

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO ROBOT

Eddie Sobrado Malpartida

Sección Electricidad y Electrónica, Pontificia Universidad Católica del Perú
Av. Universitaria No.1801, San Miguel Lima-32 PERU

y

Julio C. Tafur Sotelo

Sección Electricidad y Electrónica, Pontificia Universidad Católica del Perú
Av. Universitaria No.1801, San Miguel Lima-32 PERU

RESUMEN

El presente trabajo implementa un sistema robotico automatizado para el reconocimiento y localización de piezas. El objetivo es implementar un sistema que permita identificar piezas depositadas en una mesa, para luego encontrar su localización exacta y realizar una tarea de *pick & place* mediante un manipulador de cinco grados de libertad, SCORBOT ER-IX.

Para el cálculo de la posición, el sistema dispone de un sistema de visión máquina, el cual a partir de la imagen digitalizada determina las coordenadas de posición y orientación en el plano imagen y posteriormente las traslada a las coordenadas del espacio de trabajo del robot.

El sistema fue implementado en el Laboratorio del Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura (CETAM) de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El reconocimiento del tipo de pieza sobre el área de trabajo se realiza mediante una Red Neuronal del tipo *Backpropagation*.

Palabras clave: Visión artificial, robótica, redes neuronales, identificación, tiempo real.

1. INTRODUCCION

La manipulación de objetos en líneas de ensamble mediante robots es una tarea donde un gran conjunto de diferentes tipos de objetos aparece en posición y orientación arbitraria. En este caso el reconocimiento satisfactorio depende esencialmente de las técnicas de reconocimiento de objetos confiables que se empleen.

El brazo robot permite manipular piezas (tornillos, desarmadores, tuercas, etc.) que se encuentran en una mesa de trabajo. El problema se aborda mediante un esquema de Visión Artificial [3] que consiste de 6 etapas: adquisición de datos, preprocesamiento, segmentación, extracción de características, clasificación y manipulación con el brazo robot.

La clasificación se basa en el esquema neuronal. Una vez reconocida una pieza determinada, se envía una señal de mando al manipulador robótico para que este lo recoja y lo ubique en una posición determinada previamente por el operador.

Los objetivos de este trabajo han sido desarrollar un sistema de visión por computadora para dotar a una estación de trabajo robotizada del CETAM de "inteligencia" con la finalidad de reconocer y manipular objetos de orientación y posición desconocida, y posteriormente incluir en el sistema de control del robot la realimentación visual. Además este proyecto inicial pretende abrir las puertas para aplicaciones de visión a otras modalidades de la robótica, por ejemplo robótica móvil.

2. SISTEMA DE VA IMPLEMENTADO

El objetivo del sistema de percepción para el robot, sobre la base de sensores de visión, es transformar la imagen proporcionada por la cámara, en una descripción de los elementos presentes en el entorno del robot. Dicha descripción debe tener información necesaria para que el robot efectúe los movimientos que permitirán la ejecución de la tarea programada.

Para alcanzar estos objetivos, se deberá elaborar las siguientes funciones:

1. Iluminación de la escena a capturar.
2. Captación de la imagen del entorno significativo del robot, conversión analógico/digital y adquisición por una computadora.
3. Mejoramiento de la imagen y realzado de las características geométricas relevantes desde el punto de vista de la aplicación.
4. Segmentación de la imagen.
5. Descripción de la imagen y/o extracción de características.
6. Reconocimiento de los objetos.
7. Elaboración de las consignas para el sistema de control del robot.

El diagrama de bloques del sistema implementado se muestra en la Figura 1.

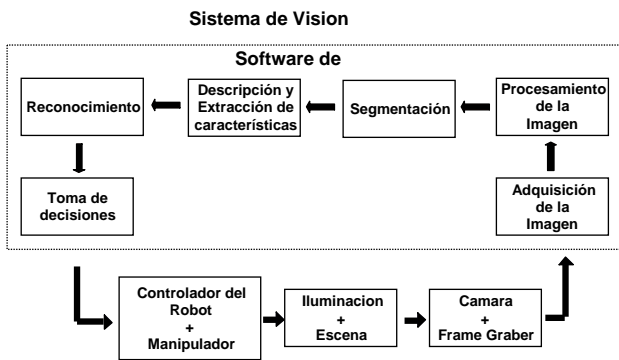


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de VA implementado

3. COMPONENTES Y SOFTWARE UTILIZADO

La Figura 2 muestra un esquemático del sistema de visión artificial.

