente trabajo.

Los robots agrícolas, a diferencia de los industriales, tienen que trabajar con objetos que varían ampliamente en forma, tamaño, color, textura, etc. El aspecto más importante en ellos es la iluminación de las escenas. Si no se hace uso de fuentes adicionales de luz artificial, la única fuente disponible es el sol. Esto provoca, como es lógico, graves problemas de variabilidad de iluminación impredecibles. Este problema es analizado y expuesto en otro trabajo de este departamento.

La complejidad de los sistemas computerizados aplicados a la agricultura depende en gran medida del entorno de trabajo, de su naturaleza variable y de la dificultad para modificarla. Ya se están realizando estudios para encontrar nuevos procedimientos de cultivo para conseguir, por ejemplo, que los árboles se desarrollen según un patrón preestablecido, lo que facilitaría la recolección de los frutos (JUST-89).

PROCESO DE VISION

La aplicación particular que motiva este trabajo es el desarrollo de un sistema que permita la localización de frutos en el árbol, más concretamente naranjas, para su posterior recolección automática mediante un brazo robot.

Al problema de la iluminación de la imagen antes señalado se añade otro más que condiciona el proceso de visión: los objetos se hallan parcialmente ocultos por hojas y ramas cuya distribución es obviamente al azar. Por eso no se tendrá una visión parcial de los mismos y aparecerán muchas zonas sombreadas en la escena. Los algoritmos a desarrollar deberán establecer un compromiso entre velocidad de cálculo y precisión de los resultados, de modo que se permita un cierto grado de error si con ello se acelera el proceso.

La aproximación realizada para resolver el problema descrito se puede ver reflejada en la figura 1.

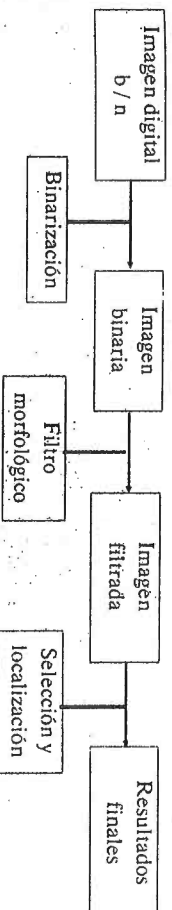


Figura 1

El punto de partida del proceso es una imagen digitalizada de la escena, obtenida mediante una cámara CCD b/n sobre la que se montó un filtro interferométrico de 650 nm, con un ancho de banda de 20 nm. La elección de la frecuencia de pico de este filtro se realizó tras un estudio estadístico de las curvas de reflectancia de luz, tanto para naranjas como para hojas (ARNA-90).

La presencia de objetos parcialmente ocultos va a impedir la localización de los mismos utilizando la forma como característica. Por tanto, quedan descartados métodos de localización del tipo transformada de Hough para la búsqueda de objetos circulares (DUDA-72).

La binarización de la imagen se hará por umbralización (selección de los pixels más brillantes). El problema es que junto a las naranjas aparecen también valores altos de la intensidad en zonas muy iluminadas como los brillos en las hojas y el cielo. La selección del umbral solamente se calcula en determinados momentos de la tarea, por ejemplo, aprovechando algún tiempo muerto del robot o cuando las condiciones lo requieran.

A continuación cualquier otro tipo de ruido se puede reducir mediante un filtraje morfológico, que permitirá eliminar los elementos pequeños de la imagen y "rellenar" los agujeros de los objetos más grandes. A partir de la imagen binaria mejorada se localizan los objetos recorriendo el contorno de todas las zonas iluminadas de la nueva imagen, eliminando aquellos objetos que no posean un perímetro mínimo, estableciendo conociendo la distancia del árbol a la cámara y el tamaño promedio de los frutos que se desean localizar.

El resultado final del proceso será la localización de los objetos que permanecen en la imagen tras realizar todos los tratamientos anteriores y cumplir las restricciones establecidas. Esta información de localización espacial será utilizada por el robot para la recolección de los frutos.

