

Sistema para clasificación de objetos mediante robot paralelo delta

RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo*†, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUÍZ, Ricardo y DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto

Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes. Av. Universidad #1001, La Estación Rincón, El Potrero, 20400 Rincón de Romos, Ags

Recibido Octubre 13, 2017; Aceptado Diciembre 6, 2017

Resumen

El presente trabajo trata del desarrollo de un robot paralelo en configuración delta y un sistema de visión por computadora, a fin de cubrir la tarea de clasificación de piezas por color para su posterior posicionamiento en los depósitos respectivos. Se exponen las causas que llevaron al desarrollo de tal aplicación como complemento a la formación de los futuros Ingenieros en la Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes (UTNA). Asimismo se explica a detalle el proceso que conllevó el desarrollo y puesta en marcha de ambos sistemas por separado, a partir de la integración de los algoritmos computacionales correspondientes, con el propósito de asegurar inicialmente la funcionalidad en particular y finalmente sincronizar la acción de ambos sistemas por medio de un sistema de transporte. Se exponen los resultados logrados a partir de la experimentación con el sistema integrado de manera total. Las conclusiones al final del documento describen la importancia de la aplicación desarrollada, así como las recomendaciones para futuros trabajos.

Robot paralelo delta, sistema de visión por computadora, clasificación de piezas por color, posicionamiento de objetos, integración de un sistema mecatrónico

Abstract

The present work exposes the development of a parallel robot in delta configuration and a computer vision system, in order to cover the task of classifying pieces by color for later positioning in the respective deposits. The causes that led to the development of such an application as a complement to the training of future Engineers at the Technological University of Aguascalientes (UTNA) were discussed. It also explains in detail the process that drove to the development and implementation of both systems separately, from the integration of corresponding computational algorithms, with the purpose of initially ensuring the particular functionality and finally synchronize the action of both systems by means of a transport system. The results obtained from the experimentation with the integrated system are presented in full. The conclusions at the end of the document describe the importance of the application developed, as well as the recommendations for future work.

Parallel delta robot, computer vision system, classification of parts by color, positioning of objects, integration of a mechatronic system

Citación: RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUÍZ, Ricardo y DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto. Sistema para clasificación de objetos mediante robot paralelo delta. Revista del Desarrollo Tecnológico 2017, 1-4: 12-19

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: martin.rodriguez@utna.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La inspección en la industria surge de la necesidad de adoptar una medida que posibilite el aseguramiento de las especificaciones sobre una pieza, a fin de que la misma cumpla con la función para la cual a sido creada (Minetola, 2015).

Por tanto, la automatización del proceso de inspección, provee también la capacidad de llevar a cabo la clasificación de partes, a través de su separación básica de acuerdo a las categorías necesarias para la operación en contexto. Así, la clasificación y la inspección pueden ser trabajar de manera estrecha empleando los mismos medios de acción (Groover, 2007).

La inserción de unidades robóticas para el cumplimiento de las tareas de inspección y clasificación en combinación con el uso de herramientas computacionales, brindan la posibilidad de reducir el tiempo de ejecución, aumentar la flexibilidad y la posibilidad de tener presencia en más puntos del proceso productivo que le requiera (Davis, 2006) (Ayub, 2014) (Halfawy, 2014).

Problema

Aguascalientes ha tenido una expansión industrial sin precedentes entre 2010 y 2016, muchas de estas empresas de capital extranjero en su mayoría, han introducido robots para solventar tiempos de proceso y entrega de producción.

Es por tanto, que contar con personal cada vez más preparado en las áreas que atañen a robótica, se ha vuelto una necesidad crítica, y con esto poseer conocimiento extendido sobre la constitución, manipulación y mantenimiento de un número cada vez mayor de configuraciones de unidades robotizadas, entre estos el paralelo delta, destinado a tareas de clasificación y posicionamiento de objetos con gran precisión y altas velocidades.

