

Prototipo de Robot Paralelo Delta para fortalecer el proceso educativo a nivel superior

Prototype Delta Parallel Robot to strengthen the educational process at the higher level

José Serracin¹, Iveth Moreno², Tirone Vásquez³, Isaac Bonilla⁴

^{1,2,3,4} Centro Regional de Chiriquí, Universidad Tecnológica de Panamá

¹jose.serracin@utp.ac.pa, ²iveth.moreno@utp.ac.pa, ³tirone26@hotmail.com, ⁴ibonilla@promed-sa.com

Resumen– En este artículo se presenta el diseño, construcción e implementación del prototipo de un robot paralelo industrial tipo delta, como herramienta educativa que fortalecerá el proceso de enseñanza aprendizaje en cursos universitarios vinculados a especialidades como la informática, el control, la automatización, la electrónica, y la electricidad, entre otras.

Palabras claves– Automatización, comunicación, control, diseño, Mint Workbench, Robot paralelo.

Abstract– This article presents the design, construction and implementation of the prototype of a parallel industrial type delta robot, as an educational tool that will strengthen the learning process in university courses related to specialties such as computer science, control, automation, electronics, and electricity, among others.

Keywords– Automation, communication, control, design, Mint Workbench, Parallel Robot.

1. Introducción

Los robots paralelos tipo Delta son muy utilizados en los procesos industriales de selección y clasificación de productos, dada su rapidez, precisión y manejo de carga: características principales de este tipo de robot [1]. Un robot Delta está compuesto por una base fija y otra móvil, unidas entre sí por un conjunto de tres brazos articulados y actuadas cada una por un servomotor, dando como resultado que el efector final compuesto por la base móvil, pueda posicionarse y orientarse a discreción del control que se realice sobre el robot.

El principal objetivo del trabajo que se realizó fue diseñar y construir un prototipo de robot de estructura paralela con configuración Delta, el cual sirva como equipo de laboratorio para diversos cursos universitarios como: Introducción a la Robótica Industrial, Diseño Mecánico, Teoría de Control, Computadores Digitales, Ingeniería de Software, Microprocesadores, Programación, etc. De esta forma el docente y el estudiante hacen uso del robot como una herramienta que facilita el proceso enseñanza-aprendizaje en las áreas de ciencia y tecnología. Además, de la utilización

que se le puede dar en el futuro dentro del área de la investigación.

En este artículo se presenta de forma breve el diseño, ensamblaje e implementación del prototipo de un robot paralelo tipo delta como herramienta en el proceso educativo. El artículo se presenta de la siguiente manera: en la sección 2 antecedentes; en la sección 3 diseño y construcción de un robot paralelo Delta; en la sección 4 el sistema eléctrico de potencia y control; en la sección 5 programación para el control del robot; en la sección 6 las aplicaciones; y en la sección 7 las conclusiones.

2. Antecedentes

El conocimiento de los robots paralelos se remonta a 1931 con el diseño realizado por James E. Gwinnett, evolucionando en el tiempo: pasando por el robot industrial paralelo construido por Willard Pollard, la plataforma paralela inventada por el Dr. Eric Gough en 1940, el simulador de vuelos de Stewart en 1965, el simulador de movimiento basado en un hexápodo de Cappel en 1967, en 1978 Hunt destacó la importancia de un estudio más detallado de las ventajas en cuando a

rigidez y precisión de los robots paralelos, McCallion y Pham en 1979 propusieron usar la plataforma Stewart como un manipulador paralelo debido a que su efector final es mucho menos sensible a errores, y en 1990 cuando Raymond Clavel modifica al manipulador Stewart y surge el manipulador Delta de tres y cuatro grados de libertad [2]. Desde entonces, este tipo de robot ha adquirido un interés destacado entre los estudiosos de la robótica y en la industria.

Un robot Delta es un robot paralelo que consta de una plataforma fija y una plataforma móvil, conectadas por tres cadenas cinemáticas [3]. En la base fija sostiene tres articulaciones mecánicas, los ejes de estas articulaciones forman un triángulo equilátero plano. La plataforma está conectada con cada unidad por dos enlaces formando un paralelogramo. El objetivo de usar los paralelogramos es restringir completamente la orientación de la plataforma móvil, en consecuencia el efector final sólo tendrá tres movimientos de sólo traslación.

El espacio de trabajo de un robot Delta es relativamente pequeño y el hecho de tener actuadores en su base permite alcanzar grandes aceleraciones dependiendo de la necesidad siendo el candidato perfecto para operaciones de tomar objetos y colocarlos.