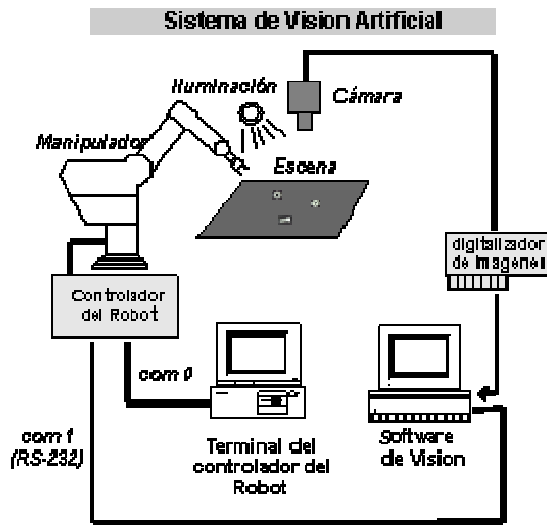


Fig. 2. Sistema de Visión Artificial

1. *Sistema de iluminación:* consiste de un fluorescente para iluminar la escena (objetos).
2. *Cámara de vídeo:* corresponde a una cámara de vídeo analógica CCD estándar con formato NTSC.
3. *Frame grabber:* es una tarjeta de adquisición de imágenes de propósitos generales. Este se usa para obtener un "frame" o cuadro desde una señal de vídeo, con el fin de generar una imagen digitalizada, con una resolución de 8 bits por píxel (256 niveles de gris).
4. *Computadora:* para el desarrollo y ejecución de los programas se utilizó una computadora

personal con un procesador Pentium III a 550 MHz.

5. *Brazo manipulador:* SCORBOT ER-IX, es el elemento que permite manipular las piezas deseadas.
6. *Software:* El programa de visión artificial para reconocimiento de objetos se ha desarrollado en Visual C.

La Figura 3 una vista de la estación de trabajo.

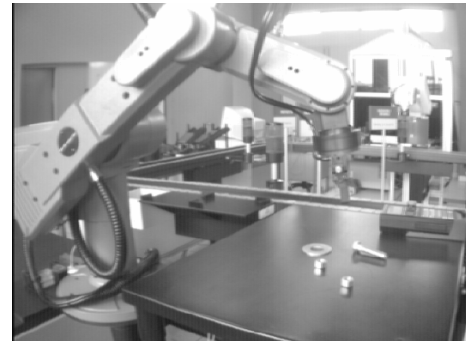


Fig. 3. Estación Robotizada. Laboratorio del CETAM-PUCP

4. ETAPAS DEL SISTEMA

Para cumplir los objetivos definidos, el sistema se ha dividido básicamente en las siguientes etapas:

Adquisición de la imagen

El sistema que permite la captura y/o adquisición de la imagen, está formado por los siguientes elementos: *Cámara, digitalizador, iluminación.*

La iluminación de la escena es crucial, antes de intentar corregir un problema de iluminación mediante el uso de algoritmos complejos, es mejor implantar un sistema de iluminación adecuado para que la captura de la imagen sea correcta. El tipo de iluminación usada fue el de luz direccional, empleando un tubo fluorescente.

Preprocesamiento de la imagen

Consiste en transformar la imagen original en otra imagen en la cual se han eliminado los problemas de ruido granular de cuantización o de iluminación espacialmente variable. La etapa de mejoramiento consiste principalmente de las técnicas siguientes:

1. Conversión a escala de grises
2. Segmentación
3. Operaciones morfológicas
4. Etiquetados

5. Filtro de Tamaño

El Preproceso hace que *dada* una imagen a color o en 256 niveles de gris debemos ser capaces de obtener una imagen binaria, donde los puntos pertenecientes a la pieza y los puntos del fondo se etiqueten con diferentes valores.

Segmentación

El proceso de segmentación se encarga de evaluar si cada píxel de la imagen pertenece o no al objeto de interés. Esta técnica genera una imagen binaria, donde los píxeles que pertenecen al objeto se representa con un *uno*, mientras que los que no pertenecen al mismo se representan con un *cero*.



Fig. 4. Imagen capturada

En la Figura 5 se observa el histograma de la imagen de la Figura 4, en la cual se ha realizado la segmentación mediante umbralización, así se discrimina la pieza del fondo. En la Figura 6 se muestra la imagen binarizada con cierto ruido de binarización, el cual es eliminado mediante la etapa de preprocesamiento (erosión, dilatación, etiquetado y filtrado). Finalmente se obtiene la pieza (objeto) lista para determinar sus características en la etapa de descripción, tal como se muestra en la Figura 7.

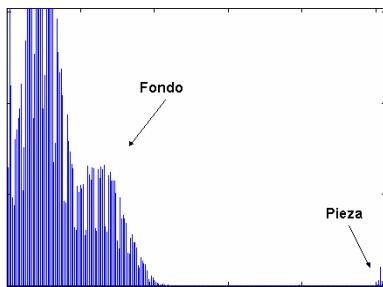


Fig. 5. Histograma y umbralización



Fig. 6. Ruido de binarización



Fig. 7. Objeto final a reconocer

Descripción y extracción de características

Esta etapa permite obtener un modelo (descriptor) que representa las *características* del objeto, que son relevantes para los objetivos específicos del Sistema de Visión Artificial [2].

Para el tipo de imágenes utilizadas en robótica, la información relativa se encuentra en el contorno, ver Figura 8. Entonces los modelos utilizados para describir este tipo de imágenes representarían tan solo contornos presentes en la imagen. Entre los más usuales tenemos a los *códigos de cadenas*.



Fig. 8. Imagen binaria del tornillo

Los descriptores deben ser independientes del tamaño, localización u orientación del objeto, y deben ser suficientes para discriminar objetos entre sí.

El descriptor está representado en un *vector de características* que, representa de la mejor manera posible al patrón original:

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n]^T \quad (1)$$

normalización, en donde el momento central normalizado de orden $p+q$ se define como:

$$n_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{00}^\gamma} \quad (15)$$

donde

$$\gamma = \frac{p+q+2}{2} \quad \text{para } p+q=2,3,\dots \quad (16)$$

5) Momentos invariantes a traslaciones, rotaciones y homotecia

De los momentos de segundo y tercer orden, pueden derivarse 7 de los llamados *momentos invariantes*, que no dependen del tamaño ni la posición del objeto, los cuales se pueden usar para la identificación de los objetos. El siguiente conjunto de momentos invariantes se puede obtener usando únicamente los momentos centrales normalizados de orden 2 y 3:

$$\phi_1 = n_{20} + n_{02} \quad (17)$$

$$\phi_2 = (n_{20} - n_{02})^2 + 4n_{11}^2 \quad (18)$$

$$\phi_3 = (n_{30} - 3n_{12})^2 + (3n_{21} - n_{03})^2 \quad (19)$$

$$\phi_4 = (n_{30} + 3n_{12})^2 + (n_{21} + n_{03})^2 \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \phi_5 = & (n_{30} - 3n_{12})(n_{30} + n_{12})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] \\ & + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] \end{aligned} \quad (21)$$

$$\phi_6 = (n_{20} - n_{02})[(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] + 4n_{11}(n_{30} + n_{12})(n_{21} + n_{03}) \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \phi_7 = & (3n_{21} - n_{03})(n_{30} + n_{12})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] \\ & + (3n_{12} - n_{30})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] \end{aligned} \quad (23)$$

Este conjunto de momentos resulta ser *invariante a la traslación, la rotación y al cambio de escala*.

6) Cálculo de los momentos generales a partir del código de cadena

Se puede calcular los momentos generales, que están definidos mediante integrales dobles, como integrales curvilíneas extendidas sobre el contorno de un objeto, es decir utilizando *el código de cadena* que es una aproximación poligonal del contorno.

$$m_{pq} = \iint_A x^p y^q dx dy = \frac{1}{p+q+2} \int_c -x^p y^{q+1} dx + x^{p+1} y^q dy \quad (24)$$

La integral curvilínea de la expresión puede calcularse en función del código de cadena del contorno del objeto.

Los resultados de los momentos para una pieza (perno) en diferentes posiciones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Momentos para una pieza en posiciones diferentes

Momentos Invariantes	Posición 1	Posición 2	Posición 3
ϕ_1	0.3174	0.3049	0.3167
ϕ_2	0.0609	0.0569	0.0649
ϕ_3	0.0065	0.0011	0.0049
ϕ_4	0.0023	0.0012	0.0015
ϕ_5	0.0000	0.0000	0.0000
ϕ_6	0.0006	0.0003	0.0004
ϕ_7	-0.0000	0.0000	-0.0000

Fase de Reconocimiento

Se ha implementado una Red Neuronal Backpropagation, esta red neuronal se entrena con un conjunto de vectores característico que se han almacenado en una base de datos, donde se almacenan características de un objeto determinado en diferentes posiciones y orientaciones.

Cuando el proceso de enseñanza de la red termina aceptablemente para cada patrón deseado, se puede realizar una fase de clasificación *mostrando* a la red las categorías que se desea reconozca.

Toma de Decisiones y Comunicación con el controlador del Robot

Una vez que han sido reconocidos los objetos, el sistema de VA calcula las consignas de movimiento que son enviadas al controlador del robot [4]. La comunicación del robot con el sistema de visión artificial es mediante la interfase serial RS-232.

1) Fase de calibración:

Establece la correspondencia entre el sistema de coordenadas del sistema visual y el espacio de trabajo del robot.

2) Cálculo de la posición:

Se determina el centroide del objeto en coordenadas de la imagen, y mediante la transformación establecida durante la fase de calibración, se derivan las coordenadas físicas del objeto.

El sistema de localización necesita:

- a. Posición del área de trabajo dentro de la imagen capturada
- b. Proporción entre píxeles horizontales y milímetros
- c. Proporción entre píxeles verticales y milímetros

En la Figura 10 se muestra la posición de la mesa, el robot y 3 bandejas donde se colocaran objetos del mismo tipo

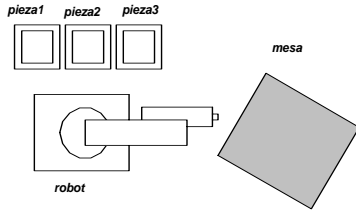


Fig. 10. Posiciones de los elementos que involucran coordenadas

5. CONCLUSIONES

Los algoritmos de procesamiento de imágenes utilizados han permitido tener una adecuada descripción e identificación de características de los objetos en tiempo real. Se ha podido realizar con éxito una tarea de *pick & place* de objetos previamente identificados mediante un sistema de visión. Se ha realizado con éxito la integración del sistema de visión implementado con la celda de trabajo

robotizada existente en el Laboratorio del CETAM. Los resultados de este trabajo inicial en visión por computadora permitirá desarrollar aplicaciones más elaboradas como operaciones de ensamble de circuitos impresos mediante robots.

9. REFERENCIAS

- [1] Mo Dai, Pierre Baylou, "An efficient algorithm for computation of shape moments from chain codes", Univeristé de Bordeaux-France
- [2] Royman López Beltrán, Edgar Sotter Solano, "Operación automática de control de calidad utilizando un sistema de visión"
- [3] J.M. Ibarra CINVESTAV-Mexico, Laboratorio de Robótica y Producción Automática-Universidad del Norte, III Jornadas Iberoamericanas de Robótica
- [4] Eshed Robotec, *Robot Vision PRO: user's manual* ESHED ROBOTEC: 1995.
- [5] K.S. Fu, R.C. González; C.S.G. Lee. *Robotics. Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, New York, McGraw-Hill, 1989