

AVANCES EN EL DESARROLLO DE UN ROBOT TREPADOR DE ESTRUCTURAS CILÍNDRICAS

Óscar Reinoso, Roque Salterén(*), Rafael Aracil (**), Miguel Almonacid (*), Carlos Pérez

Universidad Miguel Hernández
Dpto. Ingeniería
03202 Elche-Alicante
E-mail: o.reinoso@umh.es

(*) Universidad Politécnica de Cartagena
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

(**) Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería de Sistemas, Electrónica e Informática Industrial (DISAM)

Resumen

En este artículo se presentan los avances alcanzados en la realización de un segundo prototipo para el diseño de un robot trepador sobre estructuras cilíndricas alargadas. Se ha realizado un nuevo diseño que posibilita un control más robusto de la estructura mecánica así como una mejor y adecuada maniobrabilidad. Asimismo se presenta el algoritmo utilizado para el control de trayectorias en tiempo real basado en la medida estimada del centro de la estructura cilíndrica por la que asciende el robot mediante el empleo de unos sensores de ultrasonidos en cada una de las bases del robot.

Palabras Clave: Robots paralelos, Sistemas neumáticos. Robots trepadores.

tipo de manipuladores pueden ser capaces de manejar cargas significativamente mayores que otro tipo de estructuras.

- Las estructuras paralelas son mecanismos que ofrecen una alta rigidez, un relativo bajo peso y una alta velocidad de operación, en comparación con otro tipo de estructuras similares.
- Los robots paralelos permiten solucionar complejos cambios en la trayectoria a realizar.
- Este tipo de estructuras utilizan un mínimo número de actuadores neumáticos, en contraste con otros similares. Sin embargo son muy importantes los aspectos técnicos que simplifiquen el diseño mecánico y el control.

El artículo se ha estructurado de la siguiente forma: en primer lugar se revisa la estructura física del robot diseñado en este segundo prototipo. En el siguiente apartado se comentan las líneas generales del hardware de control utilizado en el mismo. Seguidamente se ofrecen algunos detalles del algoritmo utilizado que posibilita la realización de un control de trayectorias en tiempo real. Por último se presentan las diferencias significativas con respecto al primer prototipo y los trabajos presentes y futuros que se tiene previsto desarrollar.

1 INTRODUCCIÓN

En este artículo se presentan algunos desarrollos alcanzados en el diseño y fabricación de un segundo prototipo de un robot trepador capaz de ascender por estructuras tubulares. La estructura diseñada está basada en plataformas paralelas de tipo Stewart de 6 grados de libertad.

El uso de plataformas paralelas como robots móviles capaces de ascender por este tipo de estructuras presenta algunas ventajas significativas:

- En las plataformas de tipo Stewart [3][4][5], los actuadores de potencia están conectados directamente a la base del robot, que es también el efector final. De esta forma, este

2 ESTRUCTURA FÍSICA DEL ROBOT

El robot diseñado y construido como segundo prototipo está basado en una plataforma Stewart de 6 grados de libertad. La estructura del robot se ha

diseñado aplicando técnicas de elementos finitos con el propósito de alcanzar una elevada rigidez con un peso razonable. El uso de actuadores neumáticos posibilita la reducción tanto del peso como del coste final en el prototipo fabricado.

El prototipo diseñado en esta segunda versión está formado por dos anillos, cada anillo dispone de una articulación que permite su apertura manual, con la finalidad de colocar el robot alrededor de la estructura por la que debe desplazarse. En cada anillo se dispone de un sistema prensor compuesto de tres accionamientos lineales que permiten la sujeción en la estructura. Se ha previsto uno o varios brazos mecánicos, localizados en una de las bases que permitan la realización de tareas teleoperadas por un operario. En la figura 1 se muestra la morfología del sistema propuesto y una secuencia de ascenso en trayectoria recta del robot a lo largo de una estructura tubular.