Actualmente, las industrias tienen la necesidad de hacer frente a las exigencias del mercado, lo que obliga a desarrollar manipuladores flexibles y eficientes en cualquier entorno [4]. Esta situación hace que los robots paralelos por sus ventajas tenga un papel relevante en diferentes tipos de industria, en la tabla 1 se enlistan las ventajas y desventajas de los robots Delta.

3. Diseño y construcción de un robot paralelo Delta

El prototipo que se desarrolló es para uso didáctico y no para uso industrial, lo que motivó que sea de un tamaño grande para un mejor estudio y futuras adecuaciones y mejoras.

Para su diseño se tomaron en cuenta diferentes aspectos como peso de los servomotores, posición de los brazos, peso del material utilizado para la confección de los brazos, programación mediante software y otros, importantes para obtener el diseño más funcional.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los robots Delta. [8]

Ventajas	Desventajas
Gran rigidez y fuerza por una cadena cinemática de lazo cerrado.	Espacio de trabajo pequeño y complejo.
Varios componentes iguales.	Control complejo.
Su fuerza máxima es la suma de las fuerzas de todos los actuadores.	Singularidades en su espacio de trabajo.
Posibilidad de modular o reconfigurar el diseño.	Su rendimiento depende de la posición en la que se encuentra.
Errores de posición promedio.	Calibración complicada.
Buena relación capacidad de carga/peso de la máquina.	Mala relación entre el espacio de trabajo y el tamaño de la máquina.
Poca inercia.	Componentes clave complicados.
Rendimiento dinámico muy alto debido a la masa.	Muy susceptibles a cargas térmica.

La estructura mecánica del prototipo del robot paralelo tipo Delta, mantiene su concepto básico pero con algunas modificaciones en la posición de los servomotores y los brazos. El diseño propuesto disminuyó las vibraciones en el momento del movimiento de cada uno de los brazos, ofreciendo más firmeza pero mantiene la desventaja en cuanto al espacio de trabajo.

Tomando en cuenta el tamaño de los servomotores se buscó diseñar piezas mecánicas más fuertes y que soportan tanto el peso como las tensiones generadas al momento de realizar un movimiento. Algunas de estas piezas se diseñaron y trabajaron de manera especial pero a su vez de un material liviano.

Los diseños mecánicos del robot se realizaron en el software Inventor de Autodesk, y su función principal es ser una guía para la construcción de las piezas del robot. En la figura 1 se observa el diseño de la base superior fija del prototipo.

Los diseños eléctricos y electrónicos se realizaron en Autocad Electrical, y su función principal es ser una guía para el estudio y solución de posibles fallas en estos sistemas.

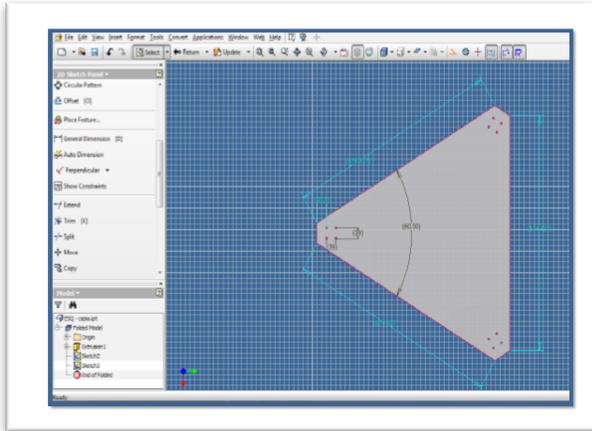


Figura 1. Diseño de base superior fija del prototipo.

El prototipo desarrollado fue construido con una mezcla de componentes de diferentes materiales, cada uno ensamblado para un fin en específico, utilizando: aluminio, acero inoxidable, acero galvanizado y poliéster.

El diseño propio del robot implicó que algunas piezas fueran mecanizadas. Este es el caso del efector final (ver figura 2), el cual está hecho de poliéster, su diseño permite una movilidad para su espacio de trabajo y se escogió este material ya que el prototipo no tiene ninguna herramienta para trabajo específico, y permite a su vez el acople de cada brazo, siendo muy liviano y otorgando firmeza; cabe destacar que el efector final puede ser reemplazado por cualquier otro tipo de herramienta.

4. Sistema eléctrico de potencia y de control.

El sistema eléctrico de potencia y de control del prototipo está basado en una mezcla de componentes eléctricos, electrónicos y de comunicación direccionada específicamente para el actuar de los servomotores en conjunto.

En la tabla 2 se muestra la forma general en que se dividieron los componentes.



Figura 2. Brazos unidos al efector final.

El MicroFlex e100 que se muestra en la figura 3, es una versátil unidad servo sin escobillas, proporcionando un movimiento flexible y potente solución de control para los motores rotativos y lineales [5].

Tabla 2. Componentes eléctricos, electrónicos y de comunicación.

