

Revista Sextante

ISSN : 2665-3923

Vol: 20 No: 01(2019)

Desarrollo De Un Sistema De Control Posicional E Interfaz Gráfica Para El SCORBOT-ER 5PLUS

¹Brayan Rueda Mayorga, ²Pinzón González Pinzón González, ³Jorge Luis Zarate Arroyo, ⁴Saul Antonio Pérez Pérez, ⁵Javier Jimenez-Cabas

^{1,2,3,4}Ingeniería mecatrónica, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia
⁵Centro de Investigaciones, Universidad del Costa, Barranquilla, Colombia

Article History

Received Oct , 13th ,2019

Accepted Oct ,17th , 2019

Published Oct, 27th,2019



© 2019 The Authors. This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution(CC-BY)license

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Abstract

Este artículo muestra cómo se desarrolla un Sistema de control y una interfaz gráfica para la manipulación de un robot SCORBOT-ER 5plus ubicado en el laboratorio de robótica de la Universidad Autónoma del Caribe con el fin de agregar una herramienta adicional a través de la cual los estudiantes puedan aprender de manera más práctica el campo de la robótica. Esto será posible gracias al uso de técnicas y conceptos de electrónica, electricidad, control, mecánica y robótica entre otros, que ayudará a desarrollar el sistema de control posicional necesario, así como la creación e implementación de una interfaz gráfica para poner el robot de nuevo en funcionamiento en los laboratorios de la institución.

Keywords

Cinemática directa, Cinemática inversa, Control, Posicionamiento, Procesamiento de datos, Robótica

INTRODUCTION

La robótica industrial ha experimentado un desarrollo significativo gracias a los avances tecnológicos en electrónica, informática, sistemas de control y automatización. Los manipuladores robóticos constituyen herramientas fundamentales en los procesos industriales modernos, ya que permiten ejecutar operaciones de posicionamiento, desplazamiento y manipulación de objetos con precisión y repetibilidad. Asimismo, su incorporación en instituciones educativas facilita la comprensión de conceptos relacionados con la cinemática, la programación y el control automático (Craig, 2005). El robot SCORBOT-ER 5PLUS representa una plataforma de aprendizaje para el estudio de sistemas robóticos articulados. Su estructura mecánica y sus mecanismos de accionamiento permiten analizar diferentes movimientos y desarrollar

aplicaciones relacionadas con el control posicional. Sin embargo, el aprovechamiento de estos equipos depende del funcionamiento adecuado de sus componentes electrónicos, mecánicos y de programación, así como de la disponibilidad de herramientas que faciliten su operación. En este contexto, el desarrollo de un sistema de control posicional acompañado de una interfaz gráfica constituye una alternativa para mejorar la interacción entre el usuario y el manipulador robótico. Mediante la aplicación de modelos matemáticos basados en cinemática directa e inversa, es posible establecer relaciones entre las posiciones articulares del robot y la ubicación espacial de su efector final. Estos procedimientos permiten determinar las configuraciones necesarias para ejecutar movimientos específicos dentro de las restricciones físicas del sistema (Spong et al., 2005). La implementación de una interfaz gráfica también facilita la introducción de parámetros de movimiento, la visualización de información y la supervisión de las operaciones del robot. Su integración con los mecanismos de control y retroalimentación contribuye a desarrollar un entorno de experimentación accesible para los estudiantes de ingeniería. El objetivo principal de este trabajo consiste en desarrollar un sistema de control posicional y una interfaz gráfica para el robot SCORBOT-ER 5PLUS, ubicado en el laboratorio de robótica de la Universidad Autónoma del Caribe, con el propósito de recuperar su funcionalidad y fortalecer las actividades académicas relacionadas con la automatización y los sistemas robóticos.

