

Clasificador inteligente de objetos con visión artificial utilizando un brazo articulado

A Ibarra¹ y D Fernandez²

¹Ingeniería en electrónica e Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, Av. Libertad 5460, Corrientes, Corrientes, Argentina.

² Ingeniería en electrónica, Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, Av. Libertad 5460, Corrientes, Corrientes, Argentina.

¹E-mail: axs.ibarra@gmail.com

²E-mail: dfernandez202@gmail.com

Resumen. En este proyecto final se implementó un sistema clasificador de objetos, en donde se utilizó la visión artificial para la detección de las posiciones y las características de los objetos (color y tamaño), para que luego puedan ser manipulados por un brazo robot. Adicionalmente se desarrolló una aplicación que permite, utilizando el mismo hardware desarrollado y a través de la captura de los movimientos de la mano del usuario, el control del brazo robot.

Para el logro del proyecto se desarrollaron programas y algoritmos utilizando el lenguaje de programación Python, las librerías OpenCV y Qt, y las plataformas de hardware Arduino y Pinguino (herramientas de código abierto). Los mismos son capaces de adquirir imágenes, procesarlas y controlar el movimiento del brazo robótico.

1. Introducción

En este proyecto se implementó un sistema clasificador de objetos, en donde se utilizó la visión artificial para la detección de las posiciones y las características de los objetos (color y tamaño), para que luego puedan ser manipulados por un brazo robot. Adicionalmente se desarrolló una aplicación que permite, utilizando el mismo hardware y a través de la captura de los movimientos de la mano del usuario, el control del brazo robot.

2. Fundamentos teóricos: Visión por computadora

La visión artificial, también conocida como visión por computador (del inglés *computer vision*) o visión técnica, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen.

Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (por ejemplo, segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, es decir, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.

- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; este modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, teoría de grafos y otros campos. La visión artificial cognitiva está muy relacionada con la psicología cognitiva y la computación biológica. En campo de aplicación es entonces muy diverso.

En el prototipo desarrollado, se implementaron principalmente las siguientes tareas:

- Reconocimiento de ciertos objetos en imágenes.
- Seguimiento de objetos en una secuencia de imágenes
- Serie estadísticas de decisión.
- Evaluación de resultados (respuestas del autómata).

3. Hardware: Diseño de la plataforma de visión artificial

Una plataforma de visión artificial consiste en la implementación de un sistema de captura y procesamiento de imagen a un sistema dinámico. El sistema de captura es el encargado de recoger las características del ambiente u objeto de estudio y proporcionar los datos para su procesamiento, por medio de una imagen digital. El procesamiento consiste en la aplicación de algoritmos y transformaciones de las imágenes de forma de obtener la información necesaria para manipular el sistema dinámico y realizar la tarea asignada.

La Figura 1 esquematiza, didácticamente, como quedó constituida la estructura del hardware del proyecto, también se idealizan las conexiones entre componentes de la arquitectura.

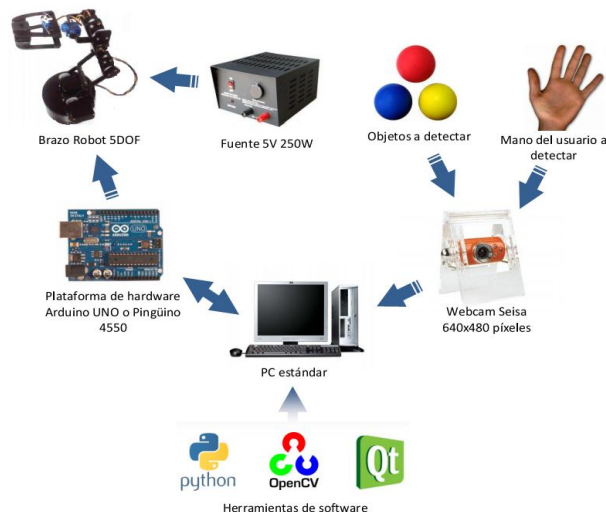


Figura 1: Arquitectura del proyecto.

Brazo robótico:

El brazo robot es el sistema dinámico de la plataforma encargado de interactuar con el medio exterior.

El autómata construido se muestra en la figura 2.



