

Control de un Brazo Robótico para Clasificar Objetos Sólidos con Formas Definidas Utilizando Visión Estereoscópica

Medina Naranjo Jorge Fernando, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Nono Soto María Belén, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Hugo Arcesio Banda Gamboa, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Resumen- En el presente proyecto se muestra la implementación de un módulo didáctico, en el cual se utiliza visión estereoscópica para realizar una estimación de profundidad, y de esta manera identificar las coordenadas (x,y,z) de objetos sólidos con formas definidas, los cuales posteriormente se pueden manipular y clasificar de acuerdo a su forma y color mediante un brazo robótico comercial.

Con este objetivo se han desarrollado algoritmos en dos plataformas computacionales: LabVIEW, el cual adquiere las imágenes y controla el brazo robótico; y, Matlab, donde se resuelve el problema de visión estereoscópica.

Adicionalmente, se desarrolló una aplicación para la identificación de frutas, la cual mediante una red neuronal artificial entrenada con las características de color y textura puede identificar: Limones, Manzanas, Naranjas, Mandarinas y Tomates.

Finalmente, se realizaron pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema, teniendo un error máximo del 2% en la reconstrucción de una escena y un error del 10% en el posicionamiento del efector final del brazo robótico.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de visión artificial basado en una cámara brinda gran cantidad de información acerca del entorno que lo rodea como color, forma, textura, etc., pero se pierde la medida de profundidad de los objetos.

Para resolver este problema se utiliza la visión estereoscópica que consiste en el procesamiento de las imágenes obtenidas desde dos puntos de vista diferentes, permitiendo así percibir la profundidad.

El proyecto tiene como objetivo identificar objetos sólidos con formas definidas mediante visión estereoscópica para su posterior manipulación y clasificación a través de un brazo robótico.

En el proyecto se investigan conceptos relacionados con: visión artificial, cinemática de manipuladores y redes neuronales artificiales.

Se explica la construcción del hardware del sistema, definiendo las limitaciones físicas de sus componentes, así como el desarrollo del software para el reconocimiento, reconstrucción de la escena y control del brazo robótico.

Con el fin de tener resultados confiables se realizan un conjunto de pruebas, validando la aplicación.

II. GENERALIDADES

La visión artificial permite obtener una gran cantidad de información del entorno a partir de imágenes, pero la profundidad de la escena no es apreciable.

La reconstrucción tridimensional es un procedimiento que permite obtener las coordenadas [x,y,z] de una escena, utilizando dos imágenes 2D desplazadas; considerando la diferencia en píxeles entre la característica de una imagen y la misma característica ubicada en otra imagen para la determinación de la profundidad.

El presente proyecto se desarrolló mediante la técnica de visión estereoscópica, la cual trabaja a partir de dos imágenes.

A continuación ciertos conceptos utilizados en el desarrollo del proyecto.

A. Geometría Epipolar

Es una técnica de reconstrucción tridimensional pasiva, donde a partir de un par de imágenes de una escena, y con el conocimiento previo de posición y orientación de las cámaras, es posible establecer un modelo tridimensional.

El análisis de la geometría epipolar se realiza tomando en cuenta la existencia de dos cámaras con modelo pinhole.

El modelo pinhole considera una cámara simple sin lente, donde la apertura de la cámara se describe como un punto, por el cual pasan los rayos de luz, teniendo como resultado una imagen invertida en el lado opuesto.

En la Figura 1 se observan los elementos más relevantes, entre los que se tiene: el plano epipolar que es el plano formado por los centros ópticos (C_I y C_D) y un punto [M] en el espacio ($M(x, y, z)$), las líneas epipolares (ep_I y ep_D) son las líneas que se forman por el corte del plano de la imagen I y la imagen D, con el plano epipolar ($C_I MC_D$), los epipolos (e_I y e_D) son la proyección del centro óptico de la una cámara sobre la otra. Finalmente se toma en cuenta que todas las líneas epipolares van a pasar por los epipolos, es decir todos los puntos que se encuentren en una línea epipolar de una de las cámaras, tendrán su correspondiente en la línea epipolar respectiva de la otra cámara [1].

