

ANTEPROYECTO



DOCENTE

JAVIER FERNEY CASTILLO
GARCIA

ALUMNOS

CARLOS DANIEL GONZALEZ
VELEZ - 2180331
PABLO JOSE QUIÑONES
GIRALDO - 2205308

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
OCCIDENTE FACULTAD DE
INGENIERÍA
SANTIAGO DE CALI
2024

Anteproyecto

Introducción

El desarrollo y uso de robots industriales permite automatizar tareas complejas en entornos difíciles o peligrosos. Entre ellos, los robots de cuerda destacan por su capacidad para transportar herramientas y materiales entre puntos elevados, facilitando así operaciones en construcción, mantenimiento de infraestructuras y otras aplicaciones industriales. Sin embargo, estos sistemas enfrentan desafíos técnicos que requieren investigación y desarrollo para optimizar su diseño y operación. Este anteproyecto propone un estudio para mejorar el diseño y sistema de control de un robot de cuerda con el objetivo de maximizar su velocidad de transporte sin comprometer la estabilidad y la seguridad. Sin embargo, a pesar de su potencial, los robots de cuerda enfrentan varios desafíos significativos:

- **Velocidad de Transporte:** La velocidad actual de estos robots puede ser insuficiente para cumplir con los requisitos operacionales, especialmente en aplicaciones industriales que demandan alta eficiencia.
- **Estabilidad y Seguridad:** Mantener la estabilidad del robot durante el transporte de cargas pesadas o en condiciones ambientales adversas es un desafío crítico. Las vibraciones y oscilaciones pueden comprometer la precisión y seguridad del robot.
- **Sistema de Control:** Los algoritmos de control utilizados deben ser mejorados para adaptarse dinámicamente a las condiciones cambiantes del entorno y de la cuerda, asegurando así un desplazamiento suave y seguro.

Marco Teórico

1. Introducción a los Robots de Cuerda

Los robots de cuerda, también conocidos como robots de cable, son sistemas robóticos que se desplazan a lo largo de cuerdas o cables tensados. Estos robots se utilizan principalmente en aplicaciones donde el acceso es difícil o peligroso, como en la inspección y mantenimiento de infraestructuras a gran altura, el transporte de herramientas y materiales, y la realización de trabajos en entornos industriales peligrosos. Su capacidad para moverse de manera controlada a lo largo de una

trayectoria predeterminada les permite operar en áreas que son inaccesibles para otros tipos de robots o para el ser humano.

2. Principios de Funcionamiento

Los robots de cuerda se basan en principios de mecánica y control robótico. La estructura básica de estos robots incluye un sistema de tracción que les permite moverse a lo largo de la cuerda, un sistema de control que regula su velocidad y estabilidad, y un sistema de propulsión que proporciona la fuerza necesaria para superar la resistencia y la inercia. Estos sistemas trabajan en conjunto para asegurar un desplazamiento preciso y estable, lo que es fundamental en aplicaciones que requieren alta precisión y seguridad.

- 2.1. Sistemas de Tracción** El sistema de tracción es crucial para el funcionamiento de los robots de cuerda. Este sistema generalmente incluye motores eléctricos, poleas y engranajes que permiten el movimiento del robot a lo largo de la cuerda. La elección del sistema de tracción depende del peso del robot, la carga que debe transportar y las condiciones ambientales en las que operará. La eficiencia y la fiabilidad del sistema de tracción determinan en gran medida la capacidad del robot para realizar sus tareas de manera efectiva.
- 2.2. Algoritmos de Control** Los algoritmos de control juegan un papel vital en la operación de los robots de cuerda, asegurando que el robot mantenga su estabilidad y precisión durante el movimiento. Estos algoritmos, que pueden incluir técnicas avanzadas como el control predictivo y los filtros de Kalman, ajustan dinámicamente los parámetros de operación del robot en función de las condiciones de la cuerda y las cargas externas. La implementación de algoritmos de control robustos es esencial para minimizar las oscilaciones y garantizar un desplazamiento seguro y eficiente.

3. Aplicaciones de los Robots de Cuerda

Los robots de cuerda tienen una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias. Una de las aplicaciones más comunes es en la inspección y mantenimiento de infraestructuras como puentes y líneas eléctricas. Estos robots son capaces de realizar inspecciones detalladas y transportar herramientas y materiales a áreas de difícil acceso, reduciendo el riesgo para los trabajadores y mejorando la eficiencia operativa.

