

SISTEMA DE PERCEPCION VISUAL PARA RECONOCIMIENTO Y LOCALIZACION DE FIGURAS
BIDIMENSIONALES.

Guillermo Adolfo Jaquenod.

Centro de Técnicas Analógico-Digitales - Facultad de Ingeniería - Universi-
dad Nacional de La Plata
48 y 116 - (1900) - LA PLATA - ARGENTINA . Tel.:(021)45643

Resumen:

La incorporación de capacidad de cómputo en dispositivos mecánicos de ma-
nufactura y manipulación de objetos ha permitido ampliar notablemente la po-
tencia funcional de dicho equipamiento, al permitir programarlos con facili-
dad asegurando una repetibilidad de operación no obtenible por medios mecáni-
cos (máquinas de control numérico, P.L.C., etc.).

La evolución actual de la tecnología tiende a agregarles la capacidad de
adaptación, permitiendo optimizar ciertos parámetros de operación (velocida-
d, consumo de energía) con una mayor versatilidad.

En esta etapa, los sistemas de percepción (sensores), cumplen una tarea
crítica, siendo uno de los más importantes el de percepción visual, dado que
facilita notablemente la tarea de reconocimiento y localización de cuerpos -
para su posterior manipulación.

En este trabajo se describe un equipo desarrollado para el reconocimien-
to y localización de figuras bi-dimensionales, en condiciones ambientales con-
trolables (ausencia de ruido y alto contraste).

Abstract:

Computing capabilities for mechanic devices used in manufacturing and --
handling improved the repeatability of the operation of Numeric Control Ma-
chines, P.L.C.'s, etc..

Versatility is also added when adaptability is made available. At this -
stage, sensing devices and especially those that allow the machine to find
and recognize objects, play a role of paramount importance in the system's -
structure.

This paper describes the algorithm and equipment developed for locating
and recognizing 2-D objects in an ideal noise-free, high-contrast environment.
The system is based on an 8 bits microprocessor coding each figure as a sepa-
rate Freeman-chain. Moments up to order 2, and number and kind of vertices --
are computed for every figure within the field and compared to those in a re-
ference data base. The the position is evaluated for a complete identifica-
tion of the object.

1) INTRODUCCION:

Desde los inicios de la electrónica, el
empleo de controles de este tipo en sistemas
mecánicos se ha ampliado en forma notoria, y
desde los primeros servomecanismos a los
actuales "robots industriales", con gran va-
riedad de formas intermedias. Entre ellas po-
demos notar:

- Servomecanismos: generalmente asociados a
sistemas electromecánicos que permiten tras-
ladar movimientos a distancia, con cambios
de escala en aspectos tales como potencia,
amplitud, fuerza, velocidad, etc..
- Sistemas de control numérico: este tipo de
equipos incorporan el concepto de "programa"

permitiendo el empleo de un equipo "standard"
en distintas aplicaciones. Estos programas -
son ingresados por una cinta perforada o mag-
nética donde se determina exactamente la se-
cuencia y temporización de los movimientos.
Una variación sobre este tipo de equipos se
da en los PLC (Programmable-Logic-Controllers)
donde se ha evolucionado en los métodos de
programación y en las etapas de interfase e-
lectrónica/electromecánica.

- Manipuladores: estos equipos combinan la -
capacidad de programación propia de un PLC
o una computadora, con un dispositivo mecá-
nico, generalmente antropomórfico (donde -
incluso se emplean términos como Brazo, Mu-

- ñeca, Mano, Dedos, etc.). Son empleados fundamentalmente en aplicaciones repetitivas (por ejemplo, equipos de soldadura y pintura en fábricas automotrices), dándose que su mayor capacidad de cómputo permite la ejecución de tareas tales como "aprendizaje" de trayectorias, o acciones de emergencia.
- Robots: en tanto los manipuladores realizan tareas repetitivas, en condiciones ambientales fijas, con poca o ninguna realimentación sensorial, el término "robot" es actualmente asociado a sistemas electrónico/mecánicos no necesariamente antropomórficos, caracterizados por su capacidad de adaptación a condiciones cambiantes por medio de:
 - Sistemas mecánicos adaptivos: optimizan las trayectorias y velocidades de los desplazamientos, a fin de minimizar parámetros como energía o tiempo empleados.
 - Sistemas sensoriales elaborados: el agregado de capacidad táctil (sensado de presiones y temperaturas), capacidad visual (reconocimiento de objetos en condiciones ambientales variables), etc., permite que el sistema se adapte al ambiente en vez de depender de él en forma estricta.
 - Mayor capacidad de procesamiento: el estudio de estructuras de procesamiento de la información y manejo de datos con el objeto de generar sistemas con capacidad de decisión, ha determinado la aparición de una rama de estudio llamada "inteligencia artificial".