Figura 2. Brazo robot desarrollado

4. Software: Diseño y desarrollo del software especializado

Para lograr flexibilidad, portabilidad y la posibilidad de realizar futuras mejoras al software especializado se decidió desarrollarlo íntegramente utilizando herramientas de programación, librerías y módulos libres y de código abierto, a costa de tener un mayor tiempo de desarrollo.

Las herramientas de software utilizadas fueron:

- Lenguaje de programación Python.
- PyQt y PyQt4 Designer.
- OpenCV.
- Arduino IDE.
- Editor de texto.

Aplicación 1: Reconocimiento de objetos

La aplicación desarrollada consiste en la utilización de los algoritmos de procesamiento de imagen para el reconocimiento del color, tamaño y las posiciones de los objetos dentro de un espacio de trabajo, para que luego el brazo pueda tomarlos y depositarlos en otro lugar.

El brazo robot interactúa con su entorno sin necesidad del usuario, quien únicamente se encarga del seteo inicial del sistema.

El algoritmo básico utilizado para el software es el esquematizado en la figura 4.

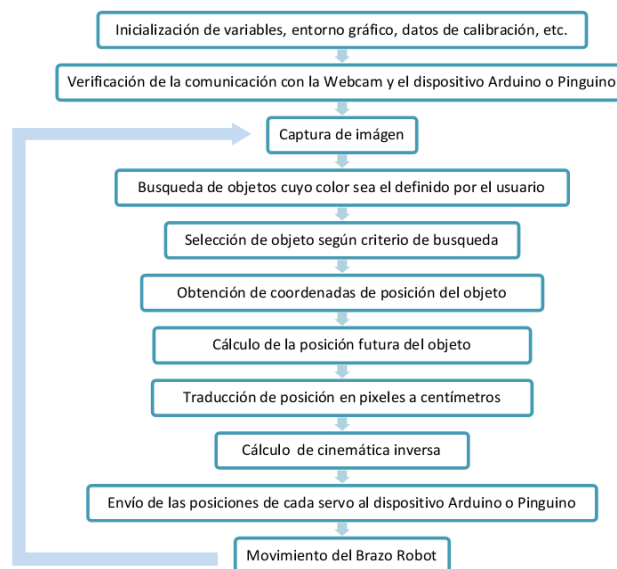


Figura3. Proceso de aplicación 1.

Aplicación 1: Interfaz grafica

El principal objetivo de la interfaz gráfica es brindar al usuario un medio de comunicación con el sistema de visión artificial.

Por otro lado, también fue importante lograr que la comunicación entre usuario y el equipo pueda realizarse de forma fácil e intuitiva, y así brindar comodidad y eficiencia al usuario.

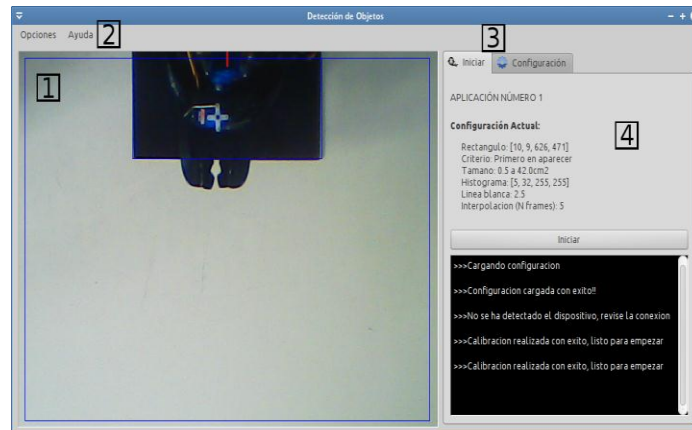


Figura 4. Interfaz grafica de aplicación 1.

Aplicación 2: Interfaz inalámbrica usuario-robot

En esta aplicación el sistema capta a través de la cámara movimientos o posiciones de la mano del usuario, quien de esta manera controla el brazo robot en todo su espacio de acción, sin estar necesariamente el usuario cerca del brazo o expuesto a un medio hostil.

El objetivo principal del software es detectar la posición de la mano en las 3 dimensiones.