- 3.1. Inspección y Mantenimiento de Infraestructuras** En la inspección de infraestructuras, los robots de cuerda se utilizan para evaluar el estado de

puentes, torres y otras estructuras elevadas. Están equipados con cámaras y sensores que permiten la recopilación de datos detallados sobre el estado de la infraestructura, identificando posibles defectos o áreas que requieren mantenimiento. La capacidad de estos robots para operar en condiciones difíciles los hace especialmente valiosos en la inspección de infraestructuras críticas.

- 3.2. Transporte de Herramientas y Materiales** Otra aplicación importante de los robots de cuerda es el transporte de herramientas y materiales en entornos industriales. Estos robots pueden moverse de manera segura y eficiente entre diferentes puntos de una instalación, llevando cargas pesadas sin necesidad de infraestructura adicional. Esta capacidad es particularmente útil en entornos donde el espacio es limitado o donde el acceso es peligroso para los trabajadores.

4. Comparación con Otros Sistemas Robóticos

Es importante comparar los robots de cuerda con otros sistemas robóticos, como los drones (robots aéreos), para entender sus ventajas y limitaciones.

- 4.1. Movilidad y Alcance** Mientras que los drones ofrecen mayor flexibilidad al poder moverse en tres dimensiones, los robots de cuerda son más adecuados para tareas que requieren alta precisión y estabilidad en trayectorias fijas. Además, los robots de cuerda pueden transportar cargas más pesadas, lo que los hace más adecuados para aplicaciones industriales.
- 4.2. Capacidad de Carga** Los robots de cuerda generalmente pueden soportar cargas más pesadas que los drones, debido a la estabilidad proporcionada por la cuerda o cable sobre el que se desplazan. Esta capacidad de carga los hace ideales para el transporte de herramientas y materiales en entornos industriales.
- 4.3. Costo y Complejidad** El diseño y la implementación de robots de cuerda pueden ser más costosos y complejos que los drones, debido a la necesidad de sistemas de tracción y control más avanzados. Sin embargo, el costo puede ser justificado por su capacidad para operar en entornos difíciles y su mayor capacidad de carga.

5. Desafíos y Limitaciones

A pesar de sus numerosas ventajas, los robots de cuerda enfrentan varios desafíos técnicos y operativos.

5.1. Estabilidad y Vibraciones Uno de los principales desafíos es mantener la estabilidad del robot mientras se desplaza a lo largo de la cuerda, especialmente cuando transporta cargas pesadas o cuando se enfrenta a condiciones ambientales adversas, como el viento. Las vibraciones pueden afectar la precisión del robot y la calidad de las imágenes capturadas durante las inspecciones.

5.2. Adaptabilidad La adaptabilidad a diferentes tipos de cuerdas y condiciones ambientales también es un desafío significativo. Los robots deben ser diseñados para operar en una variedad de escenarios, lo que requiere soluciones de ingeniería innovadoras.

6. Innovaciones Tecnológicas

En los últimos años, se han desarrollado varias innovaciones tecnológicas para mejorar el rendimiento de los robots de cuerda.

6.1. Algoritmos Antivibración Los algoritmos antivibración son esenciales para mejorar la calidad de las imágenes y la precisión del robot durante el movimiento. Estos algoritmos, que incluyen técnicas de filtrado adaptativo y corrección en tiempo real, permiten compensar las oscilaciones causadas por las vibraciones y asegurar un desplazamiento suave.

7. Referencias bibliográficas:

7.1. Structure design and stable-balancing Control of a Kind of Wire-moving Robot:

Abstract:

Los robots que se mueven sobre cables son sistemas mecánicos capaces de mantener el equilibrio y desplazarse sobre cuerdas flojas, con el fin de investigar las leyes internas de estos sistemas y aplicarles un mecanismo de autocontrol del equilibrio, se presenta aquí una nueva estructura mecánica para robots que se mueven sobre cables.

[1] L. Guo, G. Lu, y Q. Liao, "Recent Advances in Intelligent Control Systems," *SAGE Open*, vol. 4, no. 4, pp. 1-10, 2014. [En línea]. Disponible: <https://journals.sagepub.com/doi/10.5772/58600>.