En los siguientes apartados se describe de manera más formal y detallada cada una de las partes del sistema: binarización, filtrado morfológico y selección y localización.

BINARIZACIÓN

El proceso de binarización es la separación de la imagen I en dos regiones disjuntas: S (puntos seleccionados) y R (resto) atendiendo a alguna característica que tengan los puntos de S y no tengan los de R. En este trabajo ha sido utilizado un método de segmentación por binarización mediante umbralización global.

En escenas naturales los frutos son generalmente más brillantes que el resto de la imagen. Sin embargo, tanto los objetos como el fondo se solapan en gran parte de las ocasiones debido a la existencia de sombras sobre partes de las naranjas y a los efectos de la reflexión de la luz solar directa sobre las hojas. Dicho efecto hace que la umbralización global no pueda separar perfectamente los frutos del resto. No obstante, puede conseguir resultados bastante buenos y es empleado por ser el método de segmentación más rápido que existe.

La selección del umbral deberá ser tal que la región S sea lo más similar posible a la región N, indicando por N la región formada por los puntos de las naranjas. Esto se puede medir por tres condiciones:

- la región S-N (puntos seleccionados que no son correctos) debe contener el mínimo número de puntos.
- la región N-S (puntos a seleccionar que no lo son) también debe ser lo menor posible.
- la región S debe contener un número suficiente de puntos de cada una de las regiones N_i correspondientes a cada una de las naranjas presentes.

La estrategia del robot, consistente en ir tomando imágenes contiguas pero parcialmente solapadas, asegura que cada naranja aparecerá en más de una imagen. Por ello es preferible que el brazo no se lance equivocadamente a recoger un objeto que no sea un fruto, esperando que los frutos sean más reconocibles en tomas posteriores.

Por esto último, se da prioridad a las condiciones a) y c) sobre la condición b), ya que se desea rechazar el mayor número de puntos que no pertenezcan a los frutos. El rechazo de puntos que pertenecen a los frutos no tendrá efectos negativos siempre que de cada naranja N_i sea seleccionado un número suficiente de puntos.

Para la selección del umbral se ha empleado una variación de un método de selección iterativa de umbral debido a Ridler y Calvard (RIDL-78). Una prueba de la convergencia del algoritmo, se da en (VELA-80). Existen otros muchos métodos más sofisticados y precisos, pero se escoge éste por ser muy rápido conforme a las necesidades de velocidad de cálculo que se han citado. Además el posible error que se pueda cometer no afecta a los resultados finales de todo el proceso.

El método es como sigue:

U := 4 * max(I) / 5;
repetir
 T := U;
 segmentación(I, S, R, T);
 ms := media(S);
 mr := media(R);
 U := (4 * ms + mr) / 5;
hasta que U = T;
umbral := U;

{ (1) }
{ (2) }
{ (3a) }
{ (3b) }
{ (4) }

(1) Se selecciona un primer umbral estimado T. Se escogerá en cada caso un valor igual a 4/5 de la intensidad del punto más brillante de la imagen. Con este valor se obtienen, por lo general, resultados experimentales bastante buenos.

(2) Se divide la imagen I en dos regiones S y R según tengan los puntos una intensidad mayor o menor que el umbral T.

(3) Se calcula el valor medio para cada región, siendo ms la media de la región S y mr la media de la región R.

(4) Se calcula un nuevo valor umbral U = (4 * ms + mr) / 5.

(5) Si el valor calculado U coincide con el valor estimado T (que se ha empleado en la segmentación del paso 2) este es el valor seleccionado. En caso negativo se vuelve al paso 2 utilizando como valor estimado el último valor.

La fórmula inicial de Ridler y Calvard en el paso 4 calcula U como la media de ms y mr. En este trabajo se da mayor peso a la media ms que a la mr. De este modo se separará la región S con umbrales más altos y por tanto más selectivos, consiguiendo un mejor cumplimiento de la condición a) citada anteriormente y conservando la condición c).