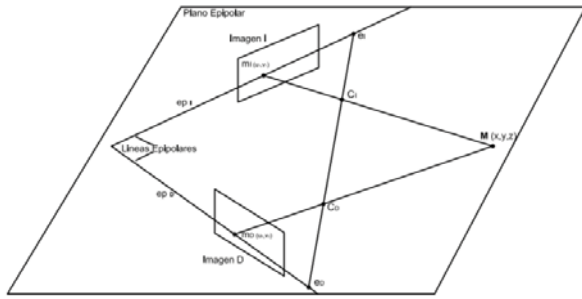


Fig. 1 Elementos de la geometría epipolar [1]

B. Geometría de Cámaras Paralelas

Considerando que los dos planos fotosensibles de las cámaras pertenecen al mismo plano (coplanares) y son paralelos a la recta formada por los centros ópticos (C_I y C_D) conocida como línea base; se percibe que los epipolos (e_I y e_D) van a estar ubicados en el infinito, por ende las líneas epipolares (ep_I y ep_D) van a estar paralelas entre sí y además paralelas a la línea base, este efecto permitirá reducir la búsqueda de la correspondencia estereoscópica de las dos dimensiones de una escena tomada por la cámara, a una búsqueda en una sola dimensión sobre la línea epipolar [1].

En la Figura 2 se representa la geometría de cámaras paralelas para un plano epipolar.

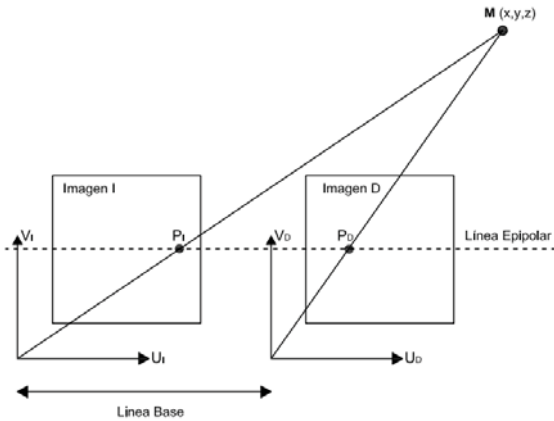


Fig. 2 Geometría de cámaras paralelas [1]

C. Disparidad

Se define como la diferencia de coordenadas entre las características semejantes en dos imágenes de la misma escena; y el conjunto de todas las disparidades de los pixeles correspondientes se denomina mapa de disparidad.

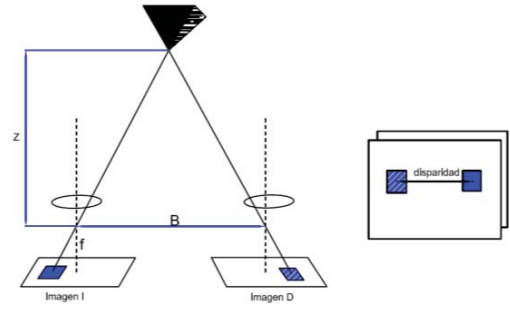


Fig. 3 Disparidad [2]

A partir de la configuración de cámaras paralelas se puede determinar las coordenadas $[x,y,z]$ a través de las siguientes ecuaciones:

$$z = \frac{f \cdot B}{d} \tag{1}$$

$$x = \frac{B \cdot u_i}{d} \tag{2}$$

$$y = \frac{B \cdot v_i}{d} \tag{3}$$

Donde:

f : Distancia focal.

B : Distancia de la línea Base.

d : Disparidad.

(u_i, v_i) : Coordenadas de las proyecciones de un punto M en el espacio, sobre el plano de imagen izquierda.

D. Procedimiento de Reconstrucción de una Escena

El procedimiento que se considera para la reconstrucción de una escena consiste en:

- Adquisición de imágenes.
- Calibración de cámaras.
- Rectificación de imágenes.
- Correspondencia de imágenes.
- Determinación del mapa de disparidad.
- Reconstrucción de la escena 3D.

1. Calibración de Cámaras

La calibración de las cámaras es un proceso en el que se calculan los parámetros intrínsecos y extrínsecos de las cámaras.

Los parámetros intrínsecos describen la óptica y geometría de la cámara, son independientes del sistema de coordenadas externo en que se expresan las posiciones reales de los objetos en el espacio.

Los parámetros extrínsecos definen la posición y orientación de la cámara en el espacio.

2. Rectificación de Imágenes

La rectificación de la imágenes consiste en la aplicación de transformadas de rotación y traslación a los sistemas ópticos de las cámaras, con el fin de conseguir que las líneas epipolares sean paralelas.

3. Correspondencia de imágenes

Para poder obtener una escena tridimensional es necesario determinar qué pareja de puntos de una imagen se relacionan, es decir hallar el correspondiente punto de una imagen en otra.

La correspondencia de imágenes se puede realizar mediante métodos locales, donde se analiza la información local alrededor de ciertas posiciones de los píxeles; o métodos globales que se aplican generalmente cuando se trabaja con toda la imagen, utilizan valores de pesos para optimizar el proceso de determinación del mapa de disparidad y de las oclusiones.

4. Mapa de disparidad

Un mapa de disparidades es una imagen, que representa el grado de disparidad asignado al pixel en el par de imágenes correspondientes.

Existen diversos métodos para obtener un mapa de disparidad, según el tipo de salida pueden ser mapas densos los cuales contienen la información de disparidad de toda la escena, y un mapa disperso el cual contiene únicamente información específica de una escena.

III. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

El hardware del sistema implementado consta de: un brazo robótico comercial, 2 cámaras de características similares, y una estructura para soporte del sistema.

A. Brazo robótico

La clasificación de los objetos se realiza a través de un brazo robótico comercial de tipo antropomórfico, de 5 grados de libertad, con articulaciones de rotación y una pinza como efector final.



Fig. 4 Brazo robótico comercial

B. Cámaras USB

Para la implementación de la visión estereoscópica se debe incorporar dos cámaras de similares características, las cuales deben estar separadas una distancia específica y alineadas de forma paralela; para esto se utilizó una cámara web “Minoru 3D” que cumple con la geometría requerida.



Fig. 5 Web cámara Minoru 3D

La cámara web posee distintos modos de trabajo, para el proyecto se utilizan las cámaras en modo 2D, para tomar fotos de la escena como imagen izquierda y derecha respectivamente.

C. Estructura de soporte del hardware

Para el diseño de la estructura, se analizó los siguientes parámetros:

- Área de trabajo
- Iluminación

1. Área de trabajo

El área de trabajo se determina en base al análisis de dos aspectos importantes: las características del brazo, considerando la longitud horizontal media de alcance; y el campo de visión de las cámaras para evitar oclusiones.

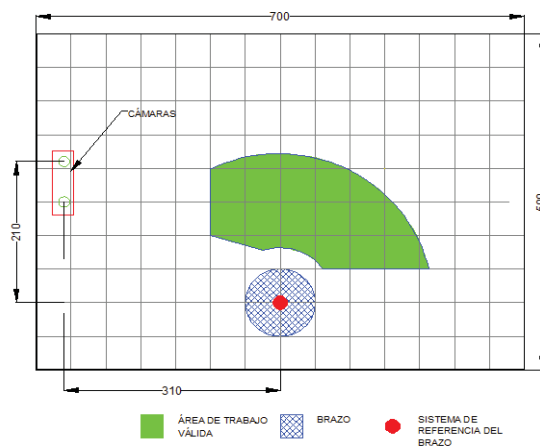


Fig. 6 Área de trabajo del proyecto

2. Iluminación

La iluminación es uno de los factores más importantes en el procesamiento de imagen, para esto se utilizó iluminación fluorescente T5, el cual nos da como resultado

imagen con iluminación aproximadamente constante y uniforme a lo largo del día.

D. Conexiones Eléctricas

El brazo utiliza como fuentes de alimentación dos reguladores de voltaje, uno de 6Vdc para la alimentación de los servomotores, y otro regulador de 9Vdc para la alimentación de la tarjeta de control.

Para alimentar la lámpara fluorescente se trabaja con la red 110Vac.



Fig. 7 Hardware instalado

TABLA I
ELEMENTOS QUE COMPONEN EL HARDWARE DE LA APLICACIÓN

Ítem	Descripción
1	Interruptor general
2	Tarjeta de control
3	Lámpara fluorescente
4	Brazo
5	Cámaras
6	Cables de comunicación
7	Cajas para clasificación

IV. DESARROLLO DEL SOFTWARE

El software del sistema implementado consta de dos partes, el desarrollo de la visión estereoscópica donde se obtienen las coordenadas (x,y,z) de los objetos detectados en la escena y el control de un brazo robótico que nos permite clasificar los objetos de acuerdo a ciertas propiedades.

El programa principal consta de tres aplicaciones:

- Calibración de las cámaras: proceso de determinación de parámetros intrínsecos y extrínsecos de las cámaras, este procedimiento se debe realizar cuando las cámaras han sido movidas de su posición actual.

- Clasificación de objetos: permite obtener las posiciones de cada objeto mediante el proceso de visión estereoscópica y realiza la clasificación de los objetos de acuerdo a la forma y color. La clasificación por forma depende si es una muestra, un rectángulo 3D, o una esfera; y por color se trabaja en la detección de color rojo, amarillo, y verde.

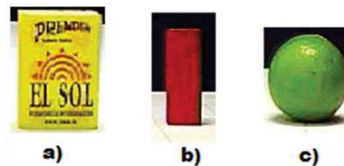


Fig. 8 Objetos a ser clasificados por forma: a) Muestra b) Rectángulo 3D c) Esférico

Detección de frutas: Aplicación que utiliza una red neuronal artificial para la identificación de 5 diferentes tipos de frutas: naranjas, mandarinas, manzanas, limones y tomates.

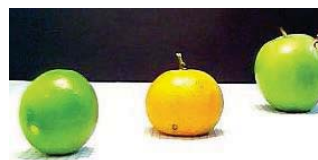


Fig. 9 Ejemplo de escena para detección de frutas

A. Visión Estereoscópica

La visión estereoscópica comprende los programas desde la adquisición de imágenes hasta la entrega de las coordenadas de los objetos de la escena.

En la Figura 10 se muestra un diagrama general del programa de visión estereoscópica.

1. Adquisición de Imágenes

Los atributos de las cámaras han sido seteados de tal forma que nos permitan obtener imágenes de buena calidad para el procesamiento.

La resolución de trabajo de las imágenes es de 288 x 352 pixeles, con tamaños superiores de resolución el tiempo de procesamiento es muy elevado, y con resoluciones menores se pierde detalles en los objetos en la escena.

En el proyecto el desarrollo de la visión estereoscópica se analiza de forma estática por este motivo se debe tener en cuenta dos aspectos:

- Las cámaras capturan información de la escena sin desfase de tiempo apreciable.
- No se produce movimiento de objetos durante el intervalo de tiempo en que se realiza la adquisición de las imágenes.

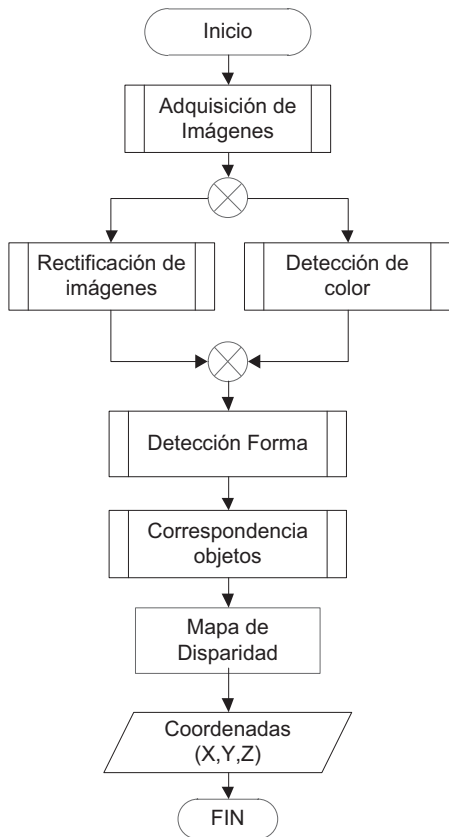


Fig. 10 Diagrama de flujo de la visión estereoscópica

2. Calibración de Cámaras

El programa de calibración de las imágenes se trabaja con la ayuda del toolbox “Camera Calibration Toolbox for Matlab”, creado por, Jean-Yves Bouguet.

El programa de calibración se desarrolla mediante un GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) en Matlab; para esto, previamente se debe tomar, con el programa principal, 20 pares de imágenes (izquierda y derecha) de un tablero de ajedrez, donde las dimensiones de cada cuadrado del tablero son (2cm x 2cm).



Fig. 11 Imágenes con cámara derecha para calibración

3. Rectificación de Imágenes

Una vez que se han calibrado el par de cámaras, se tienen como datos una matriz de rotación y un vector de traslación, estas matrices se aplican a las imágenes de la escena capturadas (izquierda y derecha), teniendo como resultado un par de imágenes nuevas, donde cumple que las líneas epipolares de las imágenes son paralelas.

4. Detección de Color

El color es una propiedad de los objetos, formado por la interacción física de la luz en el ambiente con la superficie reflectante, y puede ser utilizado como un descriptor para la identificación de objetos y descripción de escenas.

En el proyecto, la identificación del color se utiliza para la clasificación de objetos y, adicionalmente nos sirve como descriptor para la identificación de frutas.

La detección del color se realiza sobre la imagen izquierda debido a que esta se toma como referencia para el cálculo de la disparidad.

Para realizar el filtrado de color se transforma del modelo de color RGB al modelo HSI.