Descripción	MicroFlex100	NextMove e100	Servomotor	Filtro	Resistencia
Componente eléctrico			3	3	3
Componente electrónico y comunicación	3	1			

El MicroFlex e100 tiene una serie de conectores los cuales cada uno tiene una función específica, como el conector de potencia, conexión al servomotor, leds, puertos USB, entrada de retroalimentación, conector de comunicación Ethernet, etc.

El NextMove e100 cuenta con el lenguaje de control de movimientos de una forma estructurada de Basic, para controlar los movimientos de los servo motores [6].



Figura 3. MicroFlex e100.

Para la etapa de comunicación se utiliza el conector USB para conectar el NextMove e100 a un PC con el software Mint WorkBench, software propio para el controlador. Y para la comunicación Ethernet se utilizaron conectores RJ45 no cruzados. Es importante una comunicación efectiva entre cada uno de los equipos y tener en cuenta los protocolos de comunicación que se pueden usar, Ethernet Powerlink o CANopen. Para el desarrollo del robot se eligió trabajar con el Ethernet PowerLINK.

Se utiliza un filtro de alimentación de corriente alterna, que asegura que el MicroFlex cumpla las especificaciones de la Comunidad Europea.

Los servos motores que se utilizaron son de la serie BSM, muy versátiles en la industria y cuentan con sensores de protección térmica.

La resistencia de regeneración (ver figura 4) externa opcional, puede ser necesaria para disipar el exceso de alimentación del bus CC interno durante la deceleración del motor. La resistencia debe tener al menos 39Ω , $100\mu\text{H}$ y una potencia mínima de 44W .

Para el cableado de los elementos eléctricos se utilizó cable con las dimensiones recomendadas por el NEC de acuerdo a la corriente y voltaje de cada elemento. Cada punto de cableado cuenta con una terminal adecuada a su función. Todo el equipo será alimentado con 24VDC . También se instaló el sistema de protección de los componentes del sistema eléctrico y de control.



Figura 4. Resistencia de Regeneración.

5. Programación para el control del robot.

La programación del prototipo es el paso vital para controlar de manera independiente o en conjunto los servomotores para obtener movimientos deseados en el espacio de trabajo.

Se utiliza el programa Mint WorkBench para programar el movimiento de los servos motores. Se debe configurar cada uno de los servomotores dependiendo de lo que se desea hacer. Estas configuraciones se pueden guardar si se van a utilizar posteriormente dentro del mismo programa. Pero siempre debe existir una configuración inicial.

A través del programa se puede elegir el sistema de medida que se usará, tipo de conexión, selección del driver, tipo de conexión para la comunicación, modelo de motor, configuración de cuencas, y hasta configuraciones más específicas del control del servomotor; prestando especial atención a la posición, velocidad y aceleración que se desea aplicar en los sensores.

Finalizada las configuraciones iniciales, el software da paso a un autoajuste que se le debe realizar a cada servomotor. Al terminar el autoajuste el software arroja un informe y se despliega una ventana para guardar el autoajuste finalizado. En este punto, los servos motores están listos para realizar el movimiento que le ha sido cargado al controlador.

6. Aplicación

El robot Delta se construyó con miras a fortalecer el proceso educativo superior e implicó no sólo la elaboración de un manual de mantenimiento y reparación, sino también la confección de guías de laboratorio. En la figura 5 se observa una imagen completa del robot, y en la figura 6 el panel de control del mismo.

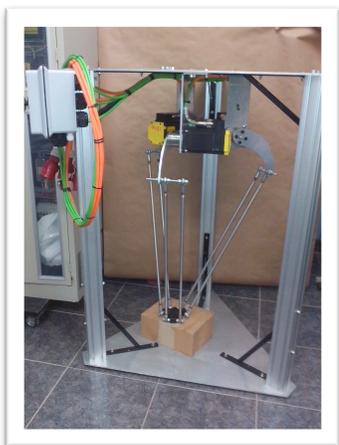


Figura 5. Robot Paralelo tipo Delta.

Uno de los laboratorios planteados es el reconocimiento del hardware del robot paralelo tipo Delta. En este laboratorio los estudiantes deberán reconocer los componentes principales de la parte de control, potencia y actuadores que conforman el robot Delta, familiarizándose con la tecnología implementada en el proyecto.



Figura 6. Panel de Control.

Otro de los laboratorios implica que el estudiante adquiera los conocimientos necesarios y la experiencia

profesional con tecnologías industriales, a partir de la configuración del robot y análisis de los resultados que obtengan; donde los estudiantes pueden calcular la cinemática inversa del robot a partir de la geometría y de las articulaciones del sistema.

