

Extracción de Características para Detección de Objetos en 3D y Generación de Trayectorias en Escenarios In-Door no Controlados

Alejandra Cruz, Maximiliano Valencia, Dora Almanza y Mario Ibarra

A. Cruz, M. Valencia, D. Almanza y M. Ibarra
Universidad Politécnica de Guanajuato. Miembros del CA de Robótica. Antiguo Camino a Pavieleros SN, La Joya,
36130 Silao, Guanajuato
Universidad de Guanajuato. Miembro del CA de Telemática, División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca.
Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km.3.5+1.8 Km.
acruz@upgto.edu.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) . Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago,
Guanajuato, 2014.

Abstract

In this paper we present a methodology for the extraction of features in 3D objects, which are manipulated by industrial robots. The relevance of this, is the extraction of primitives, the same that conform to continuous path (CP) first in 2D-space, considerate by example, a study of case of a pick a place operations (PPO), with restrictions in the space of manipulator, for translate to 3D-space, or work space of manipulator, but in an unstructured ambient. Also, present to design of a control for establish the communication between the manipulator and vision system by the port USB. All this, in the frame of collaborative works and bonding period of Academic bodies Robotics (Polytechnic University of Guanajuato) and Telematic (University of Guanajuato, Department Engineering Campus Irapuato-Salamanca).

5 Introducción

El área de robótica involucra tareas de percepción, interacción y manipulación de los objetos en el ambiente. En las últimas dos décadas, la robótica industrial, al integrar los sistemas de visión como una parte esencial de los sistemas de manufactura avanzada, ha permitido mantener los procesos de control de calidad en su nivel óptimo, cuando el robot se encuentra en las líneas de ensamble alimentándolo con el mínimo de información. A su vez, esta información visual es suficiente para lograr un proceso de manufactura flexible automática.

En este contexto, es primordial que el robot sepa exactamente como tomar los objetos a manipular, teniendo siempre una “posición visual” del objeto que le permita llevar a cabo el agarre de la pieza e interactuar con ella en el entorno dinámico del sistema [1] y [2]. La manipulación de objetos requiere, por lo tanto, generar un modelo del objeto que va a ser manipulado por el robot, para ello habrá que detectarlo con respecto de su entorno. Así, es posible revisar en las propuestas tradicionales cómo es empleado de manera típica el conocimiento a priori sobre el modelo de los objetos [3], [4] y [5].

Este tipo de propuestas restringe el agarre o “grasping” a objetos cuyos modelos son aproximaciones geométricas (de forma o apariencia visual) que proporcionan una ventaja conocida, como lo muestra Bohg et al., en [6].

Por otra parte, dado un medio ambiente (estructurado o no), donde un robot manipulador pueda determinar la ruta a seguir, en orden a su destino, la trayectoria será eficaz y eficiente, si ésta es independiente del escenario y de los propios movimientos del robot y se satisfacen las condiciones de restricción establecidas.

Dichas restricciones en un espacio real no estructurado son: no colisionar con obstáculos fijos o móviles, encontrar una trayectoria lo más largo posible de recorrer en el menor tiempo y con un eficiente uso de energía en un ambiente real.

Con el presente trabajo se pretende lograr que los algoritmos diseñados, en la detección de características para la detección del objeto, como para la planeación de la trayectoria, nos permitan procesar la información en tiempo real para generar la estrategia a seguir por el manipulador durante la realización de una tarea específica. Esto implica que, sean consideradas las restricciones holonómicas y cinemático-dinámicas del manipulador que permitan la interacción entre el manipulador, el objeto y su entorno.