En el caso particular de los sistemas sensoriales, y dentro de ellos los de visión, las posibles condiciones ambientales determinan a su vez distintas metodologías de procesamiento estadístico de la información recibida y con ello a una ingente tarea de cómputo: por el contrario, en el caso de un sistema de visión para un manipulador industrial, las condiciones ambientales son controlables (iluminación, contrastes, colores, etc.), siendo en cambio prioritarios los aspectos velocidad de procesamiento y costo.

2) DESCRIPCION DE LOS OBJETIVOS DEL PRESENTE TRABAJO:

Se ha desarrollado un sistema de visión orientado a aplicaciones de tipo industrial (manipulación de objetos para clasificación y armado de piezas), habiéndose planteado como requerimientos iniciales:

- 2.1) Condiciones ambientales controlables: se opera sobre figuras con alto contraste, sin considerar la variable "color", introduciéndose como ruido de observación exclusivamente el de digitalización de la imagen.
- 2.2) Memoria de imagen reducida: la escena a procesar se limita a un plano de 256 x 256 puntos, con dos niveles posibles de señal (luz/oscuridad), a fin de disminuir el costo de hardware y minimizar el tiempo de procesamiento, manteniendo una resolución aceptable.
- 2.3) Sistema de cómputo de bajo costo: el equipo emplea un microprocesador de 8 bits

(MC 6809).

- 2.4) Procesamiento de figuras bi-dimensionales: el sistema opera sobre figuras planas, sin superposición.

En tanto los requerimientos 2.1) y 2.2) se consideran fijos, los requerimientos 2.3) y 2.4) se han planteado como pasos iniciales, previéndose la aplicación futura al procesamiento de contornos de cuerpos tri-dimensionales, al uso de multiprocesamiento, y al empleo de microprocesadores de mayor capacidad (MC68000).

Aunque estas condiciones iniciales plantean fuertes restricciones al empleo del sistema, es importante notar que muchas aplicaciones industriales se adaptan a las mismas.

3) PASOS INVOLUCRADOS POR EL PROCESO DE RECONOCIMIENTO VISUAL:

El proceso de percepción visual y reconocimiento de objetos involucra una secuencia ordenada de pasos perfectamente diferenciables:

- 3.1) Adquisición/Digitalización de la imagen: este proceso, realizado casi totalmente por medios físicos (hardware), consiste en la transformación de las señales provistas por la cámara de video (sincronismos + video analógico), en un conjunto ordenado de datos binarios procesables por un sistema de cómputo. Para ejecutar esta acción deben producirse a su vez, un conjunto de operaciones:
 - Separación de sincronismos.
 - Digitalización de la señal analógica de video.
 - Sincronización entre el procesador y la cámara de video.
 - Paralelización de datos y transferencia a memoria.

Esta información, que almacena un cuadro de imagen en la memoria, recibe la denominación de "escena".

- 3.2) Análisis de la escena: en una dada escena, esta etapa analiza la cantidad de cuerpos o figuras diferenciables para permitir el posterior procesamiento de cada figura en forma individual.
- 3.3) Separación de objetos: ya localizada una figura en la escena, esta etapa la aísla de las demás, para facilitar su procesamiento.
- 3.4) Codificación de cada figura: ya aislada la figura, este proceso transforma la información bi-dimensional de la imagen de esta figura, a la forma de un bloque de datos unidimensional, de tipo numérico.
- 3.5) Reconocimiento de cada figura: a partir de la información codificada de la figura observada, esta acción es la responsable de contrastar esta información con la disponible en una base de datos interna respecto de figuras conocidas o figuras patrones., para determinar su tipo y grado de coincidencia.
- 3.6) Determinación de la posición y orientación de cada figura: esta última etapa determina la ubicación y orientación relativa de la figura detectada dentro de la es-

cena, para permitir su posterior aprehensión y manipulación.

Estas etapas, pese a corresponder a acciones perfectamente diferenciadas, pueden llegar a ser ejecutadas en forma conjunta en ciertos casos, a fin de optimizar el tiempo de cómputo (por ejemplo, en este desarrollo las acciones 3.3) y 3.4) se realizan simultáneamente, como un procedimiento de la acción 3.2).

4) DESCRIPCIÓN DE LOS METODOS EMPLEADOS, RECURSOS DESARROLLADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

4.1) Adquisición/digitalización de la escena tal como se menciona en 3.1), esta etapa ocupa exclusivamente recursos de hardware siendo responsable el software solamente de su inicialización o "disparo".

Funcionalmente, estos recursos se componen de: (Figura 4.1.1).

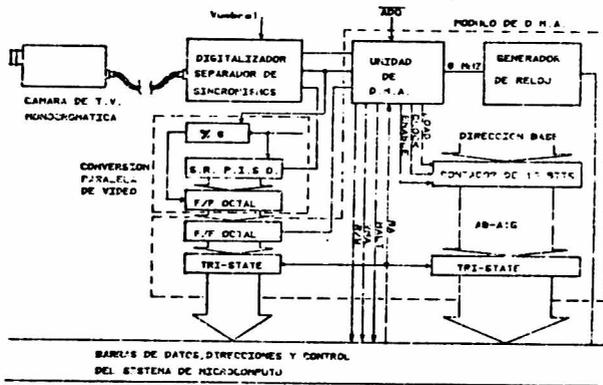


FIGURA 4.1.1

4.1.1) Una cámara de video, monocromática, -- con control de foco manual y control - automático de contraste. La señal de salida - de esta cámara es unifilar, de tipo video -- compuesto (video analógico+sincronismos), de valor medio nulo (Figura 4.1.2).

4.1.2) Digitalizador de video/separador de - sincronismos: la función de este bloque es procesar la señal compuesta, analógica, proveniente de la cámara, restaurando su nivel de continua, aislando los sincronismos horizontal y vertical, y generando una señal digital de video. El sincronismo horizontal es separado por comparación con un nivel fijo y el sincronismo vertical por detección de nivel y temporización, en tanto la señal digital de video se genera a través de un -- comparador rápido con umbral de conmutación - variable (V_{umbral}) (Figura 4.1.3)

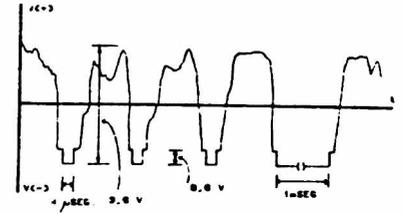


FIGURA 4.1.2

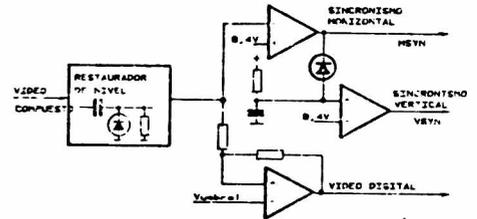


FIGURA 4.1.3

4.1.3) Conversión paralela de video: el objeto de este bloque es conformar la señal digital serie de video en forma de "paquetes" de 8 bits (bytes) acordes al formato de la barra de datos del microprocesador central y la memoria de "escena". Esta acción se realiza por medio de un registro de desplazamiento serie/paralelo de 8 bits que opera con una señal de reloj de 8 MHz, el que cada microsegundo transfiere su contenido a un registro octal; esta transferencia debe ser sincronizada con la señal HSYN a fin de asegurar una relación fija entre la posición de un punto en la imagen y el bit/byte que lo almacena.

4.1.4) Unidad de ACCESO DIRECTO A MEMORIA (DMA) este módulo tiene por finalidad almacenar la señal de video, ya "empaquetada" en 8 bits, en la memoria principal del sistema de microcómputo. Para ello, una vez recibida la orden de adquisición (ADQ), se producen las siguientes acciones:

- Se espera la señal VSYN de la cámara de video.

- La lógica de DMA toma el control del sistema de microcomputador, para lo cual detiene al microprocesador ($\overline{HALT}=0$), esperando la confirmación ($BA=1$).
- Se esperan una cantidad fija de HSYNs, para fijar el margen vertical superior de la imagen a adquirir.
- Durante los 256 sincronismos horizontales sucesivos:
 - a) Se esperan 24 microsegundos para determinar el margen lateral izquierdo.
 - b) Se transfieren a memoria 32 bytes consecutivos (256 puntos).
- Se libera al microprocesador ($\overline{HALT}=1$)

4.2) Análisis de la escena, separación de objetos y codificación de cada figura:

El objetivo de este conjunto de acciones, distintas en su aspecto funcional, pero simultáneas en su ejecución, consiste en transformar la información bi-dimensional almacenada en la memoria de escena en un conjunto de "n" bloques de datos numéricos unidimensionales (donde "n" es el número de figuras en la escena), de tal modo que cada uno de estos bloques caracterice totalmente a una figura.

En este punto, y previo a describir estos procesos, es importante plantear:

a) ¿Qué información es necesario guardar?

Si consideramos que la figura es plana, y representada por sólo dos posibles niveles de señal (luz/oscuridad), toda la información de la figura está contenida en su perímetro o frontera entre los dos niveles. Esta consideración asume que todo orificio interno de la figura es descartado en el análisis.

b) ¿Cómo guardar en forma numérica la descripción del perímetro?

Si consideramos que la información de la "escena" es de tipo digital con una estructura matricial (256 filas x 256 columnas), es inmediato el hecho de que cada punto de la imagen está rodeado por cho puntos vecinos (superior, inferior, derecho, izquierdo, superior derecho, superior izquierdo, inferior derecho e inferior izquierdo). Esta característica puede ser aprovechada para definir al perímetro, se indique en cuál de las 8 posibles direcciones se encuentra el próximo punto. Este tipo de codificación recibe el nombre de "SERIE DE FREEMAN" (Ref.2,3), indicándose en la Figura 4.2.1 los valores numéricos asignados en este trabajo a las 8 posibles direcciones de desplazamiento.

c) ¿Cómo analizar la información de la escena de manera de estar seguro de considerar puntos pertenecientes al perímetro y no puntos interiores?