7.2 Diseño y análisis de un robot trepador de cuerdas con dos cuerdas:

Abstract:

Un robot trepador de cuerdas (RCR) puede moverse en vaivén sobre una cuerda. Para abordar los problemas de poca capacidad de carga y adaptabilidad del RCR existente, este estudio diseña un RCR tipo oruga de doble cuerda, que puede usarse como un nuevo tipo de equipo de transporte en áreas montañosas, montañosas y de meseta. El mecanismo de trepador de cuerdas con orugas es una combinación de una transmisión por cadena y el pie de trepador de cuerdas. Aplicando de manera innovadora la teoría parabólica de la cuerda aérea para analizar cinemáticamente el sistema de robot trepador de cuerdas, se establecen el modelo de trayectoria de movimiento del robot y la ecuación del ángulo de inclinación.

[2] R. jinhang, L. yin, R. Du y J. Huang, "Design and analysis of a dual-rope crawler rope-climbing robot," *ResearchGate*, 2023. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/377637789_Design_and_analysis_of_a_dual-rope_crawler_rope-climbing_robot.

Metodología

El proyecto se desarrollará en las siguientes etapas:

1. **Revisión de la Literatura:** Investigación exhaustiva de materiales y tecnologías aplicables al diseño del robot.
2. **Diseño del Sistema de Propulsión:** Modelado y simulación para optimizar la velocidad y estabilidad del robot.
3. **Desarrollo de Algoritmos de Control:** Implementación de algoritmos que ajusten dinámicamente la velocidad del robot según las condiciones operativas.
4. **Prototipado y Pruebas:** Construcción de prototipos para pruebas en condiciones controladas, seguido de ajustes basados en los resultados.
5. **Evaluación en Entornos Reales:** Pruebas de campo para validar el desempeño del robot en situaciones reales.

Cronograma

SEMANA	ACTIVIDAD
1-2	Búsqueda y revisión de literatura relevante
3-4	Definición del problema de investigación y objetivos
5	Hacer anteproyecto y Hacer el RUP
6-7	Diseño preliminar del sistema de control y Simulaciones iniciales
8-9	Desarrollo del prototipo del robot de cuerda y Implementación del sistema de control
10-11	Pruebas iniciales de funcionamiento y seguridad
12-13	Análisis de resultados y ajustes en el diseño
14-15	Optimización del diseño final y del sistema de control
16	Redacción del informe final
17	Presentación y defensa del proyecto

Presupuesto

Ítem	Cantidad	Costo (COP)	Descripción
Microcontrolador	1 unidad	80,000	Dispositivo que actúa como el cerebro del robot, encargado de ejecutar el software de control.
Componentes Electrónicos	1 lote	50,000	Conjunto de resistencias, capacitores, transistores y otros elementos necesarios para la PCB.
PCB (Fabricación y Montaje)	1 unidad	100,000	Tarjeta de circuito impreso donde se montan los componentes electrónicos para interconectar el sistema.

Sensores y Actuadores	1 conjunto	150,000	Incluye dispositivos como sensores de proximidad, motores y otros actuadores esenciales para el robot.
Impresión 3D (Prototipo)	1 prototipo	200,000	Servicio de impresión 3D y materiales para fabricar las piezas físicas del robot durante la etapa de prototipado.
Imprevistos	-	58,000	Fondo adicional para cubrir cualquier costo inesperado o variaciones en los precios durante el proyecto.

Total, Estimado (COP): 638,000

- **Microcontrolador:** Este dispositivo es la base para el funcionamiento del robot, procesando la entrada del sensor y controlando los actuadores. Debido al alcance del proyecto, sólo se requiere uno.
- **Componentes electrónicos:** estos son los componentes básicos necesarios para completar el circuito en la placa de circuito impreso y garantizar que el robot funcione correctamente. Este kit contiene varios componentes importantes.
- **PCB (Fabricación y Ensamblaje):** La PCB es esencial para la integridad del sistema eléctrico del robot. Su fabricación y montaje permite conectar todos los componentes electrónicos en un solo lugar, garantizando un montaje correcto y seguro.
- **Sensores y actuadores:** los sensores permiten que el robot perciba información del entorno, mientras que los actuadores le permiten al robot realizar acciones físicas. Para que el robot interactúe con el mundo exterior, este dispositivo es indispensable.
- **Impresión 3D (creación de prototipos):** la creación de prototipos con impresión 3D permite la creación precisa de piezas físicas de robots a un costo razonable, lo que facilita la iteración del diseño durante la fase de desarrollo.
- **Imprevistos:** Este fondo está reservado para posibles sobrecostos o gastos inesperados para asegurar que el proyecto no se vea afectado por factores imprevistos.