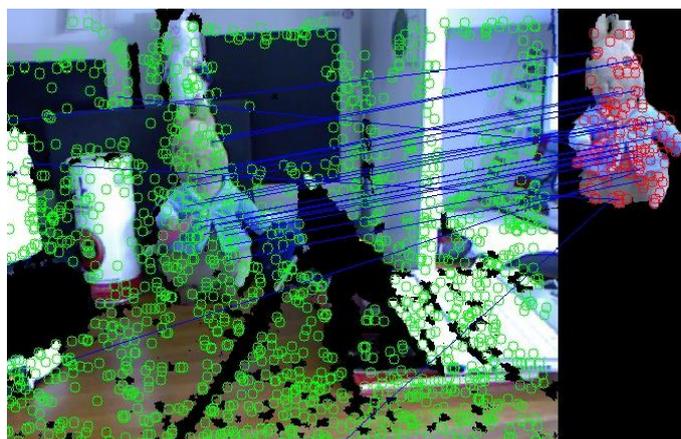
Objetos 3D. Detección e Identificación

La reconstrucción de objetos 3D (considerados o no a partir de una imagen 2D), es uno de los más importantes tópicos de la visión por computadora. La caracterización basada en aproximaciones 2D/3D son detectadas y descritas, permitiendo una validación geométrica y con ello el modelo que será reconocido. Dicha caracterización deberá suceder en un sistema de coordenadas referenciado para poder establecer una correspondencia entre el espacio imagen [7] y el espacio del medio ambiente [8].

Algunas de las técnicas empleadas en la identificación de objetos en ambientes controlados que se encuentran en un mismo plano bajo condiciones de textura o color similares, las podemos encontrar en [9], quienes a través del sensor kinect segmentan el objeto por medio de color y profundidad en la imagen. Trabajos similares pero que incluyen reconstrucción geométrica usando sensores activos los encontramos en [10], así como los principios de dicha técnica se observan en [11].

En Tombari and Di Stefano [12] encontramos una novedosa técnica para la detección de formas en espacios con un amplio grado de oclusión y ambiente “desordenado” a partir de la información obtenida de un sensor kinect. El método propuesto permite identificar características 3D a través de sus descriptores los cuales permiten alcanzar una correspondencia, por la evidencia acumulada de la presencia del objeto buscado, se lleva a cabo una verificación consensada de correspondencias dentro de un espacio 3D Hough. Por ello, se ha llevado a cabo una extensión de la Transformación de Hough (HT, por sus siglas en inglés) y un sistema de “voto” para las características de la imagen (como bordes y esquinas) en el espacio de parámetros de la forma que va a ser detectada. Por lo tanto, las correspondencias son agrupadas en pares y tripletas en orden al “voto” logrado, y son acomodadas respectivamente en un espacio 3D de Hough donde las primeras son los parámetros de rotación y los últimos son para la traslación. Por lo que, se considera una aproximación extendida de RGB-D (por ejemplo, de color y profundidad).

Figura 5 Técnica utilizada por Tombari (2012) basada en kd-trees y distancia Euclidiana y sus resultados



Generación de Trayectoria

La generación de trayectorias a diferencia del path-planning (planeación de trayectorias o caminos) son especificadas como aquellas rutas a seguir por el efector final o las articulaciones de un robot manipulador. Dos típicas tareas que se requieren para la planificación de movimientos en entornos tanto estructurados como no estructurados son definidos como: Operaciones de recoger y colocar (Pick and Place Operations PPO, por sus siglas en inglés), así como de trayectorias continuas (continuos path CP, por sus siglas en inglés). En décadas recientes las técnicas de detección de proximidad e intersección de espacios [13], la combinación de dichas técnicas a través de la Inteligencia Artificial como se puede observar en [14], permiten PPO se lleve a cabo en el espacio de articulaciones (ángulos, posiciones y velocidades angulares) sin considerar los obstáculos, verificando mediante visión si ocurre alguna colisión [15].

5.1 Metodología

En el caso particular de intersección de espacios, se puede llevar a cabo el modelamiento del entorno, del objeto a ser manipulado y del cuerpo del robot bajo el concepto de primitivas 3D, como se muestra en [16]. Bajo las premisas anteriores se considera primero el modelado de objetos para obtener la detección y caracterización del mismo.

La metodología propuesta por el diagrama a bloques de la fig. 4 inicia con la adquisición de la imagen en RGB-D y transformada a un espacio en CIELab, sea monocromática o color, la cual es sometida a un proceso de filtrado que modela de forma inicial los objetos contenidos en ella. Otras operaciones de procesamiento de imágenes de alto nivel como la segmentación de planos y la clasificación permiten completar la detección y reconocimiento del objeto. En las secciones siguientes se presentarán las técnicas y algoritmos más comunes utilizados para resolver cada una de estas etapas de la estrategia general propuesta.