Justificación

El desarrollo de un sistema de pruebas para la manipulación de un robot paralelo delta, puede ser una alternativa para analizar desde los aspectos más básicos de su constitución, control y funcionamiento, hasta la inserción del mismo en el desempeño de la tarea específica para la cual es comúnmente utilizado en la industria: clasificación y posicionamiento.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar e integrar un sistema de pruebas para la clasificación y posicionamiento de piezas según sus características, a partir de la sincronización de funciones de un robot paralelo delta y un sistema de visión.

Objetivos específicos

- a) Desarrollar un algoritmo en LabVIEW para el control de posicionamiento de un robot paralelo delta.
- b) Integrar un sistema de visión para la clasificación de piezas a partir de su color.
- c) Sincronizar las funciones del sistema de visión y del robot paralelo delta en una tarea de clasificación y posicionamiento de piezas.

Implementación del robot paralelo delta

El robot paralelo en configuración delta consta de una estructura mecánica basada en cadenas cinemáticas cerradas, unidas en un extremo a una base fija, donde se colocan los motores, mientras al otro lado conectan con el efector final (Peña, 2011) mediante juntas rotatorias o universales. Tal estructura atribuye por ventajas: rigidez y estabilidad, alta precisión en posicionamiento y orientación del efector, y posibilidad de operación a altas velocidades (Staicu, 2003).

Es así, que el desarrollo del prototipo requerido parte de un diseño preestablecido y de libre acceso, mismo que fue creado empleando la técnica de impresión por adición de material (3D), para luego adquirir el material comercial necesario, y concluir en la integración mecánica del robot paralelo delta.



Figura 1 Robot paralelo delta implementado

Posteriormente y con el fin de comprender la secuencia en la cual el mecanismo aprovechará su condición de movimiento, se estableció la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso específicos para el robot en configuración paralelo delta. Es así, que a partir del movimiento de variables articulares se obtiene una posición y orientación del efector final del robot (cinemática directa) o visversa (cinemática inversa) (Vázquez, 2009).

En este punto, fue necesario llevar la gestión del movimiento a la realidad a través de un algoritmo computacional que permite, a partir de la solicitud de una posición o movimiento articular específico, la activación de cada motor utilizado mediante un controlador de proceso (Riaño, 2014). Tal algoritmo es programado en el software LabVIEW a partir de la solución de los problemas cinemáticos directo e inverso y determinará la cantidad de voltaje destinada para cada motor.

Sin embargo, el dato generado hasta esta etapa únicamente es una variable matemática previamente tratada por el algoritmo de LabVIEW. Por tanto, es requerido un controlador que convierta el dato numérico generado, en una señal eléctrica de utilidad para la excitación de cada motor del robot. El controlador utilizado es una tarjeta Arduino UNO para el cual ha sido desarrollado un algoritmo que mediante su comunicación con la computadora, permita la conversión de los datos numéricos derivados del tratamiento en LabVIEW y la generación de la señal eléctrica correspondiente para ser destinada hacia los motores utilizados.

La integración entre el mecanismo y su medio de control propicia el cumplimiento del primer punto de esta aplicación, sin embargo, es necesario valorar el éxito de tal conjunción. Por tanto, una vez determinado el algoritmo para el movimiento del robot mediante LabVIEW, es posible la solicitud de posiciones que permitan constatar el adecuado funcionamiento del prototipo. Siendo preciso otorgar un mayor grado de vista al algoritmo para el control del robot, por lo cual el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario, brinda al operador una serie de tareas básicas para la manipulación directa del robot.