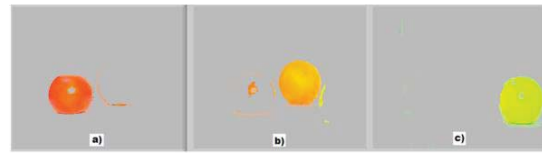


Fig. 12 Filtración de planos de color: a) Rojo b) Amarillo, c) Verde

En la Figura 12 se puede observar los resultados de la aplicación de filtro de color, sin embargo se tiene la presencia de áreas extrañas en cada plano, las cuales se eliminan con la aplicación de segmentación y binarización en la imagen como se observa en la Figura 13.

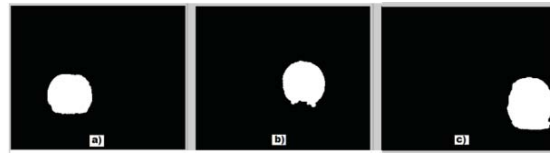


Fig. 13 Binarización con umbral de Otsu: a) Rojo, b) Amarillo, c) Verde

5. Detección de Forma

Para identificar los objetos esféricos o rectángulos 3D, se analizan las características geométricas con la ayuda de la transformada de Hough aplicada a la detección de líneas desarrollado por Tao Peng.

Dependiendo del número de líneas encontrado en la imagen se discrimina la figura como rectángulo 3D o esfera.

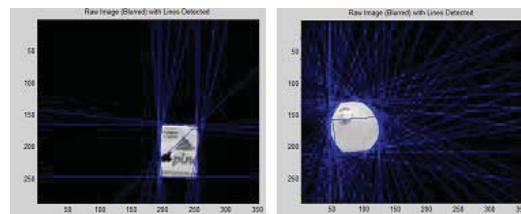


Fig. 14 Aplicación de la transformada de Hough para la detección de líneas

Otro tipo de objetos presentes en la escena son las muestras, para identificarlas se trabaja con un algoritmo que permita reconocer los descriptores de la muestra dentro de la escena, y compararlas con los descriptores de las muestras almacenadas en el computador, el reconocimiento de los descriptores se puede realizar debido a que los objetos presentan detalles.

Los objetos de la escena no tienen la misma escala que las muestras almacenadas, ni la misma rotación, y en algunas ocasiones existe la presencia de oclusiones; por este motivo se trabajó con el demo “SIFT” desarrollado por David Lowe, el cual trabaja con rotación y escalonamiento para la identificación de características similares en dos imágenes.

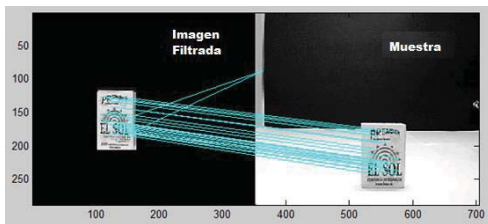


Fig. 15 Aplicación del demo “Sift” para la identificación de muestras

6. Correspondencia de Imágenes

Para determinar las correspondencias entre dos imágenes de una escena, se debe tener un conjunto de puntos característicos, sean estos, esquinas o bordes. En el proyecto se trabaja con esquinas; para este propósito se utilizó el Toolbok de Matlab “Computer Vision”, empleando la función “vision.CornerDetector”, y el método de “Harris corner detection”.

Una vez que se ha detectado las esquinas se aplica el cálculo “SSD” (Sum of squared differences), para determinar la correlación entre puntos.

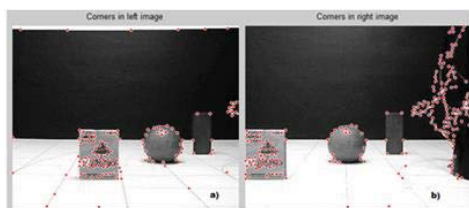


Fig. 16 Esquinas detectadas utilizando el método de Harris

7. Determinación del mapa de disparidad

El mapa de disparidad de la escena del proyecto se representa en formato 2D, y se muestra considerando el sistema de referencia de la imagen izquierda; este contiene únicamente el valor de los desplazamientos horizontales de los puntos encontrados. En el proyecto el mapa de disparidad es disperso, obtenido a través de los valores de intensidad de características de las imágenes.



Fig. 17 Mapa de Disparidad disperso de una escena

En el mapa de disparidad, la profundidad es inversamente proporcional al valor de disparidad, es decir, a mayor disparidad menor profundidad, y a menor disparidad mayor profundidad.

B. Cinemática del Brazo

El programa desarrollado permite tener un control automático de la posición y orientación del efector final del brazo robótico para el posicionamiento sobre una coordenada (X,Y,Z) localizada dentro del área válida de trabajo.

El control del brazo robótico se realiza mediante cinemática inversa, la cual puede calcularse de dos maneras: algebraica y geométrica. En el proyecto se realizó el método geométrico debido a su sencillez y facilidad en el manejo de los ángulos de los servomotores.

En la figura 18 se muestra un diagrama general de la subrutina de control de posición.

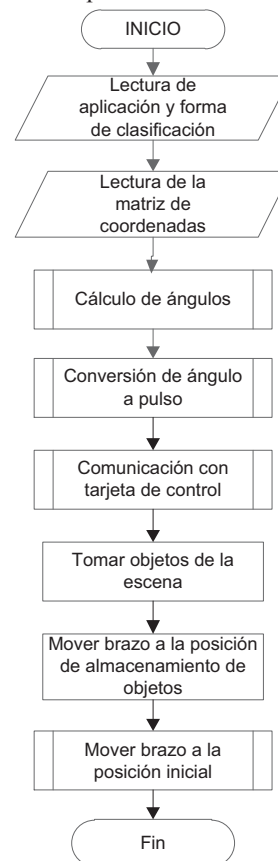


Fig. 18 Diagrama de flujo de control de posición

El diagrama esquemático del brazo utilizado para resolver el problema de la cinemática inversa se observa en la Figura 19, donde $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ son las variables a determinarse, y d_1, L_2, L_3 son las medidas de los vínculos del brazo.

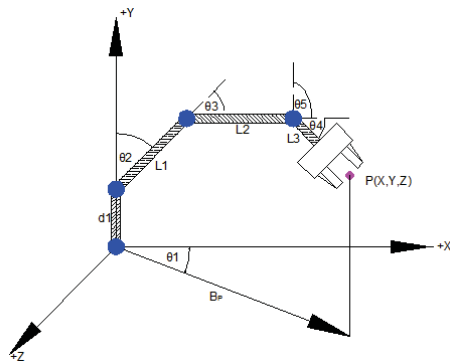


Fig. 19 Diagrama esquemático del brazo

De los 5 grados de libertad del brazo dos de ellos pueden ser independientes, de esta manera se dividió el problema de resolución de la cinemática en dos partes:

- Control de la orientación: que está determinada por el movimiento del servo de la base y la orientación de la muñeca con respecto al piso, representado por los valores de θ_1 y θ_5 .
- Posición del efector final: descrita desde el hombro hasta la muñeca, representado por los valores de $\theta_2, \theta_3, \theta_4$.

Para ubicar el brazo en la posición inicial se envían referencias angulares fijas a las articulaciones.

La clasificación de los objetos se la realiza por forma y por color; dentro del área destinada a clasificación de

objetos, se han definido sub-áreas donde se localiza cada tipo de objeto.

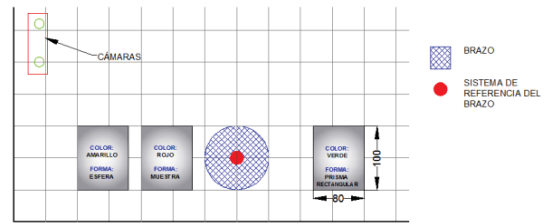


Fig. 20 Designación del área de clasificación de objetos según forma y color

C. Aplicación Especial-Identificación de Frutas

Con el fin de implementar un modulo de inteligencia artificial se implementaron redes neuronales artificiales aplicadas a la identificación de frutas.

Para la identificación de frutas se trabajó como descriptores el color y la textura, donde los atributos de color son: tono y saturación, y los atributos de textura son: contraste, correlación, energía, homogeneidad y entropía.

La red se implementó utilizando la topología “backpropagation”, con ocho capas ocultas y aprendizaje tipo supervisado.

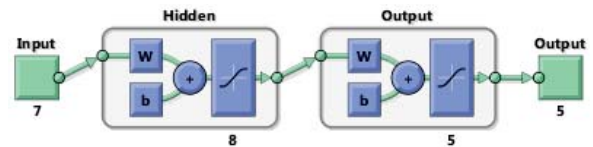


Fig. 21 Esquema de la red neuronal implementada

Como entradas de la red se tienen los 7 atributos ya mencionados, y como salidas de la red las 5 variedades de frutas mencionadas.