Este aspecto está asociado en forma directa con el algoritmo empleado para la inspección de la información de la escena (Figura 4.2.2). Si asumimos estar en un punto del perímetro, conociendo la dirección desde la cual se ha arribado al mismo, y realizamos la inspección del perímetro en sentido antihorario (es decir con la parte interna de la figura a la izquierda del sentido del despla-

amiento), es posible determinar cuál será la dirección a partir de la cual se ha de inspeccionar la información de la escena hasta encontrar un punto de la imagen que seguramente corresponda al perímetro.

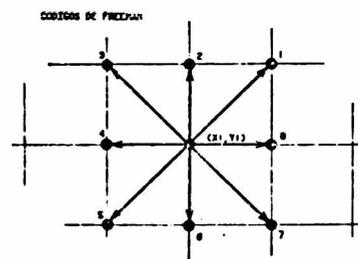


FIGURA 4.2.1

Tabla 4.2.2

Sentido previo	Sentido futuro inicial y sucesivos
0	7,0,1,1,3,4
1	7,0,1,2,3,4,5
2	1,2,3,4,5,6
3	1,2,3,4,5,6,7
4	3,4,5,6,7,0
5	3,4,5,6,7,0,1
6	5,6,7,0,1,2
7	5,6,7,0,1,2,3

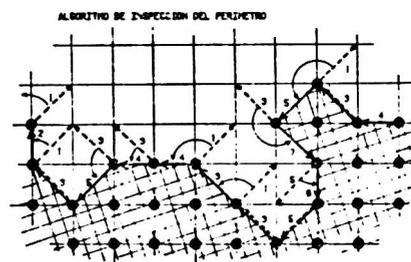


FIGURA 4.2.2

En función a estas consideraciones, el proceso de análisis, separación y codificación de la imagen puede ser descompuesto en los siguientes pasos:

4.2.1) Se busca en la memoria de escena la existencia de algún punto correspondiente a una figura. Si en toda esta memoria no se encuentra ningún punto de este tipo finaliza el proceso dado que ha sido analizada toda la escena. Si, en cambio, se encuentra alguno, se pasa a estudiar la figura a la que dicho punto corresponde (es importante notar que si la búsqueda mencionada se realiza en forma ordenada .P.Ej:sucesivos barridos horizontales de izquierda a derecha yendo desde la parte superior de la imagen a la inferior, el punto encontrado, además de pertenecer a la figura, seguramente corresponde a su perímetro).

4.2.2) Se recorre el perímetro de esta figura copiándolo sobre una memoria auxiliar que ha sido previamente borrada; esta memoria, llamada "de trabajo", al finalizar la inspección del perímetro contendrá sólo los puntos del perímetro de la figura analizada en ese momento .Simultáneamente con este proceso, se genera la "SERIE DE FREEMAN" de la figura, que contendrá las coordenadas del punto inicialmente encontrado durante 4.2.1 y los sucesivos CODIGOS DE FREEMAN producidos durante la circunvalación de la figura.

4.2.3) Se elimina la figura ya separada y codificada de la escena, a fin de poder proseguir con la secuencia indicada en 4.2.1; para ello se emplea una rutina que aprovecha la información guardada en la memoria de trabajo para borrar de la memoria de escena todos los puntos (periferia e internos) de la figura ya analizada.

4.3) Reconocimiento de cada figura:

La finalidad de esta etapa es contrastar la información proveniente de la figura observada contra la disponible en una base de datos, donde se almacena la descripción de todas las posibles figuras observables. En base a esta comparación se determina cuál es el (los) posible(s) tipo(s) de la figura observada, y un coeficiente que indica la "bondad" de esta detección.

Este procesamiento, debido fundamentalmente a la restricción planteada en 2.3, impone la necesidad de algoritmos simples, con capacidad aritmética reducida (limitada a sumas y multiplicaciones, y la menor cantidad posible de divisiones), lo que a su vez obliga al uso de bases de datos de dimensión fija, para evitar acciones de cambio de escala.

La acción de reconocimiento consiste en la ejecución sucesiva de distintos criterios de reconocimiento C_i , donde como resultado de cada uno de estos criterios se realiza una observación O_{ij} ; el contraste de este valor contra el valor P_{ij} (observación patrón de la figura "j" según el criterio "i"), determina el grado de similitud S_{ij} entre la figura patrón "j" y la observada, según el criterio "i". Este valor, a través de una Tabla T_i , donde se consideran los errores y tolerancias de cada criterio C_i , permite obtener la probabilidad de detección B_{ij} ($0 \leq B_{ij} \leq 1$), de

donde finalmente la bondad de detección, o grado de coincidencia entre la figura observada y la figura "j" será:

$$B_j = \prod_{i=1}^n B_{ij}$$

donde $B_j=1$ significa coincidencia máxima, y $B_j=0$ diferencia máxima.

El cómputo de B_j para todos los posibles valores de "j" (es decir el contraste de la figura observada contra todas las posibles figuras observables), determina con sus máximos los tipos más posibles de la figura observada, y con su valor la bondad o ajuste de esta coincidencia.

4.3.1) CRITERIO 1: Medición del perímetro:

El hecho de recorrer obligatoriamente el perímetro de la figura durante las acciones de separación y codificación facilita en forma notable la ejecución de este criterio, siendo en primera instancia la cantidad de elementos de la serie de FREEMAN una indicación de la longitud del perímetro.

Sin embargo, si consideramos como unidad dimensional de longitud la separación en tre filas y columnas, el desplazamiento en sentido diagonal (códigos de FREEMAN 1,3,5 y 7), pese a corresponder a un elemento de la serie representa una longitud efectiva mayor ($\sqrt{2}$ unidades); ello produce un error máximo, de casi -30% para segmentos en sentido diagonal, y nulo en los horizontales o verticales.

Para compensar estos errores, que invalidarían el criterio, se ha usado el siguiente algoritmo:

-Al recorrer el perímetro se realiza una sumatoria, donde:

- Al pasar de un punto a otro en sentido horizontal o vertical (codigos de FREEMAN 0,2,4,6) se suma 5.
- Al pasar de un punto a otro en sentido diagonal (códigos 1,3,5,7) se suma el valor 7.

Al finalizar el recorrido, el valor de esta sumatoria corresponde a 5 veces la longitud del perímetro, siendo el error máximo de + 7,69% en segmentos de $16^\circ H$ y $48^\circ H$ y los correspondientes en los otros cuadrantes, 0% en los segmentos horizontales y verticales y -1% en los segmentos diagonales (Fig.4.3.1).

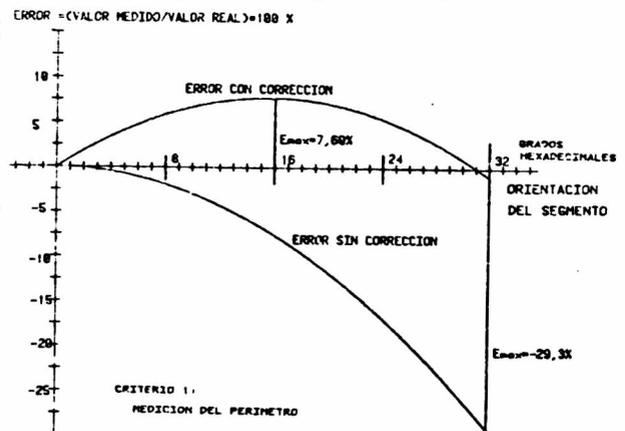


FIGURA 4.3.1

$$\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad ; \quad \bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

El empleo de este criterio, desde el punto de vista de tiempo de ejecución, significa considerar el tiempo de cómputo de los valores M_{20} y M_{02} , dado que el de M_{00} corresponde al criterio 2, y el de M_{10} y M_{01} es imprescindible en la etapa de localización de la posición de la figura en la escena. En estas condiciones, aplicando la versión discreta del Teorema de GREEN al perímetro, el tiempo de cómputo es de aproximadamente 150 microsegundos por punto para M_{20} y 100 para M_{02} , lo que, para una figura de área 1/16 de la escena significa un tiempo total de 70 a 80 milisegundos para la obtención de \bar{R} .

Al igual que el criterio 2, esta medición es afectada fundamentalmente por el ruido de cuantificación, siendo \bar{R} más estable que K_i . Experimentalmente estos valores han sido acotados al $\pm 7\%$ para la zona de confiabilidad total y $\pm 14\%$ para los límites de confiabilidad nula.

4.3.4) Criterio 4: Descripción lingüística de la figura:

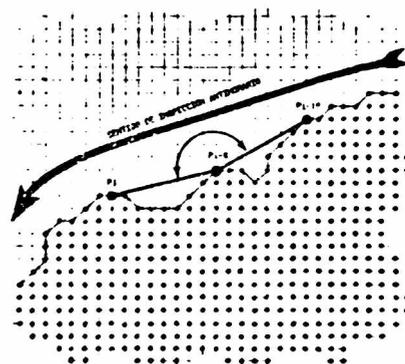
Una dada curva o superficie puede ser considerada como teniendo una sintaxis propia y ser analizada desde el punto de vista gramatical (3). En este método se definen las curvas como compuestas por un dado conjunto de "elementos primitivos" (segmentos, arcos de curvas convexas y cóncavas, vértices, etc.) que son agrupados formando una "frase" descriptiva de la figura. El análisis de esta frase no es un simple problema de determinación de coincidencia entre la frase patrón y la frase observada, dado que el ruido de cuantificación de la observación puede producir descripciones distintas (P.Ej: dos vértices convexos obtusos separados por un segmento recto corto pueden ser interpretados como un arco de curva convexo de gran radio de curvatura). La consideración de estas posibilidades escapa a los objetivos de este desarrollo, dado que implica la necesidad de una capacidad y volumen de cómputo elevados, por lo que se ha considerado sólo una descripción muy limitada de la figura, compuesta exclusivamente por dos primitivas (vértices cóncavos y vértices convexos) sin considerar su orden.

Para determinar la composición de vértices de la figura, se recorren los sucesivos puntos del perímetro, considerando para cada punto P_i las coordenadas de los puntos P_{i-8} y P_{i-16} . Los segmentos $P_i P_{i-8}$ y $P_{i-8} P_{i-16}$ determinan un ángulo (Fig. 4.3.2) con vértice en P_{i-8} que es considerado representativo del punto P_i , el que a su vez es promediado con los ángulos correspondientes a tres puntos previos a fin de disminuir el ruido de cuantificación.

En las figuras 4.3.3 y 4.3.4 se observa el resultado de este análisis para una figura tipo "gota": pese a que el filtrado elimina las componentes de ruido de mayor orden la digitalización de la imagen altera notablemente la medición de la curvatura.

Este efecto, poco notable en la "gota", se hace crítico en condiciones de vértices po-

co agudos o muy próximos, tal como se nota en la figura 4.3.5 (vértices B y C), lo que provoca que la confiabilidad de medición de la cantidad de vértices no sea fija sino que dependa de la figura patrón de referencia, obligando a disponer de $2 \times n$ tablas T_{4i} y T_{4i} de confiabilidad de medición de vértices cóncavos y convexos.



CRITERIO 4. DESCRIPCIÓN LINGÜÍSTICA
MEDICIÓN DE LA CURVATURA

FIGURA 4.3.2

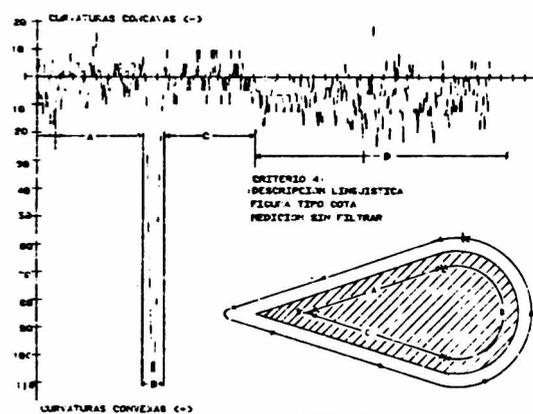


FIGURA 4.3.3

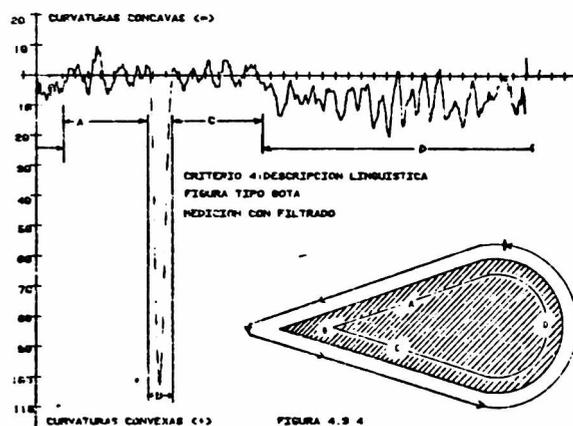
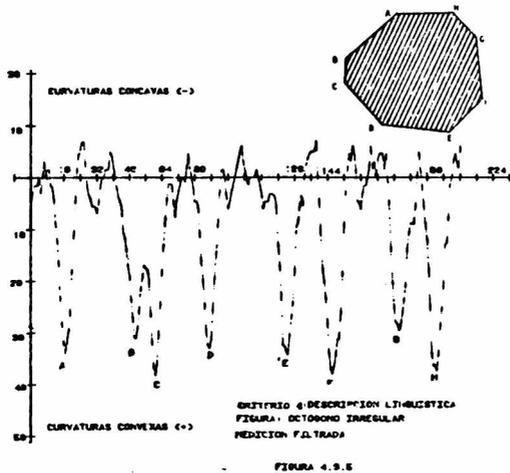


FIGURA 4.3.4



El tiempo de ejecución de este algoritmo es proporcional a la longitud de la serie de FREEMAN, significando para una figura de área 1/16 de la escena (serie de 256 elementos) un tiempo de cómputo de 250 milisegundos.

4.4) Determinación de la posición y orientación de cada figura:

Una vez determinado cuál es el tipo de cada figura, es necesario calcular su posición y orientación en la escena para que el sistema de manipulación pueda realizar la tarea de aprehensión.

4.4.1) Posición de la figura en la escena:

La posición de la figura en la escena es indicada a través de la determinación de las coordenadas de su centro de gravedad. Dicho punto es definido por:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i} = \frac{M_{10}}{M_{00}}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i} = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

Estos valores son empleados en otras etapas del proceso de percepción visual (Criterios 2 y 3 de reconocimiento) aprovechándose para su cálculo la versión discreta del Teorema de GREEN. El tiempo de determinación de la posición, si asignamos a esta tarea el cálculo de M_{01} y M_{10} es de 50 microsegundos por punto, lo que para una figura de 256 elementos significa un total de 13 milisegundos.