Además, el robot puede ser utilizado como una herramienta de aprendizaje para diferentes cursos dentro de la Universidad, aparte de los cursos de Robótica e Introducción a la Robótica Industrial. Tal es el caso, de asignaturas como Teoría de Control, Programación, Microprocesadores, Diseño Mecánico, etc.; donde los estudiantes pueden evaluar diferentes sistemas de control, desarrollo de algoritmos, programación de un sistema completo, diseño de diferentes efectores finales, entre otras cosas.

A nivel de investigación, el robot es la base para desarrollar estudios donde por ejemplo se aprovecha la velocidad del robot para realizar clasificación de productos utilizando un sistema de cámaras enfocado al espacio de trabajo del robot y un efector final de pinzas de agarre. Para la clasificación se puede implementar diferentes técnicas de reconocimiento de patrones, dando lugar a la oportunidad de realizar comparaciones según técnica aplicada y según producto clasificado.

7. Conclusión y discusión

El robot paralelo tipo Delta fue construido a partir de motores Baldor, que eran los recursos tecnológicos con los que contaba la Universidad en ese momento. El robot tiene por lo tanto, un entorno de programación amigable para los estudiantes, otorgándole una herramienta moderna para los procesos de enseñanza-aprendizaje a nivel superior. El robot tiene tres grados de libertad, y permite levantar grandes pesos sin forzar a los actuadores.

Por medio de la estructura de control, se cumplió con los requerimientos de comunicación con los diferentes equipos de control, cada grado de libertad está controlado con un MicroFlex e100, el cual tiene la tarea de recolectar los datos de posición, velocidad, torque. Estos datos son llevados al cerebro del robot Delta donde son procesados y analizados en función a la estructura del programa para realizar el movimiento a las coordenadas programadas, dentro del espacio de trabajo.

En conclusión, se diseñó, se construyó e implementó un prototipo de robot Delta que fortalecerá el proceso

educativo a nivel superior, como herramienta de enseñanza en cursos especializados.

Se evaluó el desarrollo del primer laboratorio presentado en el proyecto con el grupo de estudiantes de la asignatura de Introducción a la Robótica Industrial; confirmando que la teoría adquirida en clase, es reafirmada con la práctica adquirida en laboratorio. Fue muy valorado por los estudiantes el tener la experiencia de observar y trabajar con un robot con características similares a los robots de la industria. Además, se programaron y comprobaron diferentes planificaciones de trayectorias del efector final dentro de su espacio de trabajo.

Dentro de las recomendaciones futuras, son incorporarle visión a la estructura de control, diseñar otros tipos de efectores finales, entre otras. Otra recomendación a corto plazo es implementar el código de la cinemática inversa del robot previamente codificado en MatLab a lenguaje Baldor.

También se pretende que el robot desarrollado se pueda utilizar en otras tesis o proyectos de investigación, que permitan aportar a necesidades de la comunidad educativa o en general.

8. Referencias

- [1] M. M. C. A. G. M. Coronado E., «Control de un Robot Paralelo Tipo Delta basado en Manipulación en Espacio de Cámara Lineal.» de Congreso Nacional de Control Automático, México, 2013.
- [2] S. R. S. J. R. O. Aracil R., «Robots paralelos :Máquinas con un pasado para una robótica del futuro.» Revista Ieroamericana de Automática e Informática Industrial., vol. 3, n° 1, pp. 16-28, 2006.
- [3] C. L. I. L. Simionescu I., «Static balancing with elastic systems of DELTA parallel robots.» Mechanism and Machine Theory., vol. 87, pp. 150-162, 2015.
- [4] C. E. G. J. B. A. Sánchez A., «Análisis del desempeño cinetostático de un robot paralelo tipo Delta reconfigurable.» Ingeniería, Investigación y Tecnología, vol. 16, n° 2, pp. 213-224, 2015.
- [5] ABB, «ABB motion control drives, MicroFlex e100.» [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/4b1cd201847b0457c1257b5100545e7c/MicroFlex_e100_EN_3AUA0000116018_RevB.pdf. [Último acceso: 24 abril 2016].
- [6] ABB, «User's manual. NextMove e100 motion controller.» [En línea]. Available: <https://library.e.abb.com/public/f5a577de7cb345869658c50b97ff78f6/LT0231A09EN.pdf>. [Último acceso: 24 abril 2016].
- [7] UPC, «Robots industriales.» [En línea]. Available: http://www-pagines.fib.upc.es/~rob/protegit/treballs/Q2_03-04/industr/Robots%20Industriales.htm. [Último acceso: 24 abril 2017].
- [8] L. Silva, «Tesis doctoral "Contro Visual de robots paralelos. Análisis, Desarrollo y Aplicación a la plataforma robotenis".» Universidad Politécnica de Madrid, 2005.