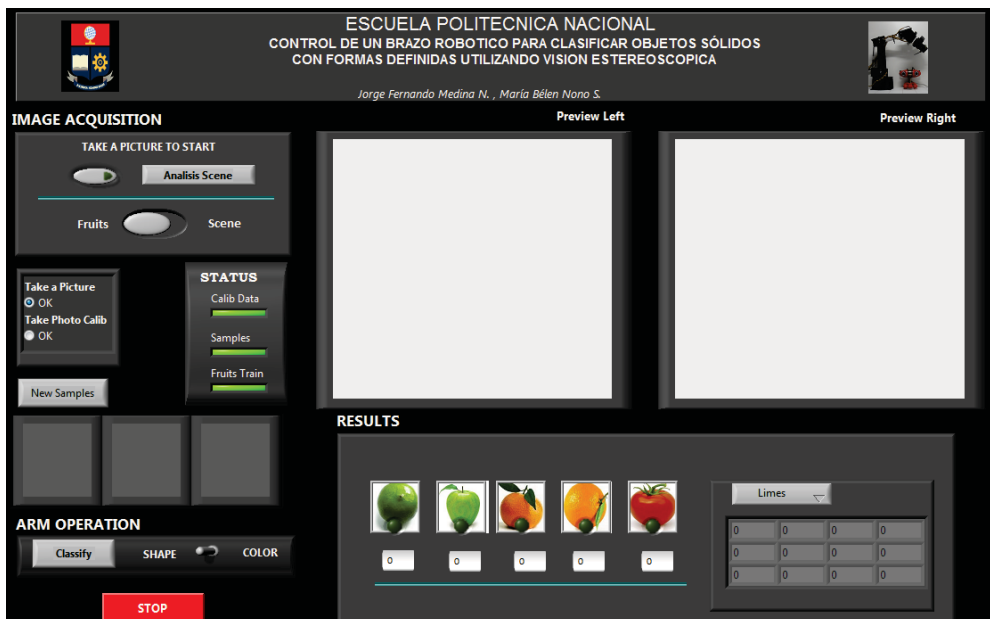


Fig. 22 Pantalla principal de la aplicación

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Con el fin de evaluar el funcionamiento del proyecto se realizaron las pruebas al sistema de visión artificial y control del brazo robótico.

A. Pruebas del Sistema de Visión Artificial

Para comprobar el funcionamiento de la visión artificial se colocó un par de objetos en la escena como se observa en la figura 23.



Fig. 23 Objetos en la escena para ser analizados

En la figura 24 se observan los resultados de forma y color de la escena analizada, junto a las coordenadas de un punto del objeto localizado en la cara frontal del mismo.



Fig. 24 Resultados de la escena analizada, objetos por forma, color y coordenadas

Adicionalmente se muestran los objetos reconstruidos en el área de trabajo.

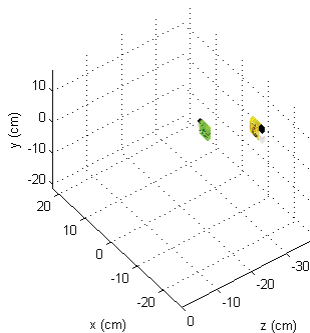


Fig. 25 Escena 3D reconstruida

Los resultados obtenidos comprueban el funcionamiento del sistema de visión artificial, detrás de este resultado se encuentran algoritmos que hicieron

posible su funcionamiento como son filtros de color, algoritmos de reconocimiento de forma, correspondencia de imágenes, reconstrucción estéreo, los cuales fueron evaluados oportunamente de manera individual.

B. Pruebas del Sistema de Control de Posición

Una vez determinadas las coordenadas de los objetos identificados, se envía la orden al brazo robótico de manipular y clasificar los objetos de la escena.

Muestras y rectángulos 3D, se toman de la escena y se depositan en el lugar pre-establecido.



Fig. 26 Prueba de clasificación de objetos: muestras-rectángulos 3D

Debido a las limitaciones físicas de la pinza del brazo robótico, las esferas y frutas no pueden ser trasladadas al área de clasificación, por este motivo únicamente se muestra la ubicación de las esferas en el área de trabajo.

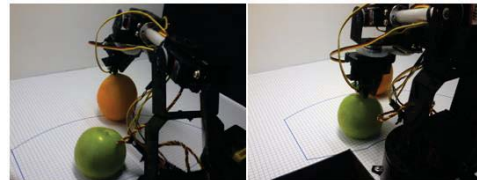


Fig. 27 Prueba de clasificación de objetos: Esferas

Para evaluar el funcionamiento del sistema de control de posición se realizaron pruebas con el objetivo de corregir desviaciones, y determinar el rango de funcionamiento del sistema, para esto se consideró necesario hacer tres pruebas distintas:

- Pruebas de la base del brazo robótico.
- Prueba de variación de altura a una misma coordenada (x, z).
- Prueba de posicionamiento (x, z).

Las pruebas realizadas al software de la aplicación entregaron un conjunto de restricciones y consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de clasificar los objetos de una escena, entre los cuales constan: un ambiente de iluminación moderada, la forma de ubicar los objetos en la escena, formas válidas de superposición de objetos en la escena.

VI. CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo del proyecto de titulación: desarrollar un algoritmo que permita controlar un brazo robótico comercial de 5 DOF, y utilizar visión estereoscópica para la determinación de las coordenadas tridimensionales de los objetos, para su clasificación de acuerdo a la forma y color.

En base a investigación de los fundamentos de adquisición, procesamiento digital de imágenes, y visión estereoscópica, se determinó el procedimiento para la reconstrucción 3D de la escena, así como la distribución de cámaras e iluminación.

Debido a los cambios de iluminación entre la cámara derecha e izquierda, la reconstrucción estéreo presenta resultados variantes, por este motivo es necesario aplicar restricciones como: límites de magnitud en las disparidades, filtros en las correspondencias y análisis de correlación de la disparidad.

El desarrollo de los algoritmos de visión artificial, visión estereoscópica, así como el reconocimiento de patrones en frutas no tienen modelos definidos para su implementación, por lo que dependiendo de la aplicación en la que se utilicen se debe diseñar o modificar los algoritmos en función de los resultados esperados.

VII. RECOMENDACIONES

La visión estereoscópica es un campo muy extenso de estudio, en el proyecto se realizó un método local basado en el análisis de características, para futuras implementaciones se recomienda un análisis de métodos globales, y la verificación de algoritmos que puedan ayudar en su desarrollo.

En el proyecto desarrollado se trabajó bajo el concepto de un módulo didáctico, en el sistema de visión estéreo utilizado se pueden incorporar nuevas funciones como la detección de otros colores dentro de la escena, nuevas técnicas de reconocimiento de esquinas o algoritmos de correspondencia sin requerir un trabajo complicado por parte del programador.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. López, A. Fernández, and M. Fernández, "Conceptos y Técnicas de Estereovisión por Computador," *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 9, no. 27, pp. 35-62, 2005.
- [2] M. TorresS, «Reconstrucción confiable de superficies usando rango de disparidad adaptivo,» 1998
- [3] J. Enebra, «Detección y asociación automática de puntos característicos para diferentes aplicaciones,» 2009.
- [4] Z. Zhang, «Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientations,» de *International Conference on Computer Vision*, Corfu, Greece, 1999.

- [5] J. Bouguet, Julio 2010. [En línea]. Available: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html#paramet.
- [6] J. Craig, *Robótica*, Tercera Edición Español ed., México: Pearson, 2000.

IX. BIOGRAFÍAS



Jorge Fernando Medina Naranjo, nació en Quito el 19 de Junio de 1987. Obtuvo el título de bachiller en Ciencias especialidad Físico Matemático en Instituto Tecnológico Superior Bolívar.

En el 2012 obtiene el título de Ingeniero en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional.

(j_wfernando@hotmail.com)



María Belén Nono Soto, nació en Quito el 20 de enero de 1988. Obtuvo el título de bachiller en Ciencias especialidad Físico Matemático en colegio experimental "24 de Mayo".

En el 2012 obtiene el título de Ingeniera en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional.

(Belen_nono@yahoo.com)



Hugo A. Banda Gamboa, nació en Quito, el 7 de Julio de 1950. Su educación superior la hizo en la Escuela Politécnica Nacional, en donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, 1975.

Los estudios de postgrado los realizó en el Reino Unido de la Gran Bretaña. La Universidad de Bradford, Inglaterra, le confirió en 1979 el grado de MSc en Power Electronics; y, la Universidad de Dundee, Escocia, le otorgó el grado académico de PhD en Computer Science – Artificial Intelligence, en 1990.

Actualmente es Profesor Principal del Departamento de Informática y Ciencias de Computación, en la Escuela Politécnica Nacional. Su campo de interés incluye la educación superior, la visión robótica, los sistemas inteligentes y sus aplicaciones industriales y empresariales. Tiene varias publicaciones en el ámbito nacional e internacional.