4.4.2) Orientación de la figura en la escena:

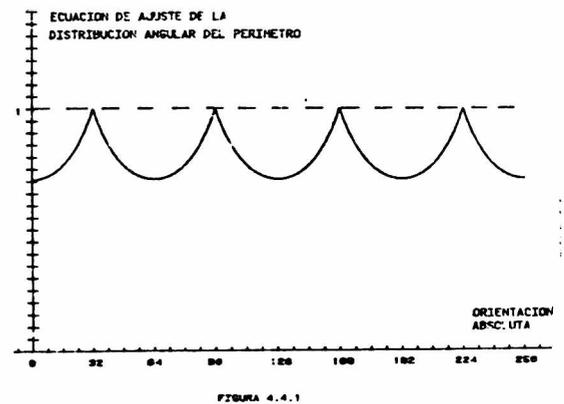
La determinación de la orientación de la figura significa el cálculo del ángulo relativo de rotación entre la figura patrón y la figura observada. Para este cálculo, durante la ejecución del análisis lingüístico se aprovecha el conocimiento de la orientación absoluta del segmento $P_i \cdot P_{i-8}$ para la generación

de la TABLA DE COMPOSICION ANGULAR, de la siguiente manera:

-Para cada punto P_i se calcula la orientación del segmento $P_i \cdot P_{i-8}$, empleando un sistema de medición angular donde una rotación completa equivale a $256^\circ H$.

-En la TABLA DE COMPOSICION ANGULAR, compuesta por 256 elementos, se incrementan el elemento correspondiente al ángulo medido, y los tres elementos laterales (superior e inferior).

-Una vez recorrido todo el perímetro se considera el efecto de distorsión en la medición de longitud propia de la serie de FREEMAN aplicando a la TABLA DE COMPOSICION ANGULAR una función de ajuste indicada en la figura 4.4.1.



Esta Tabla posee ventajas y desventajas importantes respecto a la posible de obtener durante la ejecución del Criterio 4 de reconocimiento, a saber:

- Indica qué porción del perímetro de la figura tiene qué orientación, pero pierde totalmente la información respecto si dicha porción es contigua o está fragmentada en muchos segmentos de igual orientación.

- Tanto la TABLA DE COMPOSICION ANGULAR de la figura patrón como de la figura observada poseen una longitud igual, fija, de 256 elementos. Esta circunstancia facilita la comparación, pues evita la necesidad de efectuar cambios de escala.

- Su sensibilidad al ruido de digitalización y de medición angular es menor, traduciendo-se en máximos de menor altura ensanchados en forma simétrica respecto del valor ideal.

Una vez calculada esta tabla, el ángulo de rotación relativo respecto de la figura patrón es calculado por medio del cómputo de la correlación cruzada entre la TABLA DE COMPOSICION ANGULAR DE LA FIGURA PATRON "j" TP_j y la TABLA DE COMPOSICION ANGULAR DE LA FIGURA OBSERVADA TO, donde:

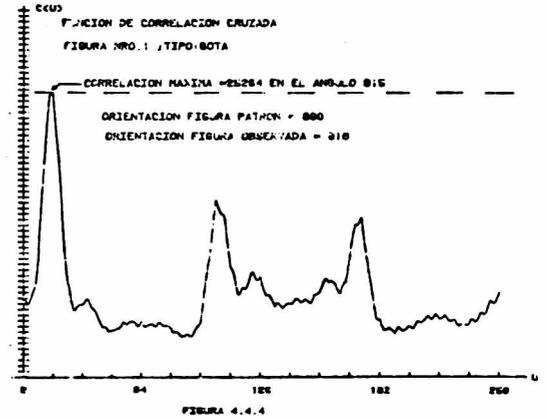
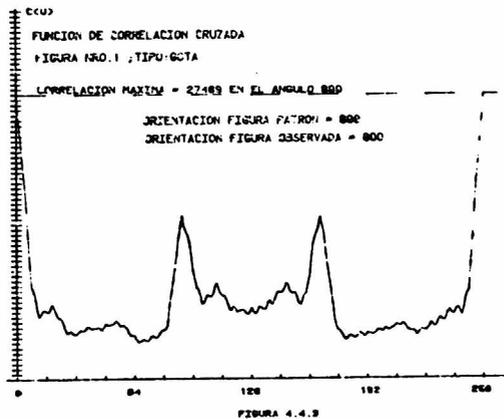
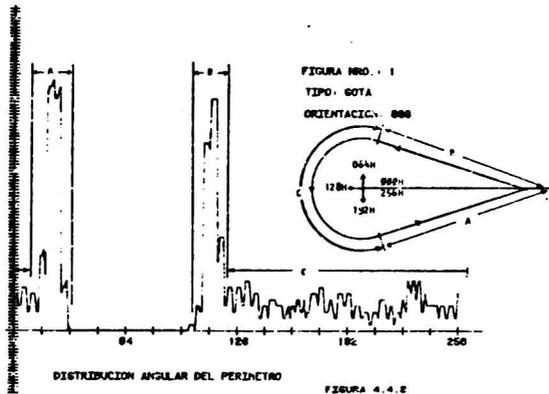
Función de correlación cruzada $C(u)$:

$$C(u) = \sum_{j=1}^{256} TP_j(u) \cdot TO(1+u)$$

A partir de allí, la orientación buscada θ será:

$$\text{Orientación} = \theta \equiv C(\theta) \geq C(v), \forall v/1 \leq v \leq 256$$