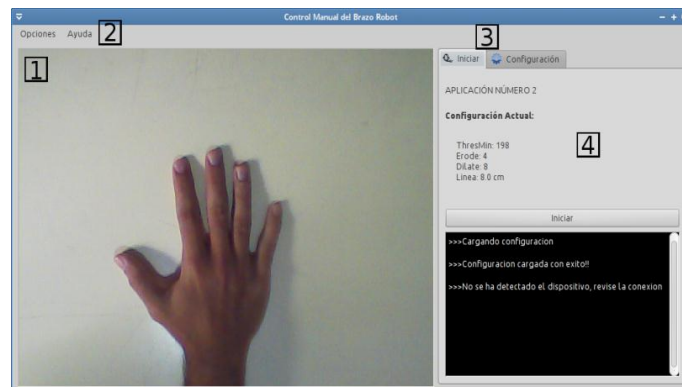


Figura 5. Interfaz gráfica de aplicación2.

5. Implementación: Ensayos y resultados

Se realizaron ensayos al sistema de visión artificial y al sistema de control del brazo robot. Sus resultados permitieron la corrección de errores y la determinación de las restricciones y consideraciones especiales que se debían tener en cuenta a la hora de la implementación de la plataforma.

Implementación: Ensayos del brazo robot

Para lograr el buen funcionamiento del brazo robot se realizaron pruebas de su sistema de control. Uno de los componentes más importantes de dicho sistema es el cálculo de cinemática inversa, donde

a partir de las coordenadas obtenidas del software de visión artificial, se deben tomar los objetos dependiendo de su color y tamaño.

Es por ello que se realizaron dos pruebas de posicionamiento con el objetivo de corregir desviaciones y determinar el rango de trabajo del brazo robot. Ellas son:

- Prueba de posicionamiento en X e Y.
- Prueba de posicionamiento de la base.



Figura 6. Mediciones de posicionamiento.

X (cm)	α (°)	φ (°)	θ (°)	Xmed (cm)	E relativo
5	108	20.9	90	5.3	0.06
6	105.7	21.87	86.25	6.2	0.033
7	103.3	23.1	82.5	6.5	0.071
8	100.8	24.56	78.75	7.3	0.087
9	98.1	26.27	75	8.5	0.055
10	95.22	28.2	71.25	9.7	0.03
11	92.14	30.33	67.5	10.8	0.018
12	88.8	32.61	63.75	12.1	0.008
13	85.25	34.99	60	13.4	0.031
14	81.43	37.4	56.25	14.4	0.028
15	77.37	39.79	52.5	15.3	0.02
16	73.07	42.05	48.75	16.2	0.012
17	68.55	44.12	45	17	0
18	63.83	45.89	41.25	18.1	0.005
19	58.92	47.28	37.5	18.9	0.005
20	53.84	48.2	33.75	19.8	0.01
21	48.58	48.58	30	20.8	0.009
22	43.13	48.34	26.25	21.7	0.013
23	37.42	47.38	22.5	22.6	0.017
24	31.38	45.59	18.75	23.5	0.021
25	24.84	42.79	15	24.8	0.008
26	17.48	38.62	11.25	25.8	0.007
27	8.46	32.19	7.5	26.7	0.011

Tabla 1. Mediciones de posicionamiento en x.

Z (cm)	α (°)	φ (°)	θ (°)	Zmed (cm)	E relativo
0	84.95	35.77	60	0.5	-
1	88.51	28.09	60	1.4	0.4
2	91.18	20.7	60	2.2	0.1
3	93.03	13.56	60	3.3	0.1
4	94.09	6.63	60	3.8	0.05
5	94.43	-0.15	60	4.7	0.06
6	94.07	-6.87	60	5.5	0.083
7	93.01	-13.65	60	6.6	0.057
8	91.2	-20.63	60	7.8	0.025
9	88.53	-28.04	60	8.9	0.011
10	84.66	-36.32	60	9.7	0.03
11	78.58	-46.69	60	10.9	0.009

Tabla 2. Mediciones de posicionamiento en z.

Resultados

Los errores de posición tuvieron un error máximo de 0,087 (8,7 %). Considerando la aplicación y las dimensiones de los objetos a clasificar mediante el brazo, el nivel de error obtenido es aceptable.

Implementación: Ensayos Aplicación 1

Para lograr que la aplicación 1 funcione correctamente fue necesario comprobar que la determinación de las posiciones de los objetos detectados por parte del algoritmo sean lo más precisa posible. Para ello se realizó una prueba de comparación de las posiciones detectadas respecto a las reales.