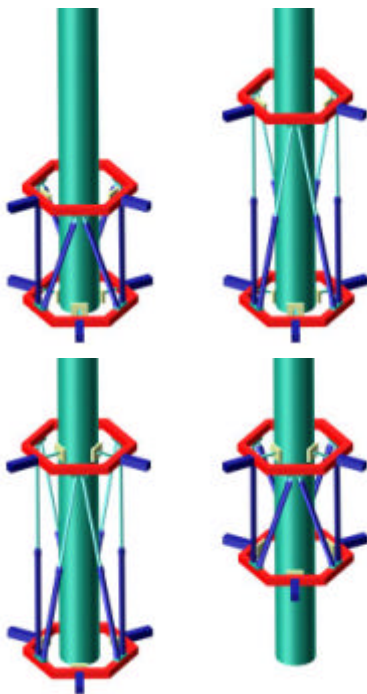


Figura 1: Morfología del robot trepador paralelo y secuencia de ascenso.

En esta segunda versión se han utilizado como en la primera cilindros neumáticos debido a las características anteriormente reseñadas. A diferencia del primer prototipo estos cilindros son más cortos y de un menor diámetro que los utilizados en el primer prototipo. Estos actuadores permiten realizar un control más robusto y fiable que el alcanzado sobre la primera versión del robot trepador.

La morfología propuesta, como se comentó previamente, está basada en una plataforma paralela con 6 grados de libertad, con una cadena cinemática

RRPS (donde los grados de libertad **RR** pertenecen a una junta universal, **P** es un grado de libertad que pertenece a un actuador lineal de potencia y **S** es una junta esférica). Se ha calculado y modelado tanto la solución cinemática inversa que se calcula a partir de la posición y orientación del efector final, como la solución cinemática directa. La solución cinemática inversa permitirá calcular las variables de comando necesarias para cumplir con una planificación de trayectorias programada [1][2].

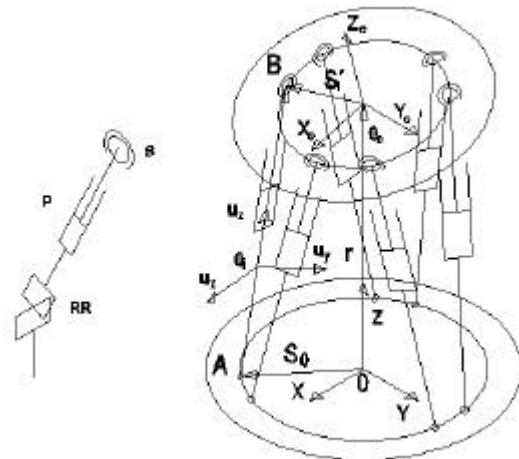


Figura 2: Estructura general de un robot paralelo de 6 grados de libertad.

En la Tabla 1 aparecen reflejadas las especificaciones técnicas de la estructura mecánica desarrollada en este segundo prototipo.

No.	Item	Descripción
1	Grados de Libertad	6 + 2 (brazo manipulador)
2	Material	Duraluminio 6063 T5 y Acero
3	Actuadores	Cilindros neumáticos de doble efecto
4	Diámetro de los anillos	800 mm Estructuras cilíndricas de hasta 600 mm
5	Capacidad de desplazamiento por ciclo	de 600 mm por
6	Velocidad de subida	0,4 m/seg.
7	Capacidad de carga útil	60 Kg.
8	Relación Carga útil / peso	5

Tabla 1: Componentes del sistema neumático.

3 HARDWARE DE CONTROL

El control de los actuadores neumáticos es un proceso suficientemente complejo en si mismo debido a la no linealidad causada por la compresibilidad del aire originada por efectos no-lineales de la fricción a bajas velocidades [6][7].

Para realizar un estudio más exhaustivo y completo del comportamiento de la estructura completa se ha diseñado y fabricado una plataforma experimental que permite comprobar y demostrar la viabilidad de diferentes algoritmos de control sobre un cilindro neumático [8]. En la figura 3 aparece ilustrado la plataforma experimental utilizada como base para el desarrollo del control de los cilindros neumáticos. Los resultados alcanzados basados en la identificación del modelo han demostrado que el sistema puede ser modelado como un sistema de tercer orden con un polo en el origen y unos ceros debido al modelo aproximado y a los efectos no lineales de la fricción antes comentados. Es necesario destacar que el sistema presenta una alta dinámica debido a la alta diferencia existente entre el comportamiento del cilindro en el centro y en los extremos de la cámara.



Figura 3: Plataforma experimental desarrollada.

Para el control de todos los actuadores neumáticos se utiliza una tarjeta de control multitejes sobre bus VME. Esