

Estimación preliminar de la distancia entre objetos utilizando el algoritmo SURF para aplicaciones en robótica

¹Magaña Zaldívar, J.B. *, ²Perales-Alcacio, J.L.A., ²España Gamboa, E.I.

¹Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico Superior de Motul

²Ingeniería en Energías Renovables. Instituto Tecnológico Superior de Motul
jorge.magana@itsmotul.edu.mx

Recibido: 20 de noviembre de 2019

Aceptado: 21 de diciembre de 2019

RESUMEN

Una de las aplicaciones más importantes de los robots autónomos es la determinación de la ubicación de un objeto en un espacio determinado. En este trabajo se desarrolló un procedimiento con el algoritmo SURF (Speeded up Robust Features, por sus siglas en inglés), que es capaz de estimar la distancia entre el robot y un objeto de estudio utilizando una sola cámara. El algoritmo calcula la distancia euclidiana de dos puntos característicos de la imagen de referencia (I_{ref}) y las compara con los puntos correspondientes en la imagen del entorno. I_{ref} es una fotografía del objeto en relación a una distancia conocida. Posteriormente se tomaron 20 fotos del objeto en un ambiente diferente variando la distancia del objeto y orientada de manera horizontal, posicionando la cámara a una altura de 10 cm de la base. Se presentan resultados de las pruebas realizadas con el algoritmo empleando un objeto de uso cotidiano, en este caso, un cilindro de 25 cm de altura y una I_{ref} tomada a 50 cm de la cámara. Se emparejaron con 20 imágenes del mismo objeto a diferentes distancias con un entorno controlado. Los resultados obtenidos muestran que el algoritmo propuesto puede ser utilizado para estimar la distancia del objeto de interés, logrando la estimación de la distancia en el 95% de las imágenes procesadas. Con base a lo anterior, se puede establecer que es posible el algoritmo SURF en robótica y estimar la posición de un objeto utilizando una sola cámara.

Palabras claves: Algoritmo SURF, Detección de Objetos, Estimación de Distancia, Robot.

ABSTRACT

One of most important applications of autonomous robots is to establish the object location in a specific space. In this work was used SURF algorithm in the process to estimate the distance among one robot and the reference object employing just one photograph camera. Algorithm calculate the euclidian distance between two characteristic points from reference image (I_{ref}) and then it compare with corresponding points in the environment image. I_{ref} refers to object photograph relate with a known distance. Later twenty photographs was getting from the object into a different environment varying the distance from the object pointed horizontally and positioned the camera 10 cm height from the base. Results from algorithm used are showing using a daily element, in this case a 25 cm height cylinder and I_{ref} took 50 cm from the camera. Twenty images from same object were matching with different distances into a controlled environment. Dates obtained show that suggested algorithm could be used to estimate the distance from interest object with 95% accuracy in processed images. From the latter could establish that is possible employ SURF algorithm in robotics to estimate any object position using only one camera.

Key words: SURF algorithm, Object detection, Distance estimation, Robot.

1. INTRODUCCIÓN

Un parámetro vital para robots autónomos es estimar la distancia del objeto a manipular. Se han desarrollado algoritmos capaces de estimar la distancia del objeto a la cámara utilizando diferentes técnicas, como las que relacionan variables conocidas de imágenes patrón del objeto a detectar con imágenes del entorno cercano a dicho objeto (Annusewicz, A. 2019; Hazrat Ali, et al 2018).

La utilización de sistemas de visión artificial aplicados en robótica para la detección de objetos se ha incrementado de manera exponencial, ya sea para aplicaciones industriales o bien para aplicaciones domésticas (Gultekin & Saranli, 2019; William, H. et al, 2019; Bonnin-Pascual & Ortiz, 2018). En caso de las aplicaciones robóticas, en dónde se busca la autonomía de un robot móvil para realizar tareas de manipulación, es necesario que el robot tenga la capacidad de detectar los obstáculos en su trayectoria, así como otros objetos de interés (Zavala, Hernández, & Freyre, 2012; Prieto, Febres, Cerrolaza, & Miquelarena, 2010; Asadi, K. et al, 2018; Sangeetha, G. 2018).

Para estas aplicaciones, la cámara tiene la función de ser los ojos del robot (Xiao Ling, et al, 2019; Lubna Shahid, et al, 2019; Yuanshen-Zhao, 2016). Uno de los problemas a resolver, es conocido como estimación de la pose de la cámara, y una de la posible solución a este problema se basa en la correspondencia entre puntos en un espacio 3D y su proyección 2D de una imagen. Dicha solución puede ser interesante debido a su bajo costo, pero con la posibilidad de perder precisión debido al ruido en la imagen (Mondéjar, 2016).

Una de las formas convencionales de detectar objetos con visión artificial, es con el uso de redes neuronales. Dichas redes neuronales están formadas por varias capas de neuronas conectadas entre sí, similar a la organización jerárquica de la corteza cerebral del ser humano. Para que la red neuronal sea eficiente, es necesario entrenarla y para ello se requiera de una cantidad considerable de imágenes que serán procesadas para que la red pueda identificar un objeto de manera correcta (Bawane, P. et al, 2018; Brahimia, S. et al, 2019 ; Chanampe, et al. 2019; Rong, Xie & Ying, 2019).

Otra forma de funcionamiento para el reconocimiento de objetos es realizada a través de la extracción de un conjunto de puntos críticos de una imagen y compararlos con los puntos críticos de una segunda imagen, con ello identificar los puntos que son similares entre ambas imágenes. Según Alban (2014), los principales algoritmos utilizados para encontrar puntos críticos en una imagen se encuentran los algoritmos Harris, SIFT, SURF.

Por su parte, el algoritmo SURF (Speeded Up Robust Features) desarrollado por Herbert Bay, basado en el algoritmo SIFT (Bay, Ess, Tuytelaars, & Gool, 2008), se basa en cinco partes fundamentales: 1) aproximación del Laplaciano del gaussiano; 2) búsqueda de puntos de interés; 3) eliminación de puntos espurios; 4) obtención de gradientes de orientación y; 5) generación de las características SURF (Maudet, Di Donato, & Campos, 2015).

Se han realizado trabajos utilizando el algoritmo SURF para detectar objetos determinados, en dichos trabajos se han utilizan más de una cámara para realizar la detección (Bouziady, Thami, Ghogho, Bourja & Fkihi, 2018). De igual forma se ha utilizado el mismo algoritmo SURF utilizando una sola cámara para detectar un objeto y estimar la distancia de la cámara al objeto utilizando los puntos característicos detectados.

Magaña, Atoche, Molina, Blanco & Pérez, (2017) contrastaron las distancias euclidianas entre dos puntos característicos de la imagen de referencia y sus correspondientes de la imagen del entorno, obtenidos con el algoritmo SURF, con la distancia física a la que fue capturado el objeto para la imagen

de referencia. El trabajo anterior realizó las pruebas en un entorno controlado utilizando 4 objetos de uso cotidiano.

Un problema que se presenta al emplear algoritmos de detección de puntos característicos en la detección de objetos como el SURF, es la detección de puntos característicos falsos, conocidos como falsos positivos y falsos negativos (Maudet, Donato & Campos, 2015; Mendoza, et al., 2017). Sin embargo, se han realizado trabajos utilizando algoritmos como el RANSAC para eliminar dichos errores (Kole, Agarwal, Gupta & Singh., 2015).

En Magaña, Atoche, Gamboa, Lujan & Perales, (2018) se utilizaron la relación entre la distancia euclidiana de un par de puntos característicos de una imagen de referencia entre sus correspondiente a una imagen del entorno, dicha relación debe ser aproximadamente igual, en caso contrario significa que son falsos positivos y por consiguiente se descartan dichos puntos para el procesamiento.

En otro trabajo se utilizó el algoritmo SURF para poder determinar el ángulo que se ha rotado el objeto con respecto a una imagen de referencia (Magaña, Atoche, Cua & Vela, 2016). Dicho trabajo se realizó en un ambiente controlado realizando las pruebas con 120 imágenes del objeto rotado a diferentes ángulos, sus resultados muestran que los ángulos estimados tuvieron un error menor a 4° con respecto a la imagen de referencia.

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó el algoritmo SURF, el cual en comparación con otros algoritmos, SURF permite la detección de objetos con menor costo computacional y responde mejor en el tiempo de cálculo de los puntos de interés, por lo que se considera adecuado para aplicaciones robóticas. Sin embargo, presenta la desventaja de pérdida de exactitud al momento de emparejar dos imágenes (Panchal, Panchal, & Shah, 2013; Ordoñez, 2012; Romero & Cazorla, 2009).

Existen estudios que ha utilizado el área de una imagen patrón, cuya distancia de captura de la imagen es conocida, la cual es utilizada para compararla con el área del objeto detectado, con ello, realizar un cálculo de la relación entre el área y la distancia del objeto (Akhlaq, Izhar, & Shahbaz, 2014; Liaquat & Khan, 2015).

Por lo que, el presente artículo propone estimar la distancia del objeto a un robot móvil, apoyándose del algoritmo SURF para determinar puntos característicos en una imagen de referencia (I_{ref}) del objeto a detectar y en una imagen del entorno (I_{ent}), tomando dos puntos característicos equivalentes en la I_{ref} y la I_{ent} y calculando la distancia euclidiana entre dichos puntos. Ambas distancias se relacionan con la distancia horizontal de la cámara al objeto al realizar la captura de la I_{ref} .