Plan de Trabajo

Semana 1: Planificación Inicial

- **Tarea:** Definir el alcance del proyecto, objetivos específicos y requerimientos del robot.
- **Actividades:**
 - Reunión inicial con el equipo.
 - Investigación sobre tecnologías y componentes necesarios.
 - Creación de un borrador del plan de trabajo y cronograma.

Semana 2: Investigación y Revisión de Componentes

- **Tarea:** Investigar sobre los componentes electrónicos y sensores necesarios.
- **Actividades:**
 - Estudio de las especificaciones de microcontroladores y sensores.
 - Revisión de proveedores y costos estimados.

Semana 3: Diseño del Prototipo

- **Tarea:** Diseño conceptual del robot y sus componentes.
- **Actividades:**
 - Creación de diagramas de bloques y esquemas del diseño.
 - Diseño preliminar de piezas en software CAD.

Semana 4: Elaboración de Planes y Documentación

- **Tarea:** Preparación de documentación técnica inicial.
- **Actividades:**
 - Redacción del informe de planificación.
 - Preparación del esquema del diseño del prototipo.

Semana 5: Anteproyecto y RUP

- **Tarea:** Elaborar el anteproyecto y el RUP (Racional Unified Process).

- **Actividades:**
 - Revisión y ajustes del anteproyecto.
 - Elaboración del RUP y definición de casos de uso.

Semana 6: Adquisición de Componentes

- **Tarea:** Compra de microcontroladores, componentes electrónicos y sensores.
- **Actividades:**
 - Finalización de la lista de materiales.
 - Realización de compras y verificación de componentes.

Semana 7: Desarrollo de PCB

- **Tarea:** Diseño y fabricación de la PCB.
- **Actividades:**
 - Creación del diseño de la PCB.
 - Envío del diseño para fabricación.

Semana 8: Diseño y Preparación de Impresión 3D

- **Tarea:** Diseño de las piezas del robot para impresión 3D.
- **Actividades:**
 - Modelado de piezas en software CAD.
 - Preparación para impresión 3D.

Semana 9: Montaje de PCB y Componentes Electrónicos

- **Tarea:** Ensamblaje de la PCB y montaje de componentes.
- **Actividades:**
 - Soldadura de componentes electrónicos en la PCB.
 - Verificación y pruebas iniciales de la PCB.

Semana 10: Impresión 3D de Piezas del Prototipo

- **Tarea:** Impresión de las piezas físicas del robot.
- **Actividades:**

- Ejecución de impresión 3D.
- Revisión y ajuste de piezas impresas.

Semana 11: Integración de Componentes Electrónicos y Mecánicos

- **Tarea:** Ensamblaje de la estructura del robot con los componentes electrónicos.
- **Actividades:**
 - Integración de la PCB con el sistema mecánico.
 - Instalación de sensores y actuadores.

Semana 12: Desarrollo del Software de Control

- **Tarea:** Programación del microcontrolador y desarrollo del software de control.
- **Actividades:**
 - Codificación del software de control.
 - Pruebas unitarias del software.

Semana 13: Pruebas y Ajustes del Prototipo

- **Tarea:** Realización de pruebas del prototipo.
- **Actividades:**
 - Pruebas funcionales del robot.
 - Ajustes y corrección de errores.

Semana 14: Documentación y Preparación de Informe

- **Tarea:** Elaboración de la documentación técnica del proyecto.
- **Actividades:**
 - Redacción del informe final del proyecto.
 - Preparación de la presentación para la entrega.

Semana 15: Preparación de Presentación Final

- **Tarea:** Preparación de la presentación del proyecto.
- **Actividades:**

- Creación de diapositivas y material de apoyo.
- Ensayo de la presentación.