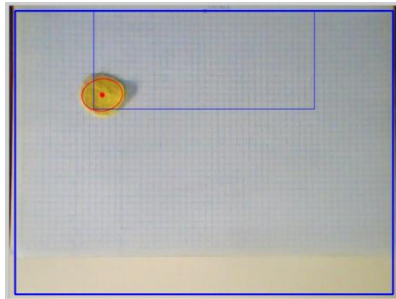


Figura 7. Medición de posición de los objetos.

X (cm)	Y (cm)	X detec. (cm)	Y detec. (cm)	E relativo (X)	E relativo (Y)
8	6.5	8.2	6.25	0.025	0.038
-0.6	12.5	-0.7	13.05	0.166	0.044
-6	7	-5.55	6.65	0.075	0.05
-8.5	13.5	-9.25	13.75	0.088	0.018
8.45	14.75	8.55	15.5	0.011	0.051
-5	3.4	-5.8	3.4	0.16	0
0	9	0.05	9.3	-	0.033
-7.3	9.5	-7.55	9.4	0.034	0.01
10.5	6	10.3	5.85	0.019	0.025
6	17	5.1	17.25	0.15	0.014

Tabla 3. Medición de posición de los objetos detectados en x e y.

Resultados:

Solo en dos mediciones se obtuvieron errores del 15%. El resto de las posiciones detectadas contuvieron menos del 8% de error, por lo que el funcionamiento del algoritmo resultó muy aceptable.

Implementación: Ensayos Aplicación 2

La aplicación se basa en mapear un espacio de coordenadas ortogonal (X,Y,Z) a un espacio en coordenadas cilíndricas (X,β,Z), coordenadas necesarias para la cinemática inversa del brazo robot.

Las coordenadas X e Y pueden conocerse fácilmente ya que representan la posición de la mano en la pantalla (centro de masa de la mano), por lo tanto es una medición directa. La complejidad surge al momento de la medición de la altura Z . Para ello se realizaron distintas mediciones del área de la mano del usuario, enfocada por la webcam, a distintas alturas (figura 9). De esta forma se pretendió obtener una función que describiera el movimiento del brazo en el eje Z .

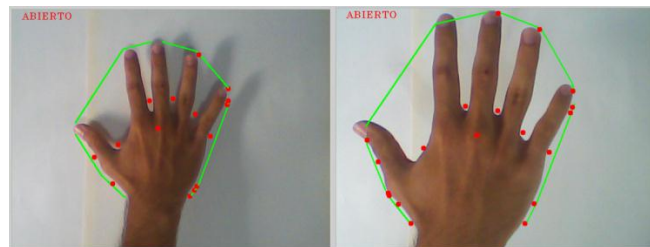


Figura 8. Medición de parámetros de la mano.

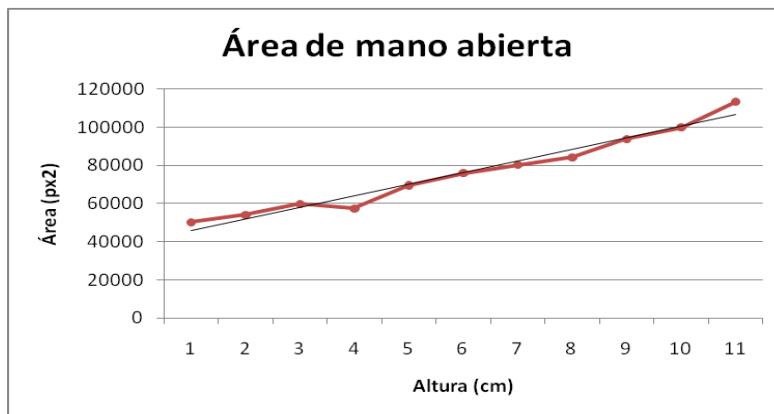


Figura 9. Relación área de la mano abierta a la altura z .