Para estos propósitos, se emplearán dos cámaras, por lo que es necesaria la calibración de las mismas y en caso de mostrar un fallo alguno de ellas, se hace necesario calibrar de nuevo las cámaras. En este sentido, se propone utilizar una sola cámara para lograr cierta similitud en los procesos de detección, con lo cual disminuiría el error en los parámetros de las cámaras y el mantenimiento del sistema de visión.

Por otro lado, para lograr la detección, es necesario utilizar algoritmos capaces de detectar puntos característicos en una imagen y que éstas se puedan comparar con una segunda imagen. Es necesario procesar los puntos característicos en ambas imágenes para realizar una correlación entre el espacio 3D y su proyección en 2D. Se propone aplicar el algoritmo SURF para determinar la distancia del objeto a la cámara, utilizando la relación de la distancia euclidiana de dos puntos característicos detectados con el algoritmo SURF de la imagen tomada del objeto y la distancia real entre la cámara y el objeto a detectar. A través de este tipo de aplicaciones robóticas se puede implementar dicho procedimiento en tareas domésticas básicas.

2. METODOLOGÍA

Los trabajos para el reconocimiento de objetos a distancia mediante identificación de colores han utilizado dos cámaras de referencia (Jiménez et. al, 2019). El desarrollo del proyecto se realizó empleando una sola cámara, por lo cual fue necesario realizar dos fases experimentales.

La primera fase experimental tuvo como objetivo, determinar la distancia más adecuada para tomar la fotografía al objeto y que, dicha fotografía fuera empleada como imagen de referencia. En la segunda fase experimental, utilizando los resultados de la primera fase, se realizó el cálculo de las distancias empleando el algoritmo SURF.

Los materiales usados para el desarrollo del proyecto fueron una laptop LENOVO modelo YOGA 500 con un sistema operativo WINDOWS 10 y con un procesador Intel(R) core(TM) i3-5005U CPU, una memoria RAM de 4GB y un sistema de 64 bits. De igual manera se utilizó una cámara web HD PRO -WEBCAM C920 Definición Full HD 1080p la cual se instaló en un robot móvil tipo diferencia.

El software utilizado para el desarrollo del algoritmo fue Python 2.7.12, disponible en la página oficial de python (<https://www.python.org>). Posteriormente se descargó la librería Numpy 1.7.1 y la librería OpenCV de la página web <https://opencv.org/>. Se agregó la librería de OpenCV a python copia y pega el archivo cv2.pyd, localizado en el archivo descargado de la página opencv, en la dirección C:\Python27\Lib\sitepackages de la computadora.

2.1 Primera fase experimental

Para la detección del objeto prueba se eligió una imagen de referencia, para ello se realizó un experimento que consistió en una caja rectangular de aproximadamente 40 cm de alto, con el interior de color negro y un fondo móvil de color blanco; mientras que la cámara fotográfica y el sistema de iluminación quedaron fijos en la parte superior. La base puede desplazarse de manera horizontal junto con el objeto de prueba hacia a la cámara (Figura 1). El sistema está completamente cerrado con el objetivo de controlar la iluminación del objeto prueba. La intensidad luminosa de las lámparas se controla con un dimmer y se utilizó un luxómetro para medir los luxes.

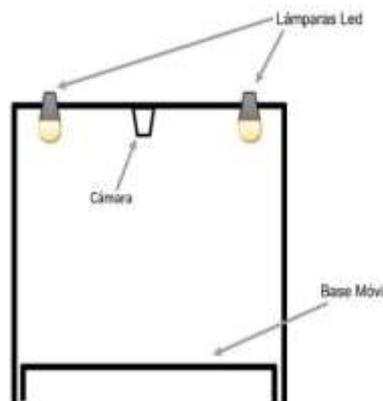


Figura 1. Diagrama del Experimento 1



Figura 2. Objeto de prueba 1

Se realizaron 20 fotos al objeto de prueba 1 (Figura 2) dentro del sistema desarrollado, la foto se realizó a una distancia de 12.5cm de la cámara hasta una distancia de 34cm de la cámara. Antes de realizar la detección se hizo de manera manual un pre-procesamiento de las imágenes eliminando el ruido alrededor del objeto de prueba. En la Figura 3 se observa el antes y después del pre-procesado de una imagen del objeto nótese que se eliminó el ruido ocasionado por la distancia de la captura de la imagen.