La distribución de pesos indica que en la segmentación la probabilidad asociada a la región seleccionada es del 20 %, indicando que se van a seleccionar del orden de la quinta parte de los puntos de la imagen. Muchos de esos puntos serán eliminados en los pasos siguientes.

EL TRADO MORFOLOGICO

El objetivo de este preproceso sobre la imagen binaria consiste en conseguir que esta última parte del sistema funcione de una manera más eficiente y más rápida. Se ha comprobado que del total de componentes conexos en las imágenes binarias, bienidas por el método antes explicado, alrededor de un 30% pertenecen simplemente a ruido (brillo sobre hojas, cielo, etc), si estos objetos fueran eliminados se conseguiría acelerar el proceso posterior.

La tarea a realizar consistirá pues en eliminar de la imagen el ruido que se presentará de tres formas diferentes: a) pequeños objetos correspondientes a brillos, b) agujeros sobre objetos grandes debidos a la iluminación defectuosa, y c) contornos abruptos en los objetos.

Para abordar esta tarea se han utilizado técnicas basadas en la Morfología Matemática (MM) (SERR-82, COST-85), que resultan particularmente adecuadas para trabajar con imágenes binarias.

Definiciones básicas:

Sea X una imagen binaria (conjunto de puntos en el espacio euclideo) y B otro conjunto de puntos espacial que llamaremos Elemento Estructural (EE). Todas las transformaciones en MM están conducidas por EE. Se definen las siguientes operaciones básicas:

Dilatación (X, B) = { x | R_x² / B_x X = } = X + B'
Erosión (X, B) = { x | R_x² / B_x c X } = X - B'
Apertura (X, B) = (X + B') - B
Cierre (X, B) = (X - B') + B
Dónde

B_x = { x + h | R_x² / x B } Translación de B por el vector h
B' = { -x | R_x² / x B } Traspuesto de B
X + B = U X_h X - B = X_h Adición y Sustracción de Minkowski

Para una revisión detallada de estas operaciones básicas consultar COST-85 o SERR-87. La aproximación básica para resolver nuestro problema consistirá en aplicar una apertura seguida de un cierre, de manera que la apertura elimine los objetos que sean demasiado pequeños y suavice los 'codos' de los objetos grandes, y el cierre rellene los agujeros y los 'golfs' en los objetos grandes.

Si sólo se aplicara este transformación el problema consistiría en la elección de la talla del EE, ya que una talla inadecuada podría hacer que desaparecieran objetos grandes por tener algún agujero, o que aparecerían falsos objetos por unión de muchos pequeños debido a las propiedades de la apertura y del cierre, respectivamente. Además, los contornos de los objetos resultantes habrían sido modificados excesivamente por una transformación de este tipo.

La mejora inmediata de este método consiste en la utilización de Filtros Alternados Secuenciales (FAS), que poseen interesantes propiedades matemáticas (SERR-82). Estos consisten en la aplicación sucesiva de aperturas y cierres con EE de tal a creciente.

Con dicho procedimiento se reducen los problemas anteriores y se consiguen unos contornos más suaves. En nuestra aplicación particular de los FAS hemos utilizado como EE bolas de tallos 1,3,5,7, en un claro compromiso entre efectividad y coste.

Esta aproximación puede requerir un coste computacional apreciable, por lo que será aconsejable en un futuro la incorporación de procesadores específicos para MM, que ya existen en el mercado.

SELECCION Y LOCALIZACION

Después de los anteriores niveles de preprocesado, la imagen resultante es binaria y, en principio, bastante limpia de ruido. Para localizar las formas buscadas y eliminar el ruido residual usaremos un algoritmo de seguimiento de bordes descrito en ROSE-82, modificándolo adecuadamente para incrementar su eficiencia en relación a la consecución de nuestro particular objetivo; para ello necesitaremos que calcule el perímetro de la forma y el rectángulo que la inscribe.