Adquisición de la Imagen

El espacio de color CIELab es considerado como una “percepción uniforme”, la cual permite hacer una detección justa de las diferencias visuales, por lo que es ampliamente recomendado cuando se necesita una estandarización del color. Este espacio difumina el exceso de luz o saturación de la imagen permitiendo que a nivel algorítmico sea más fácil detectar objetos o formas que sobre una imagen RGB o de cualquier otro espacio clásico. De lo anterior, en [16] podemos encontrar una aplicación del sensor kinect para obtener mapas de profundidad que permitan una mejor detección (y posteriormente la segmentación) del objeto, el cual aun cuando es capturado en un espacio RGB, la imagen se recupera para obtener de la misma un mapa en CIELab, y evitar los problemas por los cambios de luminosidad.

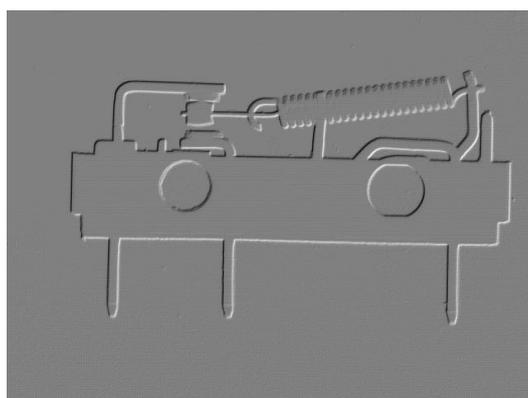
Filtrado de Datos

Existen varios tipos de filtrado que pueden ser aplicados a una imagen, los cuales se pueden generalizar en tres niveles.

El primero son procesos que involucran operaciones básicas como son los pre-filtrados, por ejemplo, dilataciones, erosiones, umbralización, por mencionar algunos, los cuales permiten reducir ruido, mejorar la forma y el contraste.

Los procesamientos de medio nivel pueden ser los filtros gaussianos, transformaciones lapalacianas o de Fourier, Gradiente, los cuales involucran entrada-salida de imágenes, permitiéndo detección de bordes, contornos y la identificación de objetos. Además, estos procesamientos permiten realizar tareas de segmentación, descripción, modelado y clasificación o reconocimiento de objetos. Finalmente, la metodología que se propone en la figura 5, se puede considerar como un procesamiento de alto nivel, ya que involucra “un ensamblaje sensible” de reconocimiento de objetos, análisis de imágenes para darle un sentido “cognitivo” como el asociado al de la visión humana.

Figura 5.1 Procesamiento de Mediano Nivel. Resultado de Imagen de Diferencias



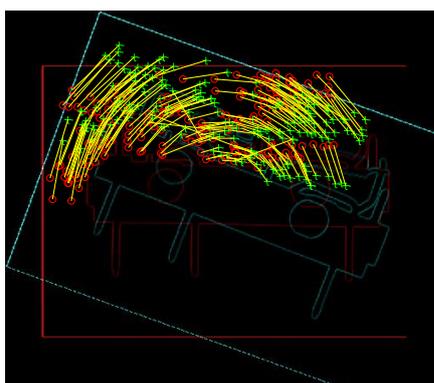
Detección de puntos y su correspondencia

En esta fase se pretende realizar una detección de puntos clave (keypoints) mediante los cuáles satisfagan principalmente algunas restricciones como son:

- un alto grado de repetitibilidad entre las diferentes vistas del objeto,
- un único sistema de coordenadas 3D, definido a través de las superficies vecinas de donde se extrajeron las características invariantes locales.

Un ejemplo de lo anterior lo podemos encontrar en los trabajos Cruz en [16] con una técnica de selección de puntos escalable de forma automática, lo que permitiría la correspondencia (o “matching”) de objetos a escalas diferentes o con rotaciones, las cuales incluso pueden ser desconocidas.

Figura 5.2 Detección de puntos de interés por medio de SURF (Sped Up RobustFeatures), y seguimiento de los mismos mediante un detector Harris de acuerdo a Cruz [16]



Segmentación de regiones

La segmentación de una imagen es típicamente usada para la localización de objetos y límites. Un descriptor de uso frecuente es la compactación de una región ($\text{perimetro}^2/\text{área}$), así como el radio circulante ($4*\pi*\text{área}/\text{perimetro}^2$). Existen descriptores también caracterizados con respecto a la textura (aproximaciones de estructura y espectrales), y aproximaciones estadísticas como son promedio de entropía, matrices de co-ocurrencia, Energía, por mencionar los de mayor interés.