Esquema del artículo — Desarrollo detallado

Fundamentos teóricos

La robótica industrial constituye una de las áreas más relevantes de la automatización moderna, debido a su capacidad para integrar sistemas mecánicos, electrónicos e informáticos en la ejecución de tareas programadas. Los robots industriales se utilizan en diferentes procesos productivos, incluyendo ensamblaje, soldadura, manipulación de materiales, inspección y operaciones de precisión. Su funcionamiento se basa en la coordinación de actuadores, sensores, controladores y algoritmos matemáticos que permiten establecer movimientos específicos y mantener un comportamiento estable durante la operación. De acuerdo con Craig (2005), el estudio de la robótica requiere comprender las relaciones geométricas, cinemáticas y dinámicas que determinan el movimiento de los manipuladores. El SCORBOT-ER 5PLUS es un manipulador robótico de carácter educativo, diseñado para facilitar el estudio práctico de los principios fundamentales de la robótica. Su estructura articulada permite realizar movimientos mediante cinco ejes y dispone de una pinza para la manipulación de objetos. El sistema utiliza servomotores de corriente continua y codificadores para proporcionar información sobre los desplazamientos de sus articulaciones. Esta configuración permite estudiar conceptos de posicionamiento, control de movimiento y retroalimentación, así como desarrollar aplicaciones académicas relacionadas con la automatización de procesos (Intelitek, 1996). Uno de los fundamentos matemáticos necesarios para controlar un manipulador es la cinemática directa, que permite calcular la posición y orientación del efector final a partir de los valores de sus articulaciones. Por otra parte, la cinemática inversa tiene como finalidad determinar las variables articulares necesarias para alcanzar una posición deseada. Ambos procedimientos son esenciales para planificar movimientos, analizar el espacio de trabajo y establecer trayectorias compatibles con las restricciones mecánicas del robot. Spong, Hutchinson y Vidyasagar (2005) destacan la importancia de los modelos cinemáticos para el diseño y la implementación de sistemas de control robótico. Los sistemas de control de posición permiten regular el desplazamiento de las articulaciones mediante la comparación entre los valores deseados y los valores medidos por los sensores. En este proceso, la retroalimentación constituye un elemento fundamental para detectar desviaciones y generar acciones correctivas. Entre las estrategias utilizadas se encuentran los controladores proporcionales, integrales y derivativos, cuya selección depende de las características dinámicas del manipulador y de los requerimientos de precisión. La integración de estos mecanismos con una interfaz gráfica facilita la introducción de comandos, el seguimiento de las variables operativas y la interacción del usuario con el sistema robótico.

Análisis del sistema robótico

El análisis del sistema robótico constituye una etapa fundamental para comprender las condiciones de funcionamiento del SCORBOT-ER 5PLUS y establecer los requerimientos técnicos necesarios para desarrollar un sistema de control posicional. Este procedimiento comprende la identificación de los

componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que intervienen en el funcionamiento del manipulador. Entre los elementos principales se encuentran las articulaciones, mecanismos de transmisión, servomotores, codificadores, sistemas de alimentación y dispositivos de control. La evaluación conjunta de estos componentes permite establecer la arquitectura funcional del robot y determinar las relaciones existentes entre sus diferentes subsistemas. La evaluación del estado de funcionamiento del manipulador debe considerar aspectos relacionados con el movimiento de sus articulaciones, la integridad de las conexiones eléctricas y la respuesta de los actuadores ante diferentes comandos. También resulta necesario verificar posibles restricciones mecánicas, desgaste de componentes y condiciones que puedan afectar la precisión del posicionamiento. Según Siciliano y Khatib (2016), el análisis de los sistemas robóticos requiere considerar la interacción entre los mecanismos de accionamiento, la percepción del estado del sistema y los algoritmos de control. Los actuadores y sensores desempeñan funciones complementarias dentro del sistema. Mientras los motores generan los movimientos articulares, los codificadores proporcionan señales que permiten estimar la posición y dirección de desplazamiento. Esta información puede utilizarse para implementar mecanismos de control en lazo cerrado y mejorar la capacidad del manipulador para alcanzar posiciones previamente establecidas. En el caso del SCORBOT-ER 5PLUS, el análisis de estos elementos es especialmente importante para determinar los requerimientos de comunicación y procesamiento de señales del controlador. Finalmente, la identificación de los requerimientos del sistema de control debe contemplar la disponibilidad de los componentes, las características de las señales, las limitaciones de movimiento, la compatibilidad entre hardware y software y las condiciones de seguridad. Esta evaluación permite establecer una base técnica para seleccionar la arquitectura de control más adecuada y desarrollar una interfaz gráfica que facilite la operación del manipulador dentro del entorno académico.

Diseño del sistema de control posicional

El diseño del sistema de control posicional tiene como objetivo establecer los procedimientos necesarios para dirigir las articulaciones del robot hacia posiciones determinadas, considerando las características mecánicas y cinemáticas del manipulador. Para ello, resulta indispensable desarrollar un modelo matemático que describa las relaciones entre las variables articulares y la posición espacial del efector final. Una metodología ampliamente utilizada es la representación mediante parámetros de Denavit-Hartenberg, que permite establecer sistemas de coordenadas asociados a los eslabones y obtener transformaciones homogéneas para describir la geometría del robot (Craig, 2005). La determinación de las variables articulares constituye otro componente esencial del diseño. Cada articulación presenta un rango de movimiento específico que debe considerarse para evitar configuraciones incompatibles con las restricciones físicas del manipulador. Mediante el análisis cinemático, es posible calcular las posiciones alcanzables y establecer relaciones entre los movimientos individuales y el desplazamiento global del robot. Lynch y Park (2017) explican que la representación matemática de los manipuladores proporciona herramientas fundamentales para analizar sus configuraciones y planificar movimientos controlados. La arquitectura de control debe integrar los elementos responsables de recibir las instrucciones, procesar las señales y generar los comandos necesarios para activar los motores. En un sistema de lazo cerrado, los datos obtenidos mediante los sensores se comparan con los valores de referencia para calcular el error de posicionamiento. A partir de esta diferencia, el controlador establece acciones correctivas destinadas a reducir la desviación y mejorar la estabilidad del movimiento. Asimismo, el diseño debe incorporar condiciones de seguridad relacionadas con los límites articulares, la prevención de movimientos no deseados y la supervisión del funcionamiento del sistema. También se deben considerar procedimientos de calibración, identificación de posiciones de referencia y mecanismos de detención ante condiciones anormales. Estas medidas contribuyen a desarrollar un sistema de control que pueda utilizarse de manera segura y reproducible durante las actividades prácticas de laboratorio.