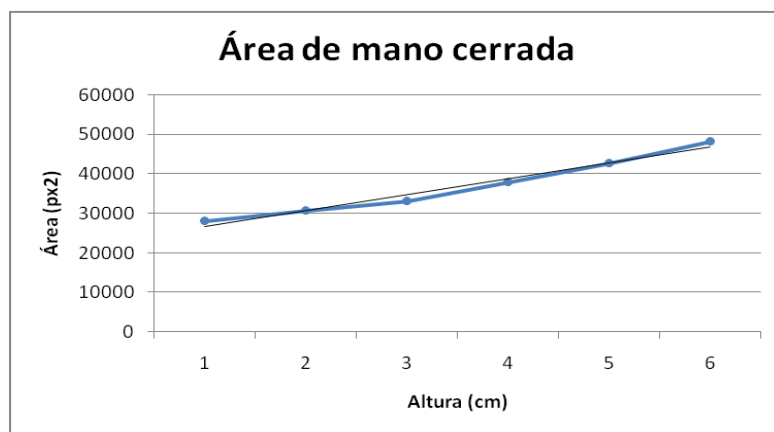


Figura 10. Relación área de la mano cerrada a la altura z .

Resultados:

Las relaciones entre ambas magnitudes resultaron prácticamente lineales, dentro del rango de alturas a utilizar.

6. Conclusiones

Con los estudios y las tareas realizadas se logró desarrollar un sistema clasificador de objetos, en donde se utiliza la visión artificial para la detección de las posiciones y las características de los objetos (color y tamaño), cumpliendo con el objetivo principal del proyecto.

Se diseñó y construyó un brazo robot de 5 grados de libertad (DOF) con materiales de bajo costo. Además se realizó el estudio de cinemática inversa permitiendo que el autómatas manipule y clasifique los objetos conociendo solamente sus posiciones. El método geométrico utilizado fue una buena opción ya que, siendo un método sencillo, permitió resolver el problema de las múltiples soluciones determinando la posición del efector final al momento de manipular los objetos.

Se ha logrado el diseño e implementación de una plataforma de visión artificial. La misma quedó conformada por el brazo robot construido (sistema dinámico) y su hardware de control, una webcam (para la captura de imágenes) y un sistema computacional (para el procesamiento de datos). En cuanto a su funcionamiento, puede decirse que depende de la iluminación del ambiente en donde se encuentre. Se debe proporcionar al sistema de condiciones de iluminación uniformes generando el menor contenido de ruido en la imagen capturada.

Para la implementación de la visión artificial en la plataforma se desarrolló un sistema de software especializado, encargado de realizar los algoritmos y funciones necesarias. Se elaboraron y aplicaron algoritmos de visión por computadora capaces de extraer la información visual necesaria para detectar objetos y reconocer la mano del usuario. Por otra parte, el software también se encarga de brindar una interfaz gráfica al usuario y de comunicarse con el hardware de control del brazo robot. Se logró que la interfaz gráfica resulte sencilla e intuitiva, permitiendo al usuario realizar la configuración del sistema de forma fácil.

El sistema de visión computarizada realizado es portable y flexible. El mismo permite que cualquier componente sea reemplazado por otro, siempre y cuando cumpla la misma función y respete el protocolo de comunicación utilizado. Es decir que es independiente tanto del autómatas, del sensor óptico y del sistema de cómputos utilizados, como del entorno en el cual se implementa. La adecuada selección de las herramientas de software empleadas permitió que la aplicación final sea portable y pueda ser ejecutada en cualquier computadora estándar, en entornos Windows y Linux. Gracias a la facilidad de uso de los lenguajes de programación y librerías utilizadas se puede dar mayor funcionalidad al sistema e implementar nuevas aplicaciones mediante simples modificaciones.

Referencias Bibliográficas

- [1] Gary Bradski, Adrian Kaehler, *Learning OpenCV*, O'Reilly Media, 2008
- [2] José Jaime Esqueda Elizondo, Luis Enrique Palafox Maestre, *Fundamentos de procesamiento de imágenes*, Universidad Autónoma de Baja California, 2005.
- [3] *OpenCV v2.4.0 Documentation*, <http://docs.opencv.org/>, 2012.
- [4] *Python v2.7.3 documentation*, <http://docs.python.org/2/>, 2010.
- [5] Aníbal Ollero Baturone, *Robótica: manipuladores y robots móviles*, Marcombo, 2001.
- [6] Jorge Rodríguez Araújo, *Introducción a los sistemas de visión artificial*, 2009.
- [7] Raúl González Duque, *Python para todos*, <http://mundogeek.net/tutorial-python/>, 2007.