

Reconocimiento de Objetos Traslapados usando Memorias Asociativas

Roberto A. Vázquez, Humberto Sossa & Ricardo Barrón
Centro de Investigación en Computación – IPN
Av. Juan de Dios Batíz, esquina con Miguel Otón de Mendizábal
Ciudad de México, 07738. México
Contacto: robertov@sagitario.cic.ipn.mx

Resumen. El problema del reconocimiento de patrones presenta algunas dificultades que dependen del tipo de objetos a reconocer y del contexto donde se hayan dichos objetos. El problema se incrementa cuando los objetos aparecen traslapados, debido a que para el reconocimiento se cuenta con una parte del objeto. Ésto dificulta su identificación debido a que varios de los objetos tienen partes similares. La importancia práctica del reconocimiento de objetos en presencia de traslapes se aprecia en aplicaciones como conteo de células en tejidos dañados, detección de objetos intrusos, conteo de objetos, etc. En éste trabajo se presenta una metodología para resolver el problema del reconocimiento de objetos traslapados, basado en un algoritmo de *Barrido Bloqueante* usando una máscara para detectar un objeto a partir de sus partes más representativas y haciendo uso de las memorias asociativas.

Palabras clave. Reconocimiento de objetos traslapados, memorias asociativas

1 Introducción

El uso intensivo de computadoras u otros dispositivos electrónicos en los últimos años, ha impulsado el estudio y aplicación de técnicas de reconocimiento de patrones para resolver algunos problemas de clasificación o reconocimiento.

Existen cuatro enfoques para resolver el problema de reconocimiento de patrones:

- Reconocimiento estadístico de patrones.
- Reconocimiento sintáctico de patrones.
- Redes neuronales.
- Reconocimiento lógico combinatorio de patrones.

Se han desarrollado infinidad de trabajos que utilizan estos enfoques para resolver un problema específico de reconocimiento [8] [9] [10], pero ninguno de éstos trabajos permite que sus patrones estén traslapados o se toquen.

Conforme avanza la tecnología y dependiendo del tipo de problema que se está resolviendo, es necesario que las restricciones para que el problema sea resuelto sean

las mínimas. Una restricción que ha sido atacada por varios investigadores, es la que involucra el traslape de los objetos. En varios trabajos se han propuesto metodologías para resolver el problema de reconocimiento de patrones sin importar que los objetos estén traslapados [11][12].

En algunos trabajos [6][7] se hace el uso de las memorias asociativas para resolver el problema del reconocimiento de patrones, pero no se permite que los objetos estén traslapados o se toquen.

Para hacer el reconocimiento de un objeto se tiene que entrenar una memoria asociativa con los diferentes objetos que se quiere reconocer. La memoria asociativa utiliza para su entrenamiento los rasgos descriptivos de cada uno de los objetos.

Cuando se trata de reconocer objetos que no están traslapados se pueden usar descriptores por región como los invariantes de Hu [4]. Los invariantes de Hu son calculados a partir de los momentos centrales normalizados de segundo y tercer orden. Estos momentos son invariantes a rotación, traslación y escalamiento.

$$M_{H1} = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$M_{H2} = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}$$

$$M_{H3} = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$M_{H4} = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

Una manera sencilla para obtener los rasgos descriptivos de un objeto y poder entrenar la memoria asociativa es:

1. *Aplicar una binarización [2] a la imagen donde se encuentra el objeto.*
2. *A la imagen binaria obtenida aplicarle el algoritmo de etiquetado de componentes conexas [1].*
3. *Eliminar el ruido generado por la binarización y el etiquetado. Una solución es un filtro de tamaño mínimo [3].*
4. *Calcular los invariantes de Hu a la componente obtenida.*
5. *Entrenar la memoria asociativa con los rasgos calculados.*

Una vez entrenada la memoria asociativa con los rasgos descriptivos, se podrá hacer el reconocimiento de un objeto de la siguiente forma:

1. *Aplicar los pasos 1 a 5 a la imagen que tiene el objeto a reconocer.*
2. *Alimentar la memoria asociativa con los rasgos descriptivos del objeto a reconocer.*
3. *Finalmente, operar la memoria con los rasgos descriptivos del objeto para obtener la clase a la que pertenece.*

Ya vimos que el problema del reconocimiento de objetos se incrementa cuando los objetos están traslapados. Si usamos la memoria construida anteriormente y queremos reconocer un objeto traslapado, sencillamente la memoria no clasificará correctamente al objeto. Esto se debe a que el objeto que está traslapado con otro objeto va a ser analizado de manera global, es decir, se van a tomar como si fueran un solo objeto y este objeto no pertenece en lo más mínimo al conjunto de objetos con el que se entrenó a la memoria asociativa.