Al llevar a cabo la segmentación de regiones, se debe considerar que la nube de puntos contiene los descriptores que caracterizan dichas regiones. Una solución a considerar puede ser, que cada segmento que se encuentra fuera de esa superficie sea considerado como no prioritario, o no considerado con respecto a los puntos sobresalientes. Utilizando los criterios de selección de las técnicas FPFH (Fast Point FeatureHistogram) y PFH (Point FeatureHistogram) los puntos de interés son aproximados mediante la media y la varianza a una forma Gaussiana.

Figura 5.3 Segmentación de espacios de una imagen de profundidad, mediante técnicas de profundidad y texturización



Clasificación de objeto y estimación de su pose

La clasificación del objeto así como una posible estimación de su posición, a través de la metodología propuesta, está basada en su geometría.

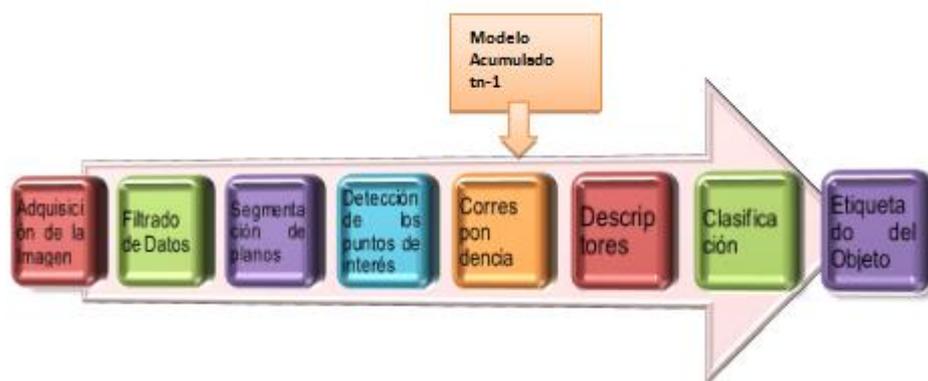
Esto nos permite trabajar con objetos de geometrías usuales en ambientes industriales, donde no se tiene una exhibición plena de la textura o color del objeto.

Profundizando un poco más, haremos la consideración que el reconocimiento de objetos basados en modelado geométrico es llevado a cabo, a través de técnicas o métodos de correspondencia local (mencionados en la sección anterior) más que de métodos globales.

Esto es, por que los métodos globales necesitan capturar cada una de las vistas geométricas del objeto, requiriendo de una pre-segmentación de objetos para reconocimiento.

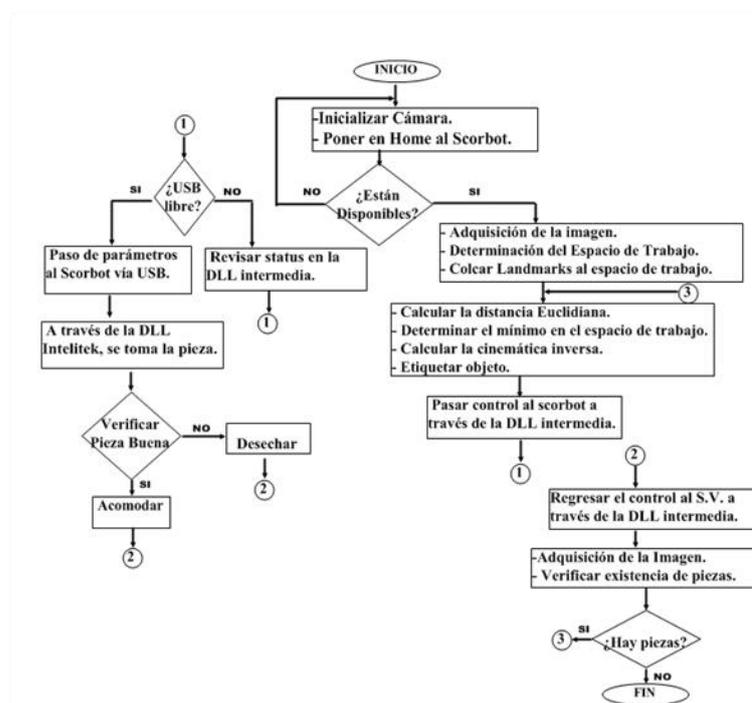
En contraste, cuando se lleva a cabo el proceso de reconocimiento mediante una correspondencia local, cada punto se correlaciona con el patrón encontrado en la escena completa.