Desarrollo de la interfaz gráfica

El desarrollo de una interfaz gráfica representa una etapa importante en la integración entre los componentes físicos del manipulador y las herramientas informáticas utilizadas para su operación. La interfaz tiene como finalidad proporcionar un entorno visual que facilite la introducción de comandos, la selección de parámetros y la supervisión de los movimientos del robot. Su diseño debe considerar principios de claridad,

organización y facilidad de uso, especialmente cuando el sistema está destinado a estudiantes que se encuentran en proceso de formación en robótica y automatización. La estructura visual de la aplicación puede organizarse mediante diferentes módulos funcionales que permitan controlar las articulaciones, visualizar los valores de posición y acceder a las funciones generales del sistema. Los controles de movimiento pueden incluir mecanismos para seleccionar una articulación determinada, introducir valores angulares y ejecutar desplazamientos de acuerdo con los límites permitidos. Asimismo, la representación de información mediante indicadores numéricos y elementos gráficos facilita la interpretación del estado operativo del manipulador. La comunicación entre la interfaz gráfica y el controlador constituye un aspecto fundamental para garantizar una interacción adecuada entre el usuario y el robot. Esta comunicación debe permitir transmitir instrucciones, recibir información de los sensores y actualizar las variables de funcionamiento. Corke (2017) señala la importancia de integrar herramientas computacionales con modelos de movimiento para facilitar el análisis, la simulación y el control de sistemas robóticos. Otro aspecto relevante es la incorporación de mecanismos de supervisión capaces de identificar errores de comunicación, valores fuera de los límites establecidos y posibles inconsistencias entre las posiciones solicitadas y las posiciones medidas. La interfaz también puede incluir mensajes informativos, indicadores de conexión y funciones para ejecutar procedimientos de referencia. Estos recursos contribuyen a mejorar la interacción humano-máquina y proporcionan un entorno didáctico apropiado para la experimentación con manipuladores robóticos.

Implementación y pruebas

La implementación del sistema comprende la integración de los componentes de hardware y software necesarios para establecer la comunicación y coordinación entre la interfaz gráfica, el controlador y los actuadores del SCORBOT-ER 5PLUS. Durante esta etapa deben verificarse las conexiones, los parámetros de comunicación y las condiciones operativas de los diferentes subsistemas. La integración debe realizarse de forma progresiva, comenzando con la validación de componentes individuales y continuando con pruebas de funcionamiento conjunto. La calibración de los movimientos articulares constituye un procedimiento esencial para establecer referencias de posición y mejorar la correspondencia entre las señales del controlador y los desplazamientos físicos del robot. Este proceso debe incluir la identificación de las posiciones iniciales, la verificación de las lecturas de los codificadores y la evaluación de los límites mecánicos de cada articulación. La precisión del sistema depende, entre otros factores, de la calidad de estas referencias y de la correcta interpretación de las señales de retroalimentación. La evaluación de las funciones de posicionamiento debe contemplar pruebas con diferentes valores de referencia y secuencias de movimiento. Durante estas pruebas pueden analizarse aspectos como la capacidad para alcanzar una posición objetivo, la repetibilidad de los movimientos y la respuesta del sistema ante cambios en los comandos. Asimismo, resulta conveniente registrar la posición solicitada y la posición medida para identificar posibles desviaciones y establecer indicadores de desempeño. La identificación y corrección de errores debe realizarse mediante un procedimiento sistemático que permita distinguir problemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de programación. Finalmente, la verificación del funcionamiento general debe considerar la ejecución de movimientos controlados, la respuesta de los mecanismos de seguridad y la estabilidad de la comunicación entre los distintos componentes. Esta evaluación constituye una base para determinar si el sistema cumple los requerimientos establecidos durante la etapa de diseño.