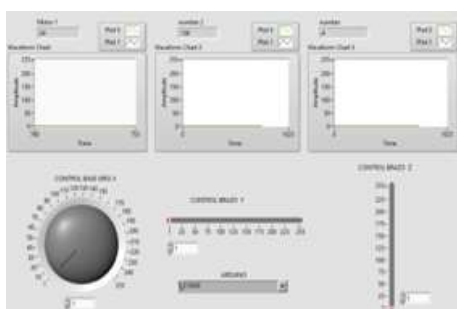


Figura 2 Interfaz para control del robot

Desarrollo del sistema de visión para identificación de color

Un sistema de inspección por computadora busca aumentar la aplicación de la visión humana, a través del empleo de medios electrónicos para la obtención de imágenes de un objeto de estudio (Patel, 2012). Lo que permite extraer atributos bajo los cuales pueda darse una clasificación entre una variedad que posea características en común, importantes para un objetivo dado (Gomes, 2012).

El sistema de visión implementado consta principalmente de tres elementos básicos: cámara, software y hardware. Siendo la cámara el elemento central cuya función es la captura de una imagen como una matriz de elementos fotosensibles (píxeles) cuya obturación es proporcional a la cantidad de luz incidida. El hardware y el software trabajan en conjunto para la adquisición de las imágenes, la extracción de características de interés, y las tareas de clasificación y control de sistema de inspección. Tal acción es similar a la realizada por el cerebro humano (Zhang, 2014).

En la presente aplicación se emplea una webcam para la adquisición de las imágenes necesarias en conjunto con un algoritmo desarrollado en el software LabVIEW para el proceso de clasificación; durante la primera etapa de esta aplicación la característica en estudio es el color.

Las etapas de procesamiento que el algoritmo desarrollado realiza sobre la imagen detectada, posterior a su adquisición son: la segmentación, el etiquetado y el reconocimiento del color por medio del índice de tonalidad y su comparación con el espectro RGB.

La segmentación se encarga de dividir la imagen de análisis en diversas regiones resaltando el objeto de interés, del fondo que lo contiene (Brosnan, 2004). Por su parte, el etiquetado permite la declaración de categorías dentro del objeto, discerniendo respecto a la variación de la característica de estudio (Du, Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation, 2004). En este caso, sin contemplar el fondo, se habla de tres categorías, cada una correspondiente a un color en específico: rojo, verde o azul.

Durante la experimentación, se realizan diversas pruebas en un espacio fijo con un fondo en color negro uniforme, en las cuales a partir de la captura de la imagen y a través del uso de software es posible la tarea de procesamiento: la diferenciación de colores; analizando únicamente los colores primarios.



Figura 3 Montaje de la cámara

Es necesario mencionar la utilización de un método de clasificación en el cual el algoritmo se basa en condiciones programadas y de conocimiento previo de las clases manejadas para llevar a cabo el discernimiento del color de objeto analizado (Du, Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review, 2006).

Es así, que el reconocimiento del color del objeto en cuestión, parte de un estándar programado en el mismo algoritmo que permite identificar el color detectado a partir de su comparación con el espectro RGB. En cuya escala habrá una gran predominancia de la cada componente principal según sea el caso.

Después de realizada la identificación de color y a modo de constatación del correcto funcionamiento del algoritmo para el proceso, se emiten tres señales eléctricas digitales distintas, cada una alusiva al color detectado. Esto con la ayuda de LEDs conectados a terminales de salida de una tarjeta Arduino UNO en comunicación serial con una interfaz grafica de usuario creada en LabVIEW, que otorga un aspecto más visual al proceso de identificación que la tradicional ventana de comandos.



Figura 4 Interfaz para detección de colores

Integración entre el robot delta y el sistema de visión para clasificación de objetos

Realizadas las pruebas por separado que confirman el funcionamiento adecuado tanto para el robot paralelo delta utilizado, así como del sistema de visión desarrollado, es posible continuar con la validación de la funcionalidad de ambos trabajando en conjunto.

Así a fin de lograr lo anteriormente planteado, es necesario relacionar la función de ambos sistemas por medio de un sistema de transporte en cuyo extremo sean colocados los objetos a clasificar sin un orden establecido, esto con el objetivo de que la clasificación se realice de la manera más autónoma posible y pese a los cambios de condiciones de entrada.