Este algoritmo ha sido probado en forma experimental con figuras de formas variadas notándose que la influencia simétrica del ruido de cuantificación y digitalización provoca efectos cancelatorios en el cómputo de la orientación, limitando los errores en $\pm 2^{\circ}H$ (equivalente a $\pm 2,8^{\circ}$ sexagesimales). Su principal desventaja radica en la gran cantidad de multiplicaciones requeridas para el cálculo de la correlación ($256 \times 256 = 65.536$ multiplicaciones), que implica 11 instrucciones y 58 microsegundos por cada producto, significando un tiempo total de casi 4 segundos. Este valor es prohibitivo para gran cantidad de aplicaciones, debiendo considerarse sin embargo que al ser independiente de las acciones de localización y reconocimiento, su cálculo puede realizarse mientras se posiciona al sistema de manipulación. En las figuras 4.4.2, 4.4.3 y 4.4.4 se muestra el resultado del cálculo de composición angular de una figura tipo "gota", y los valores de $C(u)$ para $1 \leq u \leq 256$, donde θ vale $0^{\circ}H$ y $16^{\circ}H$ en realidad, siendo detectadas orientaciones de 0° (error= $0^{\circ}H$) y $15^{\circ}H$ (error= $1^{\circ}H$), respectivamente.



5) CONCLUSIONES:

El presente desarrollo muestra que la incorporación de capacidad visual limitada a un sistema de manipulación requiere recursos de "hardware" reducidos, implicando tiempos de procesamiento accesibles. En particular, la clara separación entre los procesos de manejo de información bidimensional (análisis de la escena, separación de objetos y codificación de cada figura) con los de procesamiento de datos unidimensionales (reconocimiento y determinación de posición y orientación) permiten la fácil implementación de un sistema de dos procesadores, con la consiguiente mejora temporal.

Para el análisis de cuerpos tri-dimensionales en base a su contorno, la ampliación del método implica un cambio en el criterio descrito en 4.3, dado que en esta circunstancia la observación O_i es contrastada ya no con un único valor $P_{i,j}$, sino con una tabla de valores $P_{i,j}(\alpha, \beta, \gamma)$, la que a su vez es empleada en la determinación de la orientación(1).

6) Referencias bibliográficas:

- (1) C.COIFFET & P.RIVES (1980). "Reconnaissance par un robot de l'orientation d'objets tridimensionnels en vue de taches de saisie automatique". RAIRO-Automatique/Systems Analysis and Control. Vol.14, N°1:5-32.
- (2) G.Y.TANG. (1982) "A discrete version of GREEN's theorem". IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE. Vol.PAMI-4 N°3 :242-249
- (3) J.F.CHALLINE & M.CLERGET & F.GERMAIN (1977) "Deux aspects de la robotique: perception et ordonnancement". RAIRO-Automatique/Systems Analysis and control. Vol 11, N°3 :279-302.

7) Bibliografía:

- (1) J.D.BOISSINAT (1982). "Stable matching between a hand structure and an object silhouette". IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE. Vol.PAMI-4, N°6 :603-612.

- (2) R.CHIN & C.HARLOW (1982)"Automated visual inspection.A survey".IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE. Vol.PAMI-4,N^o6 :557-573.
- (3)S.KASHIOKA & M.EJIRI & Y.SAKAMOTO (1976) "A transistor wire bonding system utilizing multiple local pattern matching techniques"IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS,MAN AND CYBERNETICS.Vol SMC-6,N^o8 :562-570.
- (4) W.KHALIL & A.LIEGEOIS & A.FOURNIER(1979) "Comande dynamique de robots" RAIRO.Systems Analysis and control.Vol.13,N^o2 :189-201.
- (5) R.KRUGER & W.THOMPSON.(1981) "A technical and economic assessment of computer vision for industrial inspection and robotic assembly".Proceedings of the IEEE .Vol.69, N^o12 : 1524-1538.
- (6) AZRIEL ROSENFELD (1981) "Image pattern Recognition".PROCEEDINGS OF THE IEEE.Vol.69 N^o5 :596-605.
- (7) L.WATSON & L.SHAPIRO (1982). "IDENTIFICATION OF SPACE CURVES FROM TWO-DIMENSIONAL PERSPECTIVE VIEWS".IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.PAMI-4,N^o5 :469-475.