Dada una imagen binaria, S, y su imagen complementaria, S', se define su borde S' como el conjunto de puntos de S que son 8-adyacentes a S'.

Supondremos solamente que la figura no toca el borde de la imagen y evitaremos esto marcando como fondo un marco de un pixel de anchura; esto es casi equivalente a considerar la imagen mayor de lo que es, pero con la parte no visible valiendo 0.

Sea C la forma cuyo contorno queremos seguir, y sean los ocho vecinos de P, ordenados siguiendo el sentido de las agujas del reloj y empezando por Q, $Q = R_1, R_2, \dots, R_8$. Supongamos que C no consiste únicamente en el punto aislado {P}; en nuestro caso esto es siempre cierto porque los puntos aislados ya fueron eliminados en el paso anterior. El algoritmo que actúa sobre estas estructuras, calculando a la vez su perímetro y el rectángulo inscriptor es como sigue:

Hacer

perimetro,
limite_superior,
limite_inferior,
limite_derecho y
limite_izquierdo todos ellos iguales a 0.

Marcar P como punto de borde

Construir el vector {R_i} de vecinos de P,
ordenado en el sentido horario de recorrido

Hacer

Seleccionar un nuevo par P', Q' como:
Recorrer {R_i} hasta encontrar el primero de los R que pertenece a S
(tal R existe ya que P no es aislado)

Hacer P' := R_i y

Q' := R_{i+1} (el punto anterior en el vector {R_i})

Marcar P' como punto de borde

perimetro := perimetro + 1

Si abscisa(P') > limite_derecho
entonces

limite_derecho := abscisa(P')

Si abscisa(P') < limite_izquierdo
entonces

limite_izquierdo := abscisa(P')

Si ordenada(P') > limite_superior
entonces

limite_superior := ordenada(P')

Si ordenada(P') < limite_inferior
entonces

limite_inferior := ordenada(P')

Construir el nuevo vector {R_i}

Este método también permite la localización porque como hemos visto, al mismo tiempo que recorremos el borde podemos encontrar los puntos más extremos en cada dirección, es decir, conocemos el rectángulo en el que la forma está inscrita. Podemos dar el centro de este rectángulo como la posición de la forma, o podemos usar métodos más complicados como la erosión última (COST-85) u otros para encontrar el centro geométrico, aunque normalmente la primera solución es bastante adecuada y mucho más rápida.

Finalmente este método puede usarse para eliminar el ruido residual usando el hecho de que normalmente éste tiene un perímetro menor que las naranjas, y que un valor aproximado de dicho perímetro medio es conocido, como señalamos en el apartado Proceso de Visión.

Naturalmente, las coordenadas de cada objeto son pasadas al resto del sistema informático, que las procesará para enviarlas al brazo del robot.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para poder comprobar la idoneidad del procedimiento expuesto en este artículo se han realizado múltiples experiencias, entre las que se han escogido para presentar aquí tres imágenes que reflejan diversas condiciones de iluminación, ocultaciones y, en general, tres entornos de trabajo diferentes.

Las tres imágenes (figs. 2,3 y 4) han sido tomadas con el equipo antes descrito, usando delante del objetivo el filtro de 650 nm.

La primera toma muestra unas condiciones lumínicas excelentes, con objetos muy contrastados y ocultos en una pequeña proporción de su superficie, pocos brillos y ninguna porción de cielo visible a través de las hojas. Los resultados de la localización de frutos para esta imagen pueden verse en la figura 5. Todas las naranjas visibles han sido encontradas, y ningún objeto que no lo fuese ha sido clasificado como tal. La parte de cielo que puede verse en el ángulo superior izquierdo ha sido también eliminada.

La segunda toma muestra unas condiciones peores, pero aún muy aceptables. Los objetos están bien contrastados y poco ocultos, pero aparecen algunos reflejos en las hojas, uno de los cuales (el etiquetado en la imagen de localización, fig. 6, como 2) ha sido indebidamente clasificado como naranja. Por lo demás, ninguna de las naranjas presentes en la toma ha sido rechazada.