Figura 5.4 Modelo propuesto para la detección, modelado y clasificación de objetos 3D

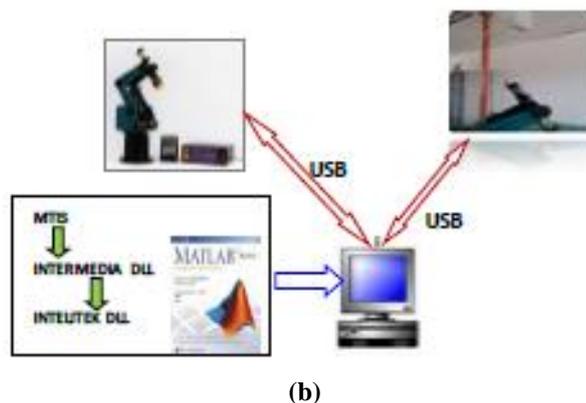


Una metodología de generación de trayectoria continua a través de la intersección de espacios, podemos ejemplificarla a través del estudio de caso en 2D para en una etapa posterior trasplantarlo a 3D de acuerdo al esquema que se propone en la figura 6.

Figura 5.5 Diagrama de flujo y bloques de la propuesta para la inspección de piezas y generación de trayectorias para un robot manipulador



(a)



En el diagrama de flujo (fig. 6a), se lleva a cabo una descripción de las principales funciones que se realizan, para llevar a cabo la adquisición y procesamiento de imagen, así como, la determinación del espacio de trabajo, ubicación de los centroides de las piezas a inspeccionar, además de determinar la pose del robot, de acuerdo a su cinemática inversa, de tal forma que, de acuerdo al cálculo de la distancia mínima euclidiana como se observa en ec.1, y la definición del espacio de trabajo con respecto a los objetos contenidos en el mismo, se llevará a cabo la acción de inspección de la pieza.

El tránsito de instrucciones se lleva básicamente a través de la DLL intermedia (ver esquema de la fig. 6b), la cual genera, la opción maestro-esclavo, donde, el esclavo puede ser, o el sistema de visión, o bien el manipulador.

Para el sistema de visión artificial se hace uso de una cámara web FUJ-cam 100 cuya resolución es de 352x288 (ver características en anexo A), una PC con sistema operativo Xp SP3, la MITS y el software Matlab® 2010.

Antes de adentrarse al entorno del desarrollo del Software, se debe tener establecido el siguiente parámetro: Distancia de trabajo = 110cm. Posteriormente se debe calibrar la cámara para determinar distancias y medidas reales de los objetos visualizados.

5.2 Resultados

Estudio de caso para la generación de trayectoria continua

A través del estudio de caso que a continuación se presenta, basado en características elementales como son centroides (primitiva principal) y caracterización por color, se desarrollará una técnica de generación de trayectorias, considerando distancia euclidiana mínima (ec. 1) propuesta por Cruz en [16]:

$$d_{euc} = \| p - q \|_2 = \left[\sum_{i=1}^n (p_i - q_{(x,y)})^2 \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Donde:

(q_x, q_y) = Coordenada cartesiana del objeto en R^2 .

(p_x, p_y) = Coordenada cartesiana de la base en R^2 .