En este trabajo se presenta una metodología que da solución al problema de reconocimiento de objetos traslapados. La metodología aplica los mismos pasos descritos anteriormente para obtener los rasgos descriptivos, con la diferencia de que los rasgos obtenidos no van a ser de todo el objeto, sino de una parte representativa del objeto. El método utiliza una memoria asociativa y aplica el algoritmo de *Barrido Bloqueante* para reconocer un objeto dentro de una imagen sin importar que esté traslapado o no.

2 Memorias asociativas

El propósito fundamental de una memoria asociativa [5] es recuperar correctamente patrones completos a partir de patrones de entrada, los cuales pueden aparecer alterados con ruido aditivo, sustractivo o combinado. De acuerdo con ésta afirmación, una memoria asociativa M puede formularse como un sistema de entrada y salida, donde las entradas van a ser los rasgos descriptivos del objeto a clasificar y la salida la clase a la que pertenece el objeto.

La solución de un problema usando una memoria asociativa es dividida en dos fases:

1. Fase de aprendizaje (generación de la memoria asociativa).
2. Fase de recuperación (operación de la memoria asociativa).

La memoria asociativa M se representa mediante una matriz cuya componente ij -ésima es m_{ij} . La matriz M se genera a partir de un conjunto finito de asociaciones conocidas de antemano: éste es el *conjunto fundamental de asociaciones* o simplemente *conjunto fundamental*. A los patrones que conforman las asociaciones del conjunto fundamental, se les llama *patrones fundamentales*.

La memoria asociativa utilizada para el reconocimiento de objetos traslapados en este trabajo es la presentada en el artículo [6]. Ésta memoria es una memoria asociativa morfológica que utiliza la media de los rasgos descriptivos de cada objeto para construir la matriz M , determinando la clase a la que pertenece un objeto por medio de la distancia de Chebyshev.

A continuación se presenta un ejemplo que ejemplifica la manera de implementar la fase de aprendizaje y de recuperación de ésta memoria.

Dadas las siguientes asociaciones de patrones:

$((1,1,1), 1)$	$((4,4,4), 2)$	$((10,9,10), 3)$
$((1,2,1), 1)$	$((4,4,5), 2)$	$((9,9,10), 3)$
$((2,1,1), 1)$	$((4,5,5), 2)$	$((10,10,10), 3)$
$((1,1,2), 1)$	$((5,4,4), 2)$	$((10,11,11), 3)$
$((2,2,2), 1)$	$((5,4,5), 2)$	$((10,9,11), 3)$

Entonces, calculando la media de los patrones de cada clase obtenemos:

$$\phi_1 = (1.4, 1.4, 1.4), \quad \phi_2 = (4.4, 4.2, 4.5), \quad y \quad \phi_3 = (9.8, 9.6, 10.4).$$

Quedando así

$$M = \begin{bmatrix} 1.4 & 1.4 & 1.4 \\ 4.4 & 4.2 & 4.5 \\ 9.8 & 9.6 & 10.4 \end{bmatrix}$$

Para la fase de recuperación utilizamos la siguiente ecuación:

$$i = \arg \left[\bigwedge_{l=1}^m \bigvee_{j=1}^n |m_{lj} - x_j| \right] \quad (1)$$

Donde $\vee \equiv \max$ y $\wedge \equiv \min$

Suponga que se quiere recuperar la clase a la que pertenece el patrón $x = (1,1,1)$.

Entonces

$$\vee (|1.4 - 1|, |1.4 - 1|, |1.4 - 1|) = 0.4$$

$$\vee (|4.4 - 1|, |4.2 - 1|, |4.5 - 1|) = 3.5$$

$$\vee (|9.8 - 1|, |9.6 - 1|, |10.4 - 1|) = 9.4$$

$$\arg(\wedge (0.4, 3.5, 9.4)) = 1$$

Hemos visto cómo se puede clasificar un patrón usando ésta memoria asociativa. Ahora, para resolver nuestro problema de reconocimiento de objetos se tiene que entrenar a la memoria con los rasgos descriptivos de cada objeto.

3 Método para reconocer objetos traslapados

Como se dijo anteriormente, para entrenar la memoria asociativa se tienen que obtener los rasgos descriptivos, no del objeto sino de una parte o más partes del objeto. Un objeto puede ser descompuesto en varias partes, pero solo algunas de ellas van a caracterizar de manera única al objeto.

Para la selección de alguna parte del objeto se utilizó una ventana circular. Una vez seleccionada la parte del objeto le aplicamos los pasos 1 a 5, descritos en la sección 1, para la obtención de los rasgos descriptivos de la parte del objeto. Estos rasgos van a ser usados para el entrenamiento de la memoria asociativa.

A cada uno de los objetos con los que se quiere trabajar se le va a asignar una memoria asociativa. Cada memoria asociativa va a reconocer cinco partes de un objeto. La primera clase de parte del objeto va a ser la parte más descriptiva del objeto y la última clase de parte del objeto va a ser la parte menos descriptiva del objeto.

Finalmente se van a utilizar éstas memorias asociativas combinadas con el algoritmo de *Barrido Bloqueante* para determinar la existencia de algún objeto dentro de una imagen.

3.1 Fase de entrenamiento

Como se estableció anteriormente, a cada objeto se le va a asignar una memoria asociativa. Para poder entrenar estas memorias, primeramente hay que determinar cuáles son las partes del objeto que lo representan mejor. Una primer solución, para escoger las partes más descriptivas de los objetos, sería basándonos en las características que nosotros utilizamos para reconocer un objeto. Por ejemplo, a un tornillo lo reconocemos por la cabeza y a una rondana la reconocemos por el orificio que lo caracteriza. Si utilizamos los invariantes de Hu para describir las partes más descriptivas, estas partes de objetos son casi idénticas para la computadora.

Ésta primera solución como se puede ver en la tabla 1 es incorrecta, debido a que los rasgos descriptivos que se obtienen de éstas partes son muy cercanos. Estas partes no pueden ser consideradas como representativas y no pueden ser usadas para discriminar un objeto.

Una segunda alternativa es seleccionar todas las posibles partes de cada uno de los objetos con los que se va a entrenar a la memoria asociativa. Una vez que se tienen todas las partes de los objetos se tendrá que hacer una búsqueda de los rasgos más representativas de cada objeto. De éstos rasgos, finalmente escogemos los cinco más representativos de cada objeto para poder entrenar su memoria asociativa.

Objeto		
Rasgos descriptivos	0.187008390255792 0.000828434034786876 0.002073528381953 5.33516085908603E-5	0.198022513948688 1.01942318662163E-8 6.46010546977373E-10 1.80497146412438E-6

Tabla 1. Selección de parte usando la forma más representativa.

Ya se ha establecido que la memoria asociativa de un objeto va a reconocer cinco partes del objeto. Se van a utilizar 20 imágenes de cada objeto en diferentes posiciones. Utilizando la ventana circular se van a obtener los rasgos descriptivos de las cinco partes del objeto más representativas y se van a promediar para obtener el vector de rasgos descriptivos promedio de cada una de las cinco partes más representativas del objeto. De ese grupo de partes, el más representativo va a ser la clase 1 (de las partes del objeto que la memoria asociativa va a reconocer) y el menos representativo va a ser la clase 5 (de las partes del objeto que la memoria asociativa va a reconocer).

3.2 Fase de recuperación

Para poder hacer el reconocimiento de los objetos que hay en una imagen, tenemos que seleccionar partes del objeto con la ventana circular que se utilizó para el entrenamiento de la memoria asociativa. Ésta ventana la tenemos que recorrer por toda la imagen para poder seleccionar partes de objeto y poder clasificarlas.

El algoritmo de *Barrido Bloqueante* nos permite clasificar un objeto que está traslapado por medio de sus partes más representativas. Para hacer la selección de partes del objeto se utiliza una máscara del tamaño de la imagen que está llena de ventanas circulares contiguas. Ésta máscara es la que va a permitir seleccionar o no seleccionar una parte del objeto. La máscara se auxilia de una tabla de bloqueados para decidir si coloca una ventana o no dentro de la máscara. La máscara sólo va a poder agregar una ventana si el región de píxeles donde se quiere colocar no está registrada en la tabla de bloqueados. Es decir, si la parte seleccionada del objeto no ha sido reconocida por una memoria asociativa en su clase uno, entonces se dibuja una ventana para poder seleccionar esa parte. La tabla de bloqueados va a registrar los rangos de ventana donde la parte seleccionada del objeto clasificó en la clase uno de la memoria asociativa.