En el otro extremo de la banda estan colocados el robot y la cámara; los objetos a clasificar son transportados y al llegar a un punto especificado, éstos son detectados por un sensor mismo que envía al elemento de control la señal para que la banda detenga su movimiento. En ese momento el algoritmo de identificación de color realiza su función, validando el color, por medio de la cámara de la pieza frente al sensor. Se cuenta con tres depósitos para la clasificación por tanto, y de acuerdo al color detectado, el robot ejecuta una rutina previamente programada para guiar al objeto desde la banda hacia el depósito correspondiente.

Al haber realizado alguna de las tres rutinas de posicionamiento según sea el color detectado, el robot regresa a una posición de espera (HOME), para que en caso de realizar una nueva detección pueda operar de forma instantánea.

Resultados

El funcionamiento descrito por el robot paralelo delta implementado asegura con precisión el alcance de la coordenada cartesiana o el movimiento directo sobre cada articulación, solicitados por el usuario, siempre y cuando las mismas se estén dentro del área de trabajo del robot.

La limitación generada hasta el momento es debida al tipo de motor utilizado: servomotor. Ya que para la solicitud de un punto específico, este tipo de motor únicamente es capaz de recibir datos enteros, variables entre 0 y 180°.

Por lo que la aplicación de la cinemática directa desde el algoritmo de LabVIEW, realiza el redondeo del dato solicitado respecto al movimiento de cualquier articulación.

En el caso de la solución de la cinemática inversa, el algoritmo busca aproximar el punto cartesiano especificado por medio de la adopción de posiciones que impliquen meramente ángulos enteros. Para lo cual se desarrolla la solución del problema cinemático y las cantidades determinadas para el movimiento de cada motor al final de la ejecución del algoritmo son redondeadas al valor entero próximo.

En ambos casos, la generación de los datos para el movimiento de cada motor, y por ende, de cada articulación se aseguró por medio de comunicación serial entre la computadora donde se ejecutan los algoritmos de solución de los problemas cinemáticos y la tarjeta controladora que convierte los datos numéricos dados en las señales eléctricas necesarias para el funcionamiento de cada motor.

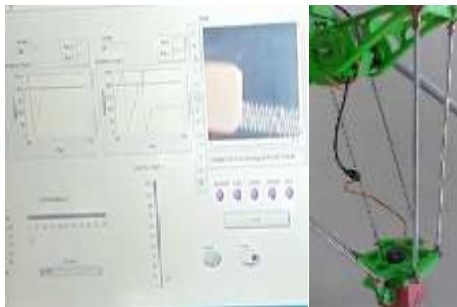


Figura 5 Interacción robot-sistema de visión

El sistema de visión desarrolla la función de identificación de color a través del algoritmo desarrollado en LabVIEW, a partir de la captura de la imagen que contiene al objeto de estudio.

La extracción de las tonalidades de cada objeto detectado y su comparación con el espectro RGB, permite determinar específicamente el color del mismo debido a la predominancia de su componente principal; generando la señal correspondiente al color detectado, con lo que se pretende sea activada la rutina correspondiente para que el robot tome la pieza en cuestión y la deposite en el lugar que le corresponde.

Dentro de la interfaz desarrollada el usuario recibe la retroalimentación del color detectado y, por ende, de la activación de la rutina específica para el robot. En caso de no estar presente algún objeto, el robot permanece en su posición de espera.

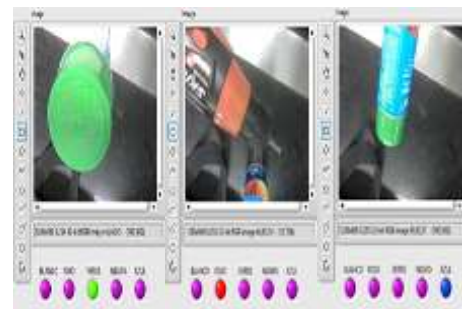


Figura 6 Pruebas de detección de color

La efectividad en la detección de colores del sistema de visión implementado, queda asentado en la siguiente tabla para un total de 50 pruebas realizadas para cada color.