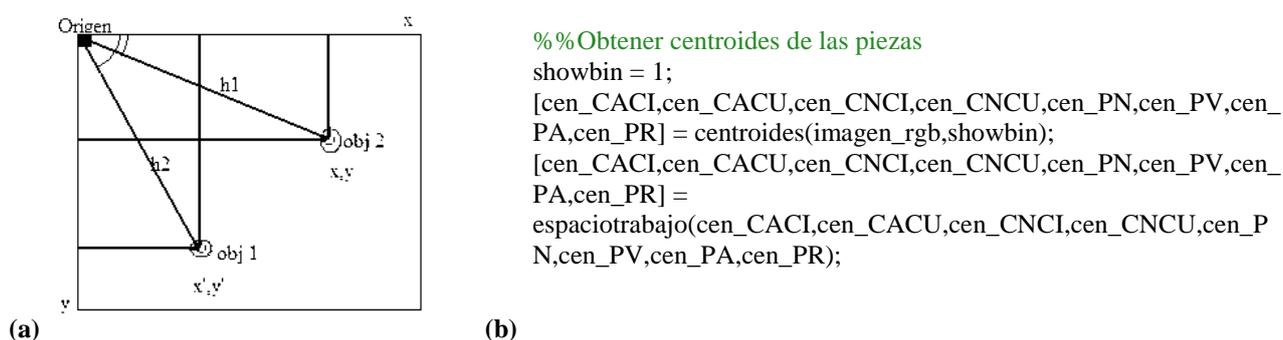
El estudio de caso, consiste en implementar un sistema que permita identificar diferentes tipos de cajas y piezas para después realizar y trazar las trayectorias necesarias para el empaquetamiento de los productos. Los cuales se deberán empaquetar de la siguiente manera:

Las piezas rojas en cajas amarillas cuadradas, las piezas azules en cajas amarillas circulares, las piezas negras en cajas negras cuadradas, las piezas verdes en cajas negras circulares.

Deberá especificar la ruta a seguir de acuerdo al color de la pieza, deberá especificar la distancia recorrida en metros por el manipulador, deberá desechar las piezas o cajas que no se encuentren dentro de su espacio de trabajo, las piezas serán colocadas por el usuario, a una distancia entre cada una de ellas al menos igual a la del espacio del manipulador, considerando de manea vertical u horizontal, de igual forma las cajas del empaque, se maneja un total de 6 piezas de colores diferentes.

Considerando un manipulador industrial en el centro de operación con un espacio de trabajo menor a 270° , además de un radio no mayor a los 2 metros.

Figura 5.6 a) Representación de las coordenadas de los objetos con base en su primitiva característica. b) Porción de código para la generación de subrutinas donde se identifican, centroides y el espacio de trabajo



Lo primero que realiza el programa es el cálculo de los centroides, de las piezas encontradas dentro del área de trabajo del robot.

Figura 5.7 a) Como se puede apreciar, el sistema de visión ignorará cualquier pieza colocada en el tercer cuadrante, ya que esta fuera del área de trabajo. b) Se identifican los centroides de las piezas

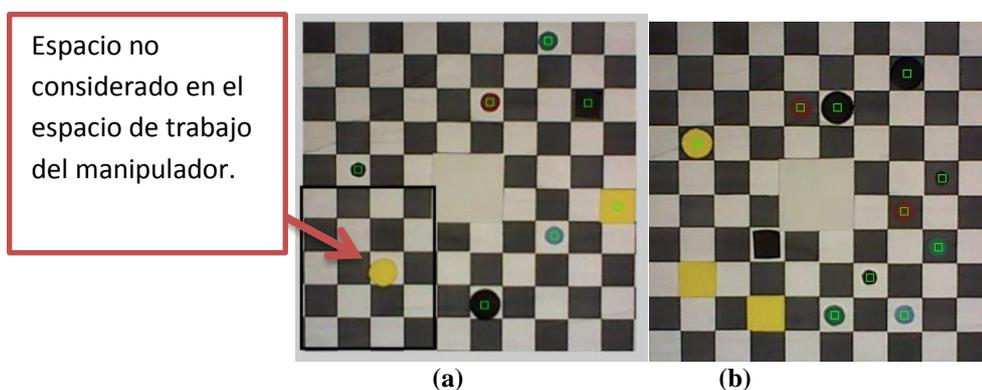


Figura 5.8 Código para la calibración y generación de los puntos que serán enviados al robot para la realización de la trayectoria