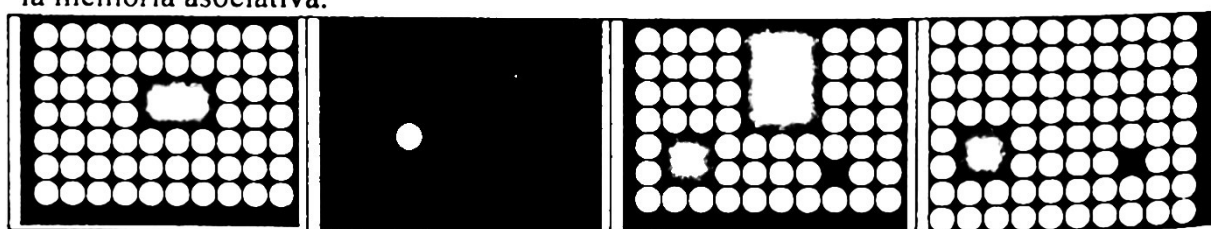


Fig. 1. Máscara con ventanas

A continuación se lista el algoritmo de *barrido bloqueante*:

1. *Inicializar tabla de bloqueados con ceros.*
2. *Dibujar máscara.*
3. *Hacer un AND de la máscara y la imagen a analizar.*
4. *Procesar la imagen para obtener los rasgos descriptivos de cada parte seleccionada del objeto.*
5. *Para cada parte seleccionada del objeto*
 - a. *Cargar memoria asociativa del objeto*
 - i. *Si los rasgos descriptivos de la parte del objeto son clasificados en la clase 1*
 1. *Registrar la región donde se localiza esa parte en la tabla de bloqueados*
 - ii. *En caso contrario*
 1. *Continuar con la siguiente parte de objeto*
6. *Actualizar máscara e ir a 2*

4 Resultados Experimentales

En ésta sección el método propuesto para el reconocimiento de objetos traslapados es evaluado. En la figura 2 se muestran los objetos con los que las memorias asociativas se entrenaron.

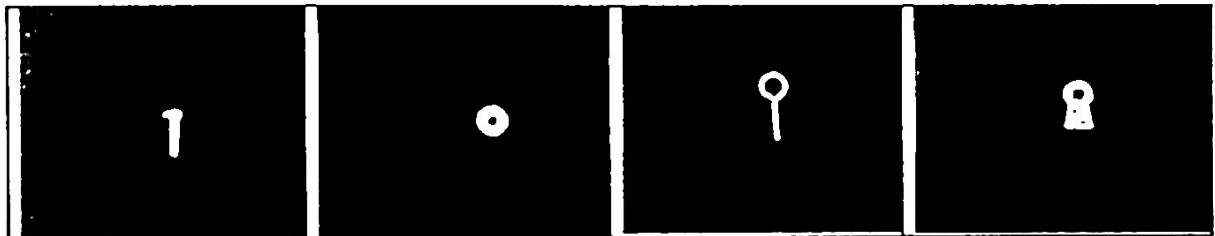


Fig. 2. Objetos usados en el entrenamiento de las memorias asociativas

Etapas de entrenamiento

Después de aplicar los métodos descritos en sección 3.1 se obtuvieron las memorias asociativas de cada uno de los objetos. En éste experimento se utilizaron los primeros cuatro momentos de Hu. A continuación se muestran algunas memorias asociativas obtenidas.

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0.1742 & 0.0021 & 0.00052 & 4.97E-5 \\ 0.2331 & 0.0197 & 0.0025 & 0.0002 \\ 0.2912 & 0.0569 & 4.96E-5 & 9.60E-6 \\ 0.2683 & 0.0378 & 0.0038 & 0.0004 \\ 0.2220 & 0.0219 & 4.05E-5 & 5.35E-6 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 0.2094 & 0.0096 & 0.0003 & 8.88E-5 \\ 0.1956 & 0.0008 & 3.33E-7 & 2.25E-6 \\ 0.1954 & 1.61E-5 & 1.47E-6 & 2.90E-6 \\ 0.1952 & 8.00E-6 & 1.12E-6 & 3.88E-6 \\ 0.2436 & 0.0328 & 7.79E-5 & 2.60E-5 \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 0.4405 & 0.0592 & 0.0205 & 0.0051 \\ 0.3721 & 0.0794 & 0.0126 & 0.0017 \\ 0.4622 & 0.1858 & 0.00018 & 0.00011 \\ 0.3749 & 0.1142 & 0.00011 & 4.90E-5 \\ 0.3152 & 0.0123 & 0.0320 & 0.0002 \end{bmatrix}$$

Etapa de recuperación

Un conjunto de imágenes se usó para evaluar el desempeño del sistema. Éste grupo consiste de 20 imágenes que están traslapadas, algunas imágenes de este grupo son mostradas en la figura 3.