En la tercera toma (fig. 4) se observan casi las peores condiciones de iluminación que es posible encontrar: baja luminosidad del sol por día nublado, incidiendo éste además de forma lateral, y siendo sus rayos interceptados por hojas colocadas en posiciones tales que ocultan las naranjas. La escasez de luz incidente y, consiguientemente, reflejada es tal que la imagen captada por la cámara después de pasar por el filtro posee una intensidad media, y lo que es peor, un rango de intensidades muy bajos.

El método reconoce en esta imagen tres objetos, de los cuales únicamente uno es naranja, correspondiendo los otros dos a brillos de hojas, los cuales en otros tipos de imagen no aparecen pero que en ésta son

considerados por el procedimiento de binarización al calcular éste un umbral menos selectivo debido al menor valor promedio de la intensidad de la imagen.

En general, y para concluir, podemos decir que el método funciona correctamente en un número de casos ampliamente suficiente para los propósitos generales del robot, consiguiendo una relación adecuada entre coste computacional, rendimiento y precio del sistema. Como ampliación de este trabajo ya se están realizando estudios para la aplicación de técnicas de reconocimiento en color para poder tratar mejor todos los casos, incluso aquellos cuyas condiciones sean semejantes a las mostradas en el último de los ejemplos.

REFERENCIAS

- ARNA-90 : Arnaud V., Cerverón V., Albert J., Vicens M., Pelechano J., Domingo J., Ferrer C., Ferri F.
"Colorimetric recognition in natural ambient: an application to harvesting"
Proc. RecPad 90 (Lisboa), 1990.
- COST-85 : Coster, M. y Chermant, J.L.
"Précis d'analyse d'images"
Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1985.
- DUDA-72 : Duda, R.O. y Hart, P.E.
"Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures"
Comm. Ass. Comput. Mach. 15, 11-15, 1972.
- GRAN-85 : Grand d'Esnon, A.
"Robotic harvesting of apples"
Proc. of Agrimation, 1 pp. 210-214, 1985.
- JUST-89 : Juste, F., Castillo, S., Molto, E., Fornes, I., Albadalejo, J.
"Recolte robotisée des agrumes en Espagne"
Proc. Agritique 89 (Bordeaux), 1989.
- RABA-88 : Rabatel, G.
"A vision system for MAGALI, the fruit picking robot"
Proc. of AG ENG 88, Paper N. 88293, 1988.
- RIDL-78 : Ridler, T.W. y Calvard, S.
"Picture thresholding using an iterative selection method"
IEEE Trans. Sys. Man, Cyber. Vol. SMC-8, pp. 630-632, 1978.
- ROSE-82 : Rosenfeld, A y Kak, A. C.
"Digital Picture Processing"
Academic Press Inc. 1982.
- SERR-82 : Serra, J.
"Image analysis and Mathematical Morphology"
Academic Press Inc. 1982.
- SERR-87 : Serra, J.
"Cours de Morphologie Mathématique"
Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1987.
- SIST-82 : Sistler, F. E.
"Robotics and intelligent machines in agriculture"
IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, N. 1, 1987.
- VELA-80 : Velasco, F. R. D.
"Thresholding using the ISODATA clustering algorithm"
IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., Vol. SMC-10, pp. 771-774, 1980.