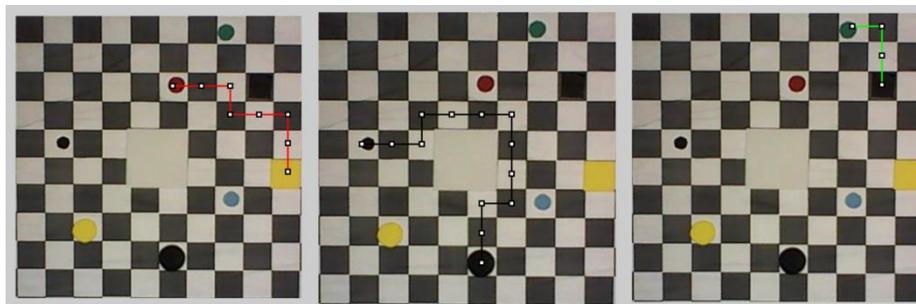
```

d1 = 0;
d2 = 0;
if selr~=0
for n=1:nr
for m=1:size(traylr,1)-1
[punto1,punto2] = centroidescuadros(traylr(m,1),traylr(m,2));
[punto3,punto4] =centroidescuadros(traylr(m+1,1),traylr(m+1,2));
%Calibración
punto1c = ((punto1*0.5)/37)-2.5;
punto2c = 2.5-((punto2*0.5)/37);
punto3c = ((punto3*0.5)/37)-2.5;
punto4c = 2.5-((punto4*0.5)/37);
tray1 = [punto1c,punto2c];
tray2 = [punto3c,punto4c];
display(tray1);
display(tray2);
dx = abs(punto1-punto3);
dy = abs(punto2-punto4);
dx = ((dx*0.5)/37);
dy = ((dy*0.5)/37);
d1 = d1+dx+dy;
end
end
end

```

De acuerdo con lo presentado en las fig. 8 y 9, obtenemos los siguientes resultados:

Figura 5.9 Generación de las trayectorias continuas. Obsérvese que las trayectorias no se cruzan, ni colisionan



El programa de generación de trayectoria continua (CP), inicia obteniendo los centroides de los objetos que se encuentren en la área de trabajo, compara si elcentroide de la caja está a la derecha o a la izquierda de la pieza, para, de acuerdo a la información obtenida, generar las trayectorias iniciando hacia la derecha o izquierda según resulte la condición de posición, checando que no haya ningún obstáculo y si lo hay se moverá hacia abajo o hacia arriba dependiendo de cuál sea el camino más corto, esto se logró generando dos trayectorias para la misma pieza la segunda se tiene en caso de que la primera no sea realizada exitosamente, cada vez que la trayectoria avanza se coloca un 1 en el tablero en la posición para con esto poder restringir el paso por ahí de nuevo.

5.3 Conclusiones

En el marco de los trabajos colaborativos de los Cuerpos Académicos de Robótica de la Universidad politécnica de Guanajuato (UPGto) y el Cuerpo Académico de Telemática de la Universidad de Guanajuato (Departamento de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, DICIS) se han emprendido una serie de proyectos, dentro de los cuáles se encuentra el proyecto "Localización de objetos usando estereovisión para la interacción de sistemas autónomos", del cuál se desprende parte de este trabajo, el cual es básicamente la detección y caracterización de objetos en 3D, pero, con la orientación hacia la robótica industrial. De lo cual, en lo expuesto en este artículo, se llevó a cabo una propuesta metodológica y los resultados de la misma, para la extracción de características de un objeto 3D, que permitan, en una etapa posterior, el modelado y clasificación del mismo, así como un breve estudio de caso para la generación de rutas continuas (CP por sus siglas en inglés), la cual permitirá movimientos libres de colisión del efector final, así como de la evasión de obstáculos dentro de un espacio de trabajo considerado como no estructurado, pero si controlado. Esta última se lleva minimizando las distancias euclidianas existentes, entre el origen y el objeto, así como, entre el objeto y su posición final, lograndose por lo tanto una PPO bien definida. Esto último, puede ser "comunicado" al manipulador a través de las DLL, que permiten la interfaz, entre el sistema de visión, el controlador y el robot mediante el puerto USB.

Referencias

Almanza, D. L. Luna F., Hernández, D. I., Perez, E. y Ibarra., M. A. "Implementación de la estrategia de juego Tic-Tac-Toe para la interacción con un brazo robótico", Research in Computing Science, CIC- IPN, Vol. 55, ISSN: 1870-4069, pp. 271-281. 2011.