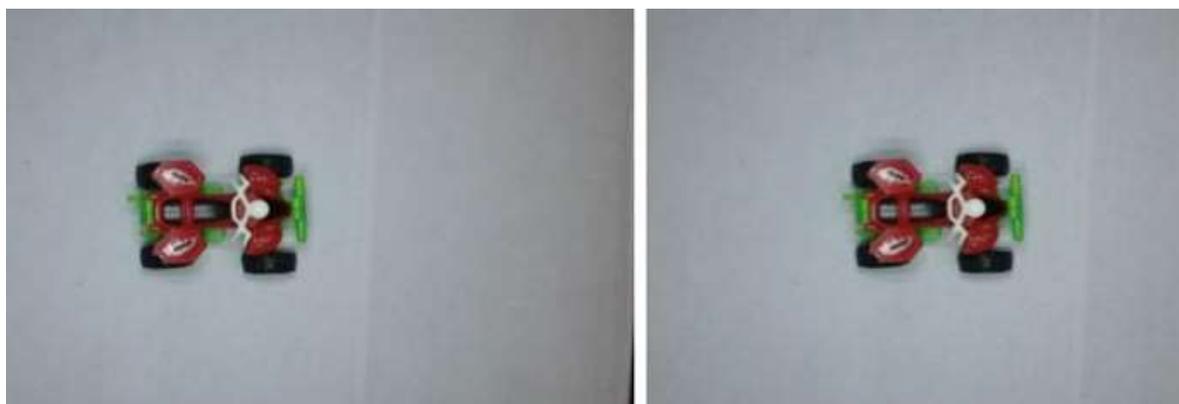
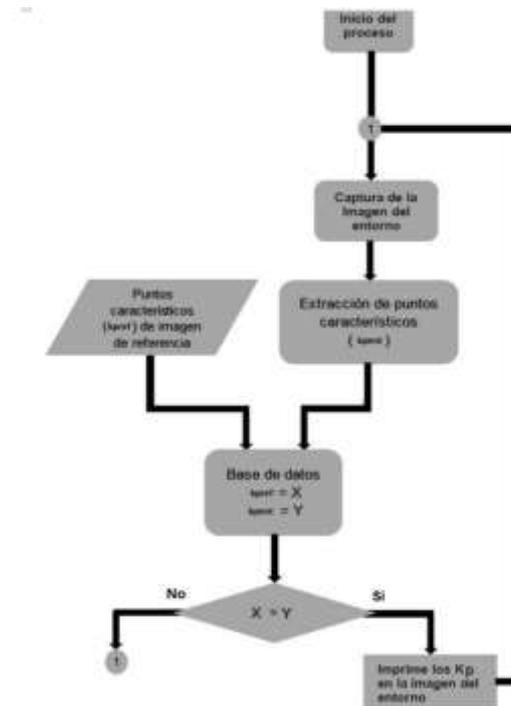


Figura 3. Ejemplo de Pre-procesamiento de las imágenes

Para la prueba de detección del objeto se eligieron 3 imágenes como referencia del objeto, capturadas a una distancia de 12.5 cm, 24 cm y 34.7cm, las cuales se utilizaron para determinar la distancia adecuada para realizar la foto del objeto a detectar. En la Figura 4 se observa el diagrama de flujo para la detección del objeto mediante el algoritmo SURF, en el cual el programa tiene una base de datos donde almacena todos los puntos característicos de la imagen de referencia, inicia realizando la foto al entorno y extrayendo los puntos característicos del mismo. Posteriormente se comparan los puntos característicos almacenados del objeto con los adquiridos del entorno, si éstos son iguales, los imprime en la imagen del entorno.

Figura 4. Diagrama de flujo para la detección del objeto



2.2 Segunda fase experimental.

Para el experimento 2 se diseñó y construyó un robot móvil al cual se le instaló una cámara web (Figura 5) quedando la altura de la cámara aproximadamente a 10 cm del suelo. El robot construido es de tipo diferencial que consiste de dos motorreductores con llantas de goma, las cuales presentan una relación de reducción de 1:50, una alimentación de 12 Vcd controlada con un módulo de puente H MD2551, y un sistema arduino uno. Se le agregó una rueda loca en la parte delantera del vehículo para mantener el equilibrio. El chasis se construyó de madera tipo MDF, con dimensiones de 4 mm de espesor, y la base del chasis de 12 cm de largo por 8 cm de ancho.

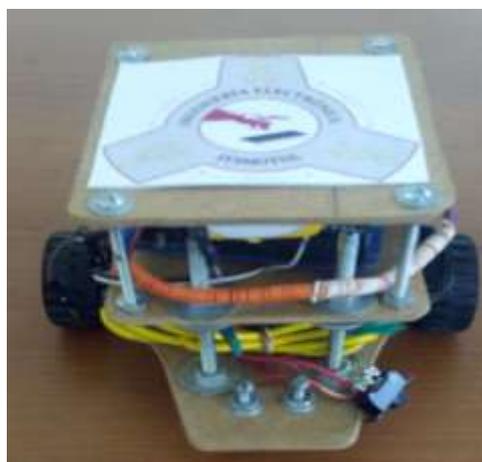


Figura 5. Prototipo de robot móvil utilizado para las pruebas de detección

Para calcular la distancia se establecieron dos puntos característicos equivalentes en la imagen de referencia (I_{ref}) y la imagen del (I_{ent}), para calcular la distancia euclidiana entre dichos puntos; ésta se relacionó con la distancia vertical de la cámara al objeto (d_{ref}) al realizar la captura de la I_{ref} . En la Figura 6 se observan la imagen de referencia y la imagen del entorno. Los círculos azules indican los dos puntos característicos detectados con el algoritmo SURF que fueron utilizados para la estimación de la distancia.

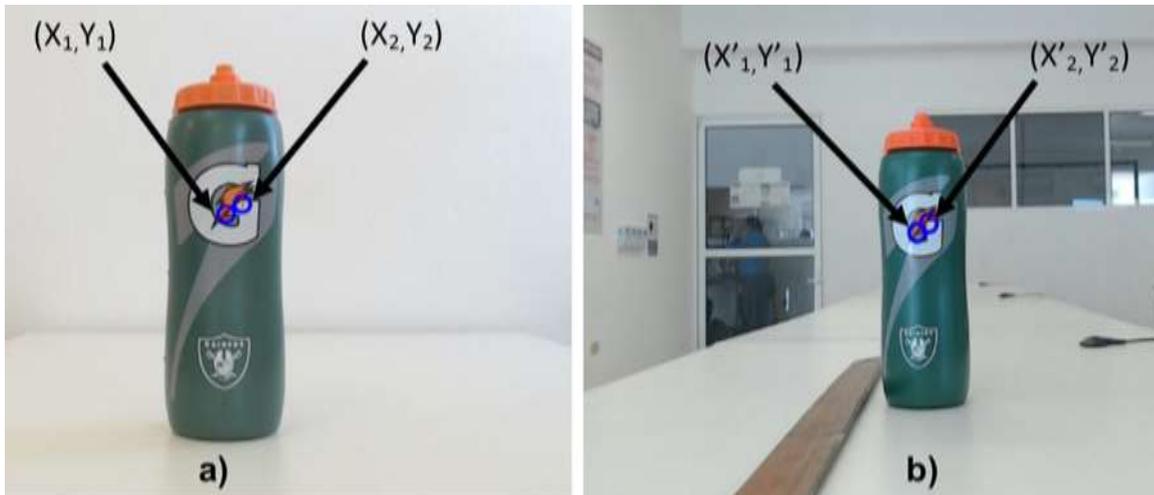


Figura 6. Imagen de referencia y del entorno procesada con el algoritmo.

La distancia euclidiana del punto (x_1, y_1) al (x_2, y_2) de la I_{ref} (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.a**) y la distancia euclidiana del punto (x'_1, y'_1) al (x'_2, y'_2) de la I_{ent} (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.b**) es igual a distancia de la imagen de referencia ($dI_{ref} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$) para la I_{ref} y a la distancia de la imagen del entorno ($dI_{ent} = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2}$) para la I_{ent} , y si la distancia física a la que se realizó la captura de la imagen es proporcional a la distancia de la imagen de referencia ($d_{ref} \rightarrow dI_{ref}$) y la distancia que se desea calcular es proporcional a la distancia de la imagen del entorno ($d_{cal} \rightarrow dI_{ent}$) entonces $d_{cal} = \frac{d_{ref} * dI_{ref}}{dI_{ent}}$.

Para comprobar el algoritmo se tomaron 20 fotos al objeto de prueba a diferentes distancias de la cámara, cada foto fue realizada iniciando a una distancia de 10cm. Con base al experimento 1, se eligió como imagen de referencia la fotografía que se obtuvo a 50 cm de distancia, siendo ésta la distancia máxima esperada de detección de 1m.

En la Figura 7 se observa el objeto de prueba 2 que se utilizó para realizar las pruebas de detección y estimación de la distancia del objeto a la cámara.



Figura 7. Objeto prueba 2.

La primera imagen para estimar la distancia fue realizada a 10cm del robot con una iluminación entre 900 y 1150 Luxes. Después de haber tomado las imágenes de referencia y las imágenes de prueba se procedió a realizar la estimación de la distancia del objeto de prueba 2 empleando el mismo algoritmo. El objetivo del experimento 2 fue detectar el objeto prueba en un entorno no controlado utilizando la imagen de referencia seleccionada en el experimento 1.



Figura 8. Foto del objeto realizada a 55cm del robot

3. RESULTADOS.

3.1 Resultados de la primera fase experimental.

En la Figura 9 se exhibe el comportamiento de la cantidad de puntos característicos detectados en el experimento 1. Se observa que mientras más alejado esté el objeto de la cámara, el número de puntos característicos disminuye, esto debido a que la imagen se hace más pequeña.