El experimento consiste en determinar la existencia de algún objeto dentro de una imagen. En cada imagen se pide verificar si existe cada uno de los objetos con los que se trabajó. Dada una imagen, se verifica que la memoria asociativa de un objeto funcione de manera correcta. Es decir, si en el conjunto de imágenes de la figura 3 queremos encontrar los tornillos, al aplicar la memoria asociativa del tornillo nos tendría que indicar que reconoció tornillos; ahora, si queremos encontrar armellas, utilizamos la memoria asociativa de la armella esperaríamos que nos diera como resultado que no encontró ninguna armella en las primeras cuatro imágenes y que encontró una armella en la ultima imagen.

En total se hicieron cien pruebas en este experimento.

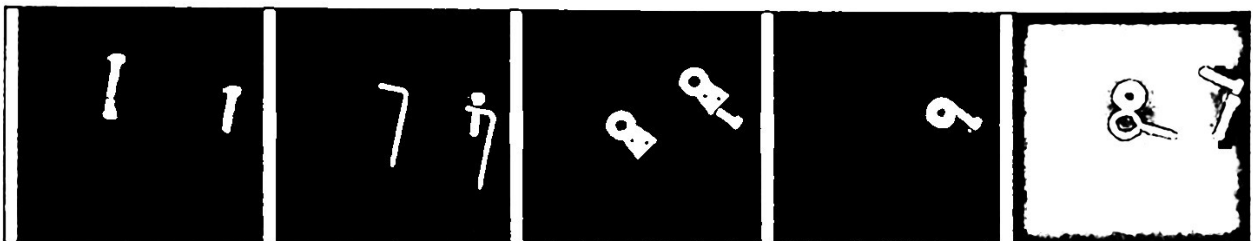


Fig. 3. Grupo de imágenes con objetos traslapados

En la tabla 2 se muestran los porcentajes de clasificación de cada objeto

	Tornillo	Rondana	Armella	Cola de pato
Porcentaje de clasificación	100%	60%	80%	80%

Tabla 2. Selección de parte usando la forma mas representativa.

Como se puede observar, el porcentaje de efectividad en la clasificación es del 80%.

5 Conclusiones e investigaciones futuras

El reconocimiento de objetos traslapados es una tarea difícil si se quieren usar descriptores por región para representar a un objeto. El método propuesto, a pesar de que entregó una eficiencia de clasificación del ochenta por ciento tiene sus deficiencias. Un primer problema que se presenta es que si la parte más representativa de un objeto está oculta, nunca se va a detectar el objeto. Otro problema que surge es cuando una objeto aumenta su tamaño, éste problema se debe a que ocupamos una ventana un tamaño definido y si un objeto cambia de tamaño no sabríamos en que proporción se tendría que aumentar la ventana.

Como próximo trabajo se tiene que lograr que éste método sea invariante a escalamientos. Otro posible trabajo sería la propuesta de una nueva metodología en la cual no exista la restricción de que la parte más representativa del objeto tenga que estar visible.

Finalmente se podría implementar alguna otra técnica para el reconocimiento de objetos traslapados que no involucre descriptores por región o memorias asociativas.

Referencias

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image processing. Second edition. Prentice hall, Inc 2002
- [2] N. Otsu, A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE transactions on SMC, 9(1):62-66, 1979.
- [3] R. Jain et al. Machine vision, Mcgraw Hill, 1995
- [4] M. K. Hu, Visual Pattern recognition by moment invariants, IRE Transactions on information theory, 8:179-187, 1962
- [5] Cornelio Yáñez Marquez, Díaz de Leon Santiago, Introducción a las memorias asociativas, IPN-CIC, 2003
- [6] Ricardo Barrón, Humberto Sossa, Roberto A. Vázquez, A new associative model for the classification of real-value pattern, CIC-IPN, 2004
- [7] Humberto Sossa, Ricardo Barron, Roberto A. Vázquez, New Associative Memories for the Recall of Real-Valued Patterns, CIC-IPN, 2004
- [8] Karla P. Xicotencatl Aguilar, Tesis - Conteo de objetos en escenas ante deformaciones afines y proyectivas, CIC-IPN, 2001.

- [9] Enrique López Paredes. Tesis - Seguimiento de objetos usando una cámara sobre una plataforma motorizada, CIC-IPN, 2001.
- [10] Roberto A. Vazquez, Tesis - Localización de objetos 2-D a través de una plataforma motorizada usando análisis de imágenes, ESCOM-IPN, 2003
- [11] Chanda, B., Application of binary mathematical morphology to separate overlapped objects, pp. 639-645.
- [12] Stanley RJ, Keller J, Gader P, Caldwell CW. Homologue matching applications: recognition of overlapped chromosomes. *Pattern Analysis and Applications* 1(4): 206-217, 1998.