J. Kuehnle, A. Verl, Z. Xue, S. Ruehl, M. Zöllner, R. Dillmann, T. Grundmann, R. Eidenberg, R. Zöllner, "6D object localization and obstacle detection for collision-free manipulation", Proc. ICAR, 2009

Hernández, J. J., Quintanilla A. L., López, J. L., Range, J., Ibarra, M. A., Almanza, D. L. "Detecting Objects using Color and Depth Segmentation with kinect Sensor" 2012 Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science, Elsevier Ltd. Mayo 2012, Guadalajara, México. ISSN: 2212-0173., pp. 196-204

Sun, Xu, Bradski, Savarese, "Depth-Encoded Hough Voting for Joint Object Detection and Shape Recovery", Proc. ECCV, 2010

Cruz Bernal, A. Granados Alejo, V. "*reconocimiento de landmarks en escenarios mediante software industrial de visión*", Congreso Internacional de Investigación e Innovación Multidisciplinario. ISBN:978-607-95635-3-0.

J. Bohg, M. Jhonson-roberson, B. León, J. Filip, X. Gratal, N. Bergstöm, D. Kragic, A. Morales, "Mind the Grap-Robotic Grasping under Incomplete Observation", proc. ICRA, 2011

Giles, B., and Huges, H., "Three-dimensional invariants and their application to object recognition" Signal Processings. Vol 45, chap. 1, pp 1-22, 1995

Ibarra, M. A., Almanza, D. L., Devy, M. Boizard J. L. and Fourniols J. Y. "Stereo vision algorithm implementation in FPGA using census transform for effective resource optimization", 12th EUROMICRO Conference on Digital System Design: Architecture, Methods and Tools, DSD 2009, Patras, Greece. IEEE Computer Society, Los Alamitos, California, U. S. A., August 2009. ISBN: 978-0-7695-3782-5, pp. 799-805. DOI: 10.1109/DSD.2009.159

Hernández, J. J., Quintanilla A. L., López, J. L., Range, J., Ibarra, M. A., Almanza, D. L. "Detecting Objects using Color and Depth Segmentation with kinect Sensor" 2012 Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science, Elsevier Ltd. Mayo 2012, Guadalajara, México. ISSN: 2212-0173., pp. 196-204.

Almanza, D. L. and Ibarra, M. "3D visual information for dynamic object detection and tracking during robot mobile navigation" Recent Advances in Mobile Robotics (ed. Dr. Andon Venelinov Topalov), InTech. December 2011. ISBN: 978-953-307-909-7. Chap. 1, pp. 3-24. <http://www.intechopen.com>.

A. Ückermann, R. Haschke, and H. Ritter, "Real-Time 3D Segmentation of Cluttered Scenes for Robot Grasping", presented at the IEEE-RAS International Conference Humanoid Robots (Humanoids 2012), Osaka, Japan, 2012

Tombari, F. and Di Stefano, L. "Hough Voting for 3D Object Recognition under Occlusion and Clutter", Transactions on Computer Vision and Applications (IPSA) 2012. Vol. 4, pp. 1-10. DOI: 10.2197/ipsjtcv.4.1.

J. A. Soto, J. E. Vargas, J. C. Pedraza, "Generación de Trayectorias por Visión para un Robot Manipulador de 5 Grados de Libertad", presented at the 4th Congress of Mechatronics, Coahuila, México, 2006.

[14] E. F. Cárdenas, "*Una aplicación computacional de generación de trayectorias y evasión de obstáculos para distintos robots manipuladores con análisis en un sistema real*", M.S. thesis Fac. Ing., U.N. de Colombia, Bogotá Colombia, 2009

A. Cruz-Bernal y G. Moreno-Aguilar, "Control de un Manipulador Industrial Scorbote Er-4u mediante un Sistema de Visión Vía USB", presentado en el Congreso Mexicano de Robótica (AMRob), 2012, Puebla, México.

A. Cruz-Bernal, D.L. Almanza-Ojeda y M.A. Ibarra-Manzano, "Detección de características para el modelo de objetos en 3D" Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2014", Cortázar, Guanajuato, México, 2014 ISBN: 978-607-95635

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por PROMEP, como parte del proyecto: PROMEP/103.5/12/8045: "Localización de objetos usando estereovisión para la interacción de sistemas autónomos"