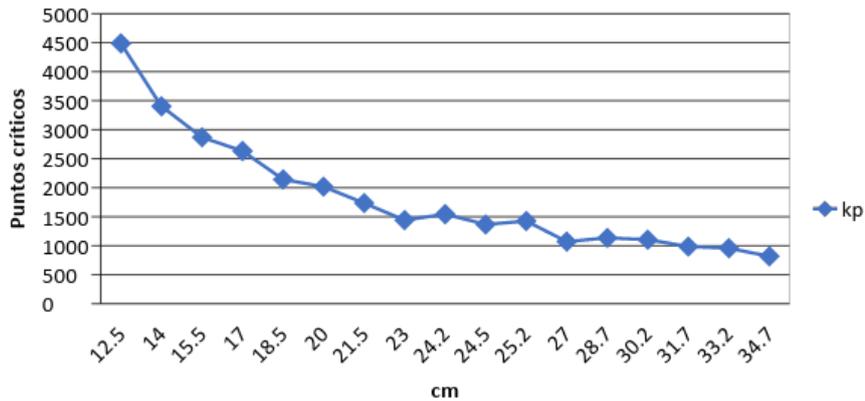


Figura 9. Puntos característicos Vs distancia al objeto

En la Figura 10 se observan los resultados del emparejamiento de las tres imágenes propuestas como referencia. Con base en las gráficas mostradas, la imagen más adecuada para utilizar como imagen de referencia es la que se obtiene a la mitad de la distancia máxima a detectar.

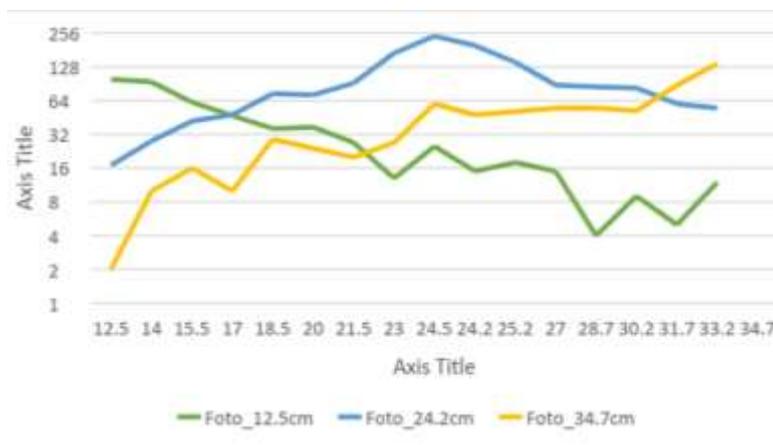


Figura 10. Emparejamiento de las imágenes de referencia y las imágenes del entorno.

3.2 Resultados de la segunda fase experimental

Los resultados permiten comprobar que el algoritmo propuesto puede ser utilizado para detectar y estimar la distancia del objeto de interés, logrando la estimación de la distancia en el 95% de las imágenes procesadas, con un intervalo de error de $+1.5cm$ a $-2.5cm$. En la Tabla 1 se muestran a modo de ejemplo los resultados de 7 imágenes procesadas con el algoritmo.

REAL	ALGORITMO
85 cm	87.5 cm
55 cm	54.3755 cm
63 cm	64.3666 cm
25 cm	25.1333 cm
70 cm	68.8888 cm
15 cm	15.2266 cm
10 cm	8.8 cm

Tabla 1. Resultados de la estimación de distancia del objeto al robot

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de utilizar el algoritmo SURF, para detectar un objeto con una alta probabilidad de detección utilizando una sola imagen referencia. Lo anterior, muestra una ventaja de utilizar el algoritmo SURF sobre el uso de las redes neuronales, las cuales que requieren una gran cantidad de imágenes para realizar el reconocimiento del objeto.

Sin embargo, para obtener los resultados deseados es necesario cumplir con las restricciones presentadas en los resultados, donde la imagen de referencia (imagen comparada con el entorno) debe ser tomada a la mitad de la distancia máxima de trabajo y se debe eliminar todo ruido en la imagen de referencia que pueda generar falsos negativos en la imagen del entorno.

De igual forma, es necesario eliminar los falsos negativos que se presenten en las imágenes del entorno, se ha demostrado que se pueden eliminar utilizando algoritmos como El RANSAC y otros. Los resultados también dependerán de la cámara utilizada, una cámara de mayor resolución a la utilizada en el presente estudio permitirá ampliar la distancia de detección.

Con el uso del algoritmo SURF para la adquisición de los puntos característicos, se logró que en ambas imágenes sea adecuado, siendo sustentado su uso con la literatura citada, donde se demostró la rapidez para el procesamiento, así como su robustez para los cambios de escala, rotación e iluminación.

Para la estimación de la distancia realizada en la segunda fase experimental, no se utilizaron marcas físicas o sensores ópticos, ultrasónicos u otros similares; y a diferencia del uso de visión estereoscópica, para la cual se requieren dos cámaras, el proyecto realizado solo utilizó una cámara.