Resultados y discusión

El análisis de los resultados debe orientarse a determinar el desempeño del sistema de control posicional y la utilidad de la interfaz gráfica como herramienta de interacción con el manipulador. Para ello, es necesario comparar las posiciones de referencia con las posiciones registradas durante las pruebas, identificando las diferencias existentes entre los valores teóricos y los movimientos ejecutados. Esta comparación permite evaluar la precisión del posicionamiento y determinar posibles fuentes de error asociadas al funcionamiento de los actuadores, sensores y mecanismos de transmisión. La evaluación del comportamiento del sistema también debe considerar la estabilidad de los movimientos, la repetibilidad de las operaciones y la respuesta ante diferentes instrucciones. Los resultados obtenidos pueden analizarse mediante tablas, representaciones gráficas y medidas estadísticas, con el propósito de identificar tendencias y determinar el grado de

cumplimiento de los objetivos técnicos. Asimismo, el registro de las condiciones de prueba es necesario para garantizar que las comparaciones se realicen bajo parámetros equivalentes. En relación con la interfaz gráfica, la discusión debe examinar la facilidad con la que los usuarios pueden introducir comandos, supervisar variables y ejecutar procedimientos de posicionamiento. El análisis puede incluir criterios de claridad visual, accesibilidad de las funciones y capacidad de respuesta de la aplicación. La integración de estas características resulta importante para valorar el potencial educativo del sistema y su contribución a la comprensión de conceptos relacionados con el control de manipuladores. También deben reconocerse las limitaciones técnicas que puedan afectar el funcionamiento del sistema, incluyendo restricciones mecánicas, resolución de los sensores, capacidad de procesamiento y posibles retrasos en la comunicación. El análisis de estas limitaciones permite identificar oportunidades de mejora y establecer recomendaciones para futuros desarrollos. Desde una perspectiva académica, la aplicación propuesta puede contribuir a fortalecer el aprendizaje práctico de la robótica mediante la experimentación con movimientos articulares, modelos cinemáticos y estrategias de control. Este apartado presenta los criterios para analizar los resultados; no afirma valores experimentales que no se hayan proporcionado.

Resumen

El presente trabajo aborda el desarrollo de un sistema de control posicional y una interfaz gráfica para la manipulación del robot SCORBOT-ER 5PLUS, localizado en el laboratorio de robótica de la Universidad Autónoma del Caribe, en Barranquilla, Colombia. La investigación se orienta a la recuperación de la funcionalidad del manipulador robótico y al fortalecimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje mediante la integración de herramientas tecnológicas aplicadas a la automatización. Para ello, se consideran principios fundamentales de electrónica, mecánica, programación, cinemática directa e inversa y sistemas de control automático. El desarrollo propuesto comprende el análisis de los componentes del robot, el diseño de una arquitectura de control de posición y la implementación de una interfaz gráfica que permita introducir parámetros, supervisar movimientos y facilitar la interacción entre el operador y el sistema. Asimismo, se contempla la realización de pruebas funcionales para evaluar el comportamiento del manipulador y verificar la correspondencia entre las posiciones solicitadas y los desplazamientos ejecutados. La propuesta busca proporcionar una herramienta didáctica que facilite la experimentación con sistemas robóticos y promueva el desarrollo de competencias prácticas en estudiantes de ingeniería. De esta manera, se destaca la importancia de integrar recursos de hardware y software para aprovechar equipos robóticos existentes en entornos educativos. Palabras clave: Robótica industrial; SCORBOT-ER 5PLUS; cinemática directa; cinemática inversa; control posicional; interfaz gráfica; automatización; procesamiento de datos.

Referencias

- Craig, J. J. (2005). *Introduction to robotics: Mechanics and control* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006). *Robot modeling and control*. John Wiley & Sons.
- Intelitek. (1996). *SCORBOT-ER Vplus: User's manual* (Catalog No. 100016, Rev. C). Intelitek. Manual técnico.
- Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). *Springer handbook of robotics* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1>.
- Lynch, K. M., & Park, F. C. (2017). *Modern robotics: Mechanics, planning, and control*. Cambridge University Press.
- Corke, P. (2017). *Robotics, vision and control: Fundamental algorithms in MATLAB* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54413-7>.
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2009). *Robotics: Modelling, planning and control*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1>.
- Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Groover, M. P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4th ed.). Pearson.
- International Organization for Standardization. (1998). *Manipulating industrial robots—Performance criteria and related test methods* (ISO Standard No. 9283:1998). <https://www.iso.org/standard/22244.html>.

- International Organization for Standardization. (2025). Robotics—Safety requirements—Part 1: Industrial robots (ISO Standard No. 10218-1:2025). ISO.
- Norman, D. A. (2013). The design of everyday things (Revised and expanded ed.). Basic Books.