Color	Pruebas realizadas	Pruebas acertadas	Porcentaje de efectividad
Rojo	50	45	90%
Verde	50	38	76%
Azul	50	41	82%

Tabla 1 Efectividad de la detección de color

Conclusiones

La implementación de un robot paralelo delta significó, sin lugar a dudas, un reto puesto que no únicamente se perseguía realizar un control en el posicionamiento del efector final por puntos previamente establecidos y programados en el controlador, sino que la motivación iba más allá, al resolver los problemas cinemáticos que permitieran el alcance de prácticamente cualquier posición dentro del área de trabajo del mismo.

Esto puede percibirse de manera real con gran proximidad aún pese a trabajar únicamente con valores enteros para la variación de posición de cada uno de los motores utilizados (cinemática directa) o, en su caso, del efector final (cinemática inversa). Tal logro brindó una selección más precisa de los puntos que forman cada trayectoria para la ejecución de la clasificación de piezas según su color.

Respecto a la funcionalidad del sistema de visión ésta resulta adecuada, sin embargo, como se pudo constatar en los resultados experimentales, una cercanía entre los espectros de los colores azul y verde, entre 450-495 nm y 495-570 nm respectivamente, puede significar un margen de incertidumbre si no se define de forma adecuada la media de la tonalidad que define al color en cuestión. En el caso del color rojo, no es muy marcado tal efecto debido a que su espectro cubre valores de 620-750 nm, considerándose alejado de los colores anteriores.

El efecto anteriormente descrito llevaba al robot implementado a realizar el posicionamiento de piezas de un primer color en la ubicación correspondiente a otro color, en 24% de las pruebas para el color verde y en 18% para el color azul, mientras para el color rojo la situación se presentó 10% de las ocasiones, durante la ejecución de la tarea de clasificación.

Cabe mencionar que en este análisis no se contempló el factor iluminación dentro del sistema de visión, por tanto, este podría significar la escalabilidad del presente trabajo hacia asegurar la funcionalidad del sistema pese a la modificación a las condiciones de iluminación del medio en que se realicen las pruebas, mediante el confinamiento del sistema de visión a fin de preservar en todo momento resultados certeros.

Referencias

- Ayub, M. (2014). In-line inspection of roundness using machine vision. *Procedia Technology*, 808-817.
- Brosnan, T. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision — a review. *Journal of Food Engineering*, 3-16.
- Davis, T. (2006). Flexible in-process inspection through direct control. *Measurement*, 57-72.
- Du, C.-J. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 230-249.
- Du, C.-J. (2006). Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering*, 39-55.
- Gomes, J. (2012). Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review. *European Food Research and Technology*, 989-1000.
- Halfawy, M. (2014). Optical flow techniques for estimation of camera motion parameters in sewer closed circuit television inspection videos. *Automation in Construction*, 39-45.
- Minetola, P. (2015). A customer oriented methodology for reverse engineering software. *Computers in Industry*, 54-71.

Patel, K. (2012). Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *Journal of Food Science and Technology*, 123-141.

Peña, C. (2011). Optimización dimensional de un robot paralelo tipo delta basado en el menor consumo de energía. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 73-88.

Riaño, C. (2014). Desarrollo de un robot delta paralelo tipo Keops con estructura modificable. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 99-106.

Staicu, S. (2003). Dynamic analysis of Clavel's Delta parallel. *International Conference on Robotics & Automation*, 4116-4121.

Vázquez, J. (2009). Cinemática Inversa y Análisis Jacobiano del Robot Paralelo Hexa. *Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 800-810.

Zhang, B. (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality of fruits and vegetables: A review. *Food Research International*, 326-343.