La propuesta de relacionar la distancia horizontal de la cámara al objeto al realizar la captura de la imagen de referencia con la distancia euclidiana de los puntos característicos equivalentes de la imagen de referencia y del entorno, es innovador y muestra resultados adecuados utilizando una sola cámara, logrando con esto disminuir los costos en el robot, así como las posibles fallas en la calibración y procesamiento de las imágenes.

Lo anterior cobra relevancia en el ámbito tecnológico, ya que realizar la detección de objetos, utilizando visión por computadora, es una de las tareas que presenta mayor dificultad según lo reporta la literatura consultada.

5. CONCLUSIONES Y/O PROYECTOS FUTUROS.

Con base en los resultados y su discusión, podemos afirmar que es posible utilizar el algoritmo SURF para detectar el objeto físico si se utiliza como imagen de referencia una fotografía del mismo objeto en el ambiente donde se va a trabajar. Asimismo, se demostró que es posible estimar la posición de un objeto utilizando una sola cámara, con lo cual aplicaciones en robots móviles están garantizadas

Para proyectos futuros, se propone utilizar la cantidad de imágenes que muestren todas las partes del objeto a detectar como referencia, con ello se espera mejorar la detección del objeto en cualquier posición que se encuentre. De igual manera se propone agregar algoritmos que eliminen el ruido ocasionado por el entorno no controlado y utilizar todos los puntos característicos para el cálculo de la distancia del objeto.

Consideraciones finales para proyectos futuros:

- Aumentar la capacidad de la resolución de la cámara a utilizar, es decir, mientras mayor sea la resolución de la cámara mayor será la distancia a la que se pueda detectar el objeto.
- Utilizar métodos estadísticos para considerar todos los puntos característicos al momento procesar las imágenes.
- Aplicar un algoritmo para eliminar los falsos positivos ya que incrementa el porcentaje de error al momento de procesar las imágenes.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Akhlaq, M. U., Izhar, U., & Shahbaz, U. (2014). Depth estimation from a single camera image using power fit. In *Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE)*, 2014 International Conference on. IEE, 221-227.
- Albán, W. R. (7 de Abril de 2014). Detección y descripción de puntos característicos en imágenes multiespectrales utilizando esquemas clásicos. Recuperado el 25 Noviembre de 2019
- Annusewicz, Anna (2019) The use of vision systems in the autonomous control of mobile robots equipped with a minupulator. *Transportation Research Procedia*. Vol, 4 pp 132-135. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146519301826>
- Asadi, Khashayar , Hariharan Ramshankar , Harish Pullagurla , Aishwarya Bhandare , Suraj Shanbhag , Pooja Mehta , Spondon Kundu , Kevin Hana , Edgar Lobaton , Tianfu Wu (2018) Vision-based integrated mobile robotic system for real-time application in construction. *Automation in construction* Vol. 96, pp. 470-482. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580518303625>
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Gool, L. V. (2008). SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110 No. 3, 346-359.
- Bawane, Priyanka; Gadariye, Snehal; Chaturvedi, S; Khurshid, A. (2018) Object and characterer recognition using spiking neural network. *Materialstoday Proceedings*. Vol. 5 Número 1, parte 1, pp 360 – 366.
- Brahimia Sourour; NajibBen Aoun; Chokri Ben Amara (2019) Boosted convolutional neural network for object recognition at large scale. *Neurocomputing*. Vol 330, 22 de febrero, pp 337-354.
- Bonnin-Pascual, Francisco & Ortiz, Alberto (2018) On the use of robots and vision technologies for the inspection of vessels: A survey on recent advances. *Ocen engineering*. Vol. 190, Octubre 2019. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801819305682#!>
- Chanampe, H., Aciar, S., Vega, M. D. L., Molinari Sotomayor, J. L., Carrascosa, G., & Lorefice, A. (2019, June). Modelo de redes neuronales convolucionales profundas para la clasificación de lesiones en ecografías mamarias. In *XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2019, Universidad Nacional de San Juan)*.