Figura 2

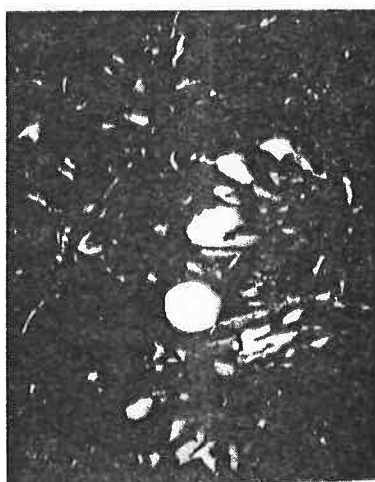


Figura 3



Figura 4

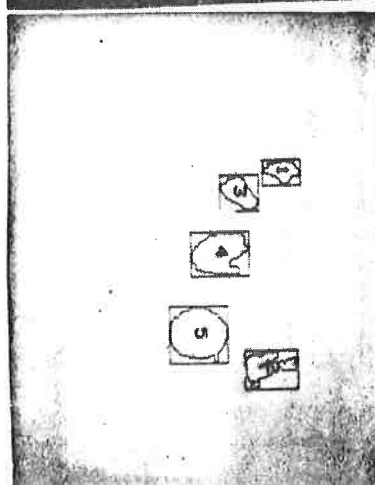


Figura 6

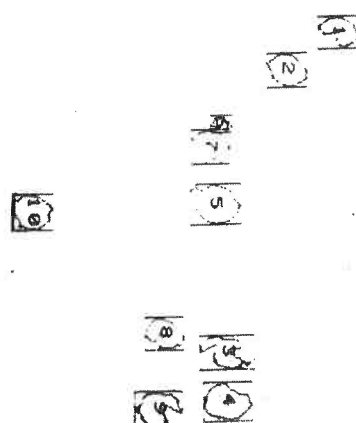


Figura 5

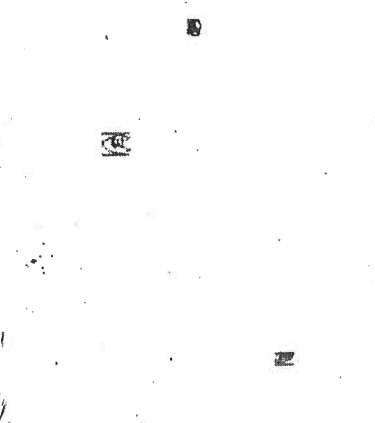


Figura 7

INDICE DE AUTORES

59	Abella, G.
260, 66	Albert, J.
82	Amigo, V.
194, 66	Arnan, V.
74	Arregui, Miguel A.
164	Barba, A.
170	Beltrán Blázquez, Fernando A.
268, 59	Benavides, J. I.
101	Benítez, M. Carmen
51	Bescós, Julián
105, 103	Bonafonte, Antonio
284	Bosch, S.
239	Cabello, D.
160, 162	Calvo Cuenca, A.
284	Campos, J.
268, 59	Carazo, J. M.
36, 34, 32	Carranza, J. M.
59	Carrascosa, J. L.
127	Casacuberta, Francisco
178	Casas, J. R.
66	Cerverón, V.
284	De F. Moneo, J. R.
24	Díaz, F.
111	Díaz, J. C.
101	Díaz, Jesús
260, 66	Domínguez, J.
44	Dupuy, A.
247	Fernández López, Eusebio
276	Fernández Valdivia, Joaquín
82	Ferrer C.
91	Ferrer Roca, O.
260, 66	Ferrí, F.
292	Ferrí Rabasa, F.
95	Flaquer, Marius
91	Fragoso, R. M.
210	Frau, J.
101	Gálvez, Juan A.
160	Gallago Huertas, M.
300	García, P.
101	García, Pedro
327	García, J. A.
17	Gasull, A.
135	Gil, Daniel
36, 34, 32	Gómez, F.
111	Gómez, P.
218	González Jiménez, J.
308	Gonzalo, Consuelo
89	Gonzalo, P.
335	Gutiérrez Jaimez, Ramón
1	Herranz Araujo, P.
316	Huguet, J.
284	Juvelis, I.
59	Lizarraga, J.
109	López, Juan M.
210	Llario, V.
119, 103	Lleida, Eduardo
228	Llorens, A.
202	Maravall Gómez, Darío

ch a process
information
knowledge of
write:
(s)ds] =
(2)
tion of v.
(λ^s)
variable
t
f(s)ds)
u
(3)
at is, the
be written
0
kⁿ (λ^s -t)
kⁱ
s. J. Roy.
t-Detection
1037-1039.
(1976).
neering and