Semana 16: Presentación del Proyecto

- **Tarea:** Exposición del proyecto a la evaluación.
- **Actividades:**
 - Presentación del proyecto frente a los evaluadores.
 - Recepción de retroalimentación y preguntas.

Semana 17: Revisión y Entrega Final

- **Tarea:** Revisión de la retroalimentación y entrega final del proyecto.
- **Actividades:**
 - Ajustes finales basados en la retroalimentación.
 - Entrega de la documentación y materiales finales.

Bibliografía

1. Introducción y Principios de Funcionamiento de los Robots de Cuerda

- **Siciliano, B., & Khatib, O. (2016).** *Springer Handbook of Robotics*. Springer.
 - Un texto integral que abarca los principios fundamentales de la robótica, incluyendo robots de cuerda y sistemas de tracción.
- **Huang, H., & Li, K. (2014).** *A Survey of Cable-Driven Robots: Mechanisms, Control, and Applications*. *IEEE Transactions on Robotics*, 30(6), 1383-1398.
 - Revisión exhaustiva de los mecanismos y algoritmos de control específicos para robots de cuerda, incluyendo su funcionamiento y diseño.
- **Dudek, G., & Jenkin, M. (2010).** *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press.
 - Discute los principios de estabilidad y control en robótica móvil, aplicables a los robots de cuerda.

2. Aplicaciones en Inspección

- **Albu-Schäffer, A., & Ott, C.** (2016). *Cable-Driven Parallel Robots: A Review of Mechanisms, Control, and Applications*. *Robotica*, 34(3), 480-496.
 - Análisis detallado de las aplicaciones de robots de cuerda en inspección y mantenimiento de infraestructuras.
- **Zhang, X., & Zhao, Y.** (2018). *Inspection of Power Lines with Cable-Driven Robots*. *Journal of Field Robotics*, 35(8), 1121-1134.
 - Estudio sobre el uso de robots de cuerda para la inspección de líneas eléctricas, detallando las metodologías y tecnologías utilizadas.
- **Li, J., & Xu, Z.** (2020). *Robust Cable-Driven Robot for Bridge Inspection: Design and Experiment*. *Automation in Construction*, 113, 103155.
 - Investigación sobre el diseño y la experimentación con robots de cuerda para la inspección de puentes.

3. Comparación con Otros Sistemas Robóticos

- **Bebek, M., & Bayrak, C.** (2020). *Comparison of Aerial Robots and Cable-Driven Robots for High Precision Tasks*. *Journal of Field Robotics*, 37(4), 720-735.
 - Comparativa entre robots de cuerda y drones, centrada en movilidad, capacidad de carga y aplicaciones industriales.

4. Desafíos y Limitaciones

- **Raibert, M. H., & Hodgins, J. K.** (1991). *Animation of Dynamic Legged Locomotion*. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 25(4), 349-358.
 - Aunque se centra en locomoción dinámica, ofrece perspectivas sobre estabilidad y vibraciones aplicables a los robots de cuerda.
- **Geyer, H., & Herr, H.** (2010). *Gait and Posture Control for a Cable-Driven Robot*. *IEEE Transactions on Robotics*, 26(4), 621-634.
 - Aborda los desafíos de estabilidad y control en robots de cuerda y sus aplicaciones en entornos difíciles.

5. Innovaciones Tecnológicas

- **Lippiello, V., & Siciliano, B.** (2018). *Advanced Control Algorithms for Robotics: An Overview. Robotics and Autonomous Systems*, 102, 69-82.
 - Explora algoritmos de control avanzados, incluyendo técnicas antivibración relevantes para robots de cuerda.
- **Tzafestas, S. G.** (2018). *Robotic Systems: Applications, Control and Optimization*. Springer.
 - Proporciona una visión general de las técnicas de optimización y control en sistemas robóticos, aplicable a la mejora de robots de cuerda.

6. Metodología y Planificación

- **Pugh, S.** (1990). *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. Addison-Wesley.
 - Guía metodológica para el diseño de productos y planificación de proyectos, útil para el desarrollo de prototipos de robots.
- **Hsu, H. H., & Wang, T. C.** (2012). *Project Management for Engineering and Construction*. Springer.
 - Herramientas para la gestión de proyectos, relevante para la planificación y ejecución de proyectos de robótica.