- El Bouziady, A., Thami, R. O. H., Ghogho, M., Bourja, O., & El Fkihi, S. (2018, April). Vehicle speed estimation using extracted SURF features from stereo images. In *2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)* (pp. 1-6). IEEE.
- G.K. Gultekin & A. Saranlı (2019). Feature detection performance-based benchmarking of motion deblurring methods: Applications to vision for legged robots. *Image and Vision Computing* Vol. 82. pp 26–38. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885619300083>
- Hazrat Ali, Md. Aizat K., Zhandos T., Anuar O. (2018) Vision-based robot manipulator for industrial applications. *Procedia Computer Science*. Vol.133 pp 25-212. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918309694>
- Jimenez, M., Ochoa, A., Escobedo D., Estrada, R., Martínez, E., Maciel, R., Larios, V. Recognition of Colors through Use of a Humanoid Nao Robot in Therapies for Children with Down Syndrome in a Smart City. *Research in Computing Science* 148(6), 2019
- Kole, S., Agarwal, C., Gupta, T., Singh S., (2015). SURF and RANSAC: A Conglomerative Approach to Object Recognition. *International Journal of computer Applications*. Vol. 109 No. 4, 7-9
- Lubna Shahid; Farrokh Janabi-Sharifi; Patrick Keenan (2019) A hybrid vision-based surface coverage measurement method for robotic inspection. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Vol. 57, Junio 2019, pp 138-145. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584517302417>
- Liaquat, S., & Khan, U. S. (2015). Object detection and depth estimation of real world objects using single camera. In *2015 Fourth International Conference on Aerospace Science and Engineering (ICASE)*, IEEE. (1-4).
- Magaña, J., Atoche, J., Cua, L., & Vela, A., (2016). Determinación del ángulo de rotación de objetos por visión artificial. *Revista Electrónica de Divulgación de la Investigación*, Vol. 21 No. 2, pp. 31-40.
- Magaña, J., Atoche, J., Gamboa, R., Luján, C., & Perales, J. (2018). Distancia a un Objeto con Visión Computacional. *Revista del Centro de Graduados E Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida*, Vol. 33 No. 74, pp. 41-45.
- Magaña, J., Atoche, J., Molina, J., Blanco, M., & Pérez, E., (2017). Estimación de la Distancia a un Objeto con Visión Computacional. *Ingeniería*, Vol. 21 No. 2, pp. 31-40.
- Maudet, S., Di Donato, A., & Campos, A. N. (2015). Algoritmo de identificación de etiquetas en botellas de vino. In *Argentine Symposium on Artificial Intelligence*, 73-79.
- Mendoza, C., Pedraza, J., Sotomayor, A., Rodriguez, J., Carrillo, R., & Aceves, M. (2017) Método para Autenticación Facial basado en SURF e implementado en dispositivos móviles. *La Mecatrónica en México (LMEM)* Vol. 6, No. 1, 21-35.
- Mondéjar, G. V. (31 de mayo de 2016). Contribuciones a la estimación de pose de cámara. Córdoba.
- Ordoñez, T. J. (2012). Recuperación de imágenes basadas en contenidos utilizando el método SURF. Cuenca: Tesis de Licenciatura.
- Panchal, P. M., Panchal, S. R., & Shah, S. K. (2013). A comparison of SIFT and SURF. *International Journal of Innovative, Research in Computer and Communication Engineering*, Vol.1 No. 2, 323-327.
- Prieto, C. E., Febres, J. E., Cerrolaza, M., & Miquelarena, R. (2010). Sistema de Visión Artificial para el Control de Movimiento de un Asistente Robótico Médico. *Mecánica Computacional*, Vol. 29, 6619-6629.
- Romero, C. A., & Cazorla, M. (2009). Comparativa de detectores de características visuales y su aplicación al SLAM. En *X Workshop de agentes físicos*, 55-62.
- Rong, D., Xie, L., & Ying, Y. (2019). Computer vision detection of foreign objects in walnuts using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 1001-1010.
- Sangeetha, G. R. Nishank Kumara; Hari P.R.; Sasikumar S. (2018) Implementation of a Stereo vision based system for visual feedback control of Robotic Arm for space manipulations. *Procedia Computer Science*. Vol. 133, 2018, pp 1066-1073. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918309761>

- William, Henry; Mark H. Jones Mahla Nejatia Matthew; J. Seabright; Jamie Bell; Nicky D. Penhalla; Josh J. Barnett; Mike D. Duke; Alistair J. Scarfe; Ho Seok Ahn; Jong Yoon Lim; Bruce A. MacDonald (2019) Robotic kiwifruit harversting using machine vision, convolutional neural networks, and robotic arms. Biosystems engeineering. Vol 181, May 2019, pp 140-156 Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751101830638X>
- Xiao Ling; Yuanshen Zhao; Liang Gong; Chengliang Liu; Tao Wang (2019) Dual-arm cooperation and implementing for robotic harvesting tomato using binocular Vision. Systems. Vol. 114, Abril 2019, pp. 134-143. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092188901830808X>
- Yuanshen Zhao; Liang Gong Yixiang; Huang Chengliang Liu (2016) A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. Agriculture Vol. 127, September 2016, Pages 311-323
- Zavala, J. G., Hernández, J. A., & Freyre, J. P. (2012). Implementación de un sistema de visión para control de un brazo robótico. Actas de la II Conferencia de Desarrollo Profesional en Ingeniería Mecatrónica 2012. México. Recuperado el 30 de Noviembre de 2015, de <http://pistaseducativas.itc.mx/wp-content/uploads/2012/10/7-ZAVALA-PE-99-87-101.pdf>