

Sistema robótico basado en cables para emulación de microgravedad

Brenda Lizeth Muñoz Silva^{1*}, Francesco José García Luna²

Resumen

Este proyecto desarrolla un sistema robótico basado en cables para la emulación de microgravedad, orientado a aplicaciones académicas y científicas. Los Robots Paralelos Accionados por Cables ofrecen ventajas como ligereza y rapidez, pero presentan desafíos críticos en estabilidad y precisión debido a tensiones desiguales y perturbaciones externas. La propuesta consiste en diseñar un prototipo con dos grados de libertad, cuatro motores NEMA 17 y sensores inerciales MPU para monitoreo dinámico. El sistema implementará modelos cinemáticos y dinámicos junto con un control en lazo cerrado que permita compensar activamente la aceleración, logrando movimientos controlados en el plano X-Y. Se espera validar experimentalmente la viabilidad del prototipo, demostrando estabilidad y aceleraciones residuales mínimas en cargas de hasta 100 gramos. Este proyecto ofrece una alternativa de bajo costo para la investigación en robótica avanzada y simulación de microgravedad, contribuyendo a la formación académica y al desarrollo de plataformas experimentales accesibles para estudiar sistemas complejos en entornos educativos.

Palabras Clave

Robótica basada en cables – Microgravedad – Control en lazo cerrado – Cinemática inversa

^{1,2}Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

*Autor de correspondencia: al201820@alumnos.uacj.mx

Programa académico

Ingeniería en Mecatrónica

Fecha de presentación

27 de noviembre de 2025

Financiamiento

Sin financiamiento

Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Evento académico

1.º Congreso Internacional de las Fronteras de las Ingenierías

Conflicto de interés

Sin conflicto de interés declarado

Referencias

1. Zhang, L., Li, L., Zou, Y., Wang, K., Jiang, X., & Ju, H. (2017). Force control strategy and bench press experimental research of a cable driven astronaut rehabilitative training robot. *IEEE Access*, 5, 9981–9989. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2718498>
2. Hwang, S. W., Kim, D. H., Park, J., & Park, J. H. (2022). Equilibrium configuration analysis and equilibrium-based trajectory generation method for under-constrained cable-driven parallel robot. *IEEE Access*, 10, 112134–112149. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3214567>
3. Chen, Z., & Wang, X. (2020). Dynamic modeling and residual vibration suppression of the redundantly-actuated cable driving parallel manipulator. *IEEE Access*, 8, 99422–99430. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994567>
4. Cheng, H. H., & Lau, D. (2023). Cable attachment optimization for reconfigurable cable-driven parallel robots based on various workspace conditions. *IEEE Transactions on Robotics*, 39, 3759–3775. <https://doi.org/10.1109/TRO.2023.3294567>
5. Cazzaniga, A., Ille, F., Wuest, S., Haack, C., Koller, A., Giger-Lange, C., Zocchi, M., Egli, M., Castiglioni, S., & Maier, J. A. (2020). Scalable microgravity simulator used for long-term musculoskeletal cells and tissue engineering. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijms21249789>

CITACIÓN: Muñoz Silva, B.L., & García Luna, F.J. (2026). Sistema robótico basado en cables para emulación de microgravedad [Fronteras de la Ingeniería y Transformación Tecnológica]. *Memorias Científicas y Tecnológicas*, 5(1), 16-17.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUAREZ
INSTITUTO DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA
CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA

SISTEMA ROBÓTICO BASADO EN CABLES PARA EMULACIÓN DE MICROGRAVEDAD

ASESOR: DR. FRANCESCO JOSE GARCIA LUNA
BRENDA LIZETH MUÑOZ SILVA

Antecedentes

El desarrollo de simulaciones de microgravedad requiere plataformas con control de posición y aceleración en tiempo real. Los Robots Paralelos Accionados por Cables son estructuras ligeras y rápidas, ideales para estas aplicaciones; sin embargo, enfrentan desafíos críticos relacionados con su estabilidad y precisión. La investigación destaca que la distribución desigual de tensiones en los cables, la sensibilidad a perturbaciones externas y las oscilaciones inherentes a los sistemas con restricciones insuficientes comprometen su funcionamiento, lo que obliga a implementar modelos dinámicos complejos y técnicas de control robusto. Ante estas limitaciones, la integración de sensores inerciales, como los MPU (acelerómetros y giroscopios), se presenta como una solución clave para el monitoreo y las correcciones dinámicas inmediatas.

Planteamiento del problema

En Ciudad Juárez la industria de manufactura y la automatización ha experimentado un crecimiento sostenido, impulsado por la adopción de tecnologías robóticas para optimizar los procesos de producción. Sin embargo, este avance se ha centrado principalmente en soluciones orientadas a la manufactura de alta precisión, dejando un vacío significativo en el ámbito de desarrollo e investigación de sistemas robóticos avanzados. Específicamente, existe una brecha notable en la disponibilidad de plataformas experimentales y accesibles que permitan a la comunidad académica local explorar la dinámica de sistemas complejos.

Objetivo

Crear un sistema robótico basado en cables para emulación de la microgravedad.

Objetivos particulares

- Diseñar un sistema robótico basado en cables.
- Modelar la cinemática inversa del robot paralelo, estableciendo las ecuaciones de movimiento que describen su comportamiento dinámico.
- Diseñar un algoritmo de control en lazo cerrado que permita calcular y aplicar la compensación activa de la aceleración en el sistema.
- Validar experimentalmente el sistema de control, midiendo la aceleración residual bajo perturbaciones.

Justificación

El proyecto se centra en mejorar las oportunidades académicas y contribuir al ámbito educativo y científico. Propone un sistema robótico basado en cables para emular microgravedad, ofreciendo una alternativa de bajo costo a métodos tradicionales. Este sistema es útil para validar equipos y realizar experimentos, fortaleciendo la innovación académica y ampliando las oportunidades de investigación con una herramienta económica para estudiar sistemas complejos.

Alcances

El proyecto consiste en desarrollar un prototipo de sistema robótico basado en cables que actúe como emulador de microgravedad, limitado a movimientos en los ejes X e Y. El diseño cuenta con 2 grados de libertad, 4 motores NEMA 17 y 4 cabrestantes para controlar la tensión de los cables. La plataforma rígida, que porta la carga

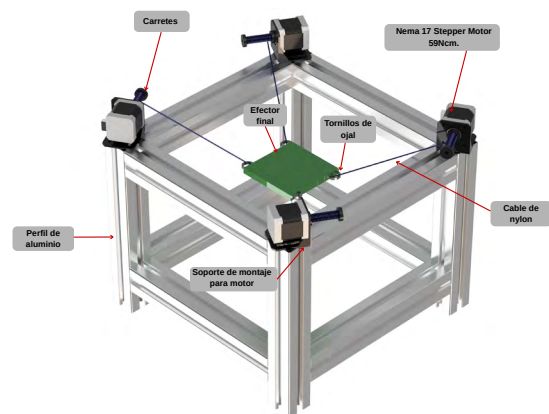
útil y el sensor inercial (MPU), soporta hasta 100 g. Se implementarán los modelos cinemáticos y dinámicos, junto con un control de lazo cerrado para la compensación activa de la gravedad mediante la adquisición de datos del MPU y la modulación de la tensión de los cables.

Delimitaciones

- Desarrollo y validación de un prototipo de laboratorio, sin pruebas industriales.
- El sistema estará limitado para desplazar máximo 100 gramos.
- Uso exclusivo de componentes comerciales de bajo costo y Arduino para el control.
- Se emplearán sensores accesibles y económicos, como MPU de bajo costo, para obtener las mediciones necesarias. Sin embargo, esta elección limita la precisión de los resultados al analizar la emulación de microgravedad, ya que el bajo costo de los sensores reduce su exactitud.

Resultados esperados

Se espera obtener un prototipo funcional de sistema robótico basado en cables capaz de ejecutar movimientos controlados en el plano X-Y y emular condiciones de microgravedad mediante la compensación activa de la fuerza de gravedad. El sistema deberá demostrar estabilidad y precisión en su control de lazo cerrado, con aceleraciones residuales mínimas en la carga útil de hasta 100 gramos. Asimismo, se prevé la validación de los modelos cinemáticos y dinámicos, junto con la implementación exitosa de la adquisición de datos del sensor inercial (MPU). Finalmente, el proyecto busca validar experimentalmente la viabilidad del sistema como plataforma de bajo costo para la investigación y la formación en robótica avanzada y sistemas complejos.



Referencias

- [1] L. Zhang, L. Li, Y. Zou, K. Wang, X. Jiang, and H. Ju, "Force control strategy and bench press experimental research of a cable driven astronaut rehabilitative training robot," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 9981-9989, 2017.
- [2] S. W. Hwang, D. H. Kim, J. Park, and J. H. Park, "Equilibrium configuration analysis and equilibrium-based trajectory generation method for under-constrained cable-driven parallel robot," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 112134-112149, 2022.
- [3] Z. Chen and X. Wang, "Dynamic modeling and residual vibration suppression of the redundantly-actuated cable driving parallel manipulator," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 99422-99430, 2020.
- [4] H. H. Cheng and D. Lau, "Cable attachment optimization for reconfigurable cable-driven parallel robots based on various workspace conditions," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 39, pp. 3759-3775, 10 2023.
- [5] A. Cazzaniga, F. Ille, S. Wuest, C. Haack, A. Koller, C. Giger-Lange, M. Zocchi, M. Egli, S. Castiglioni, and J. A. Maier, "Scalable microgravity simulator used for long-term musculoskeletal cells and tissue engineering," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 21, pp. 1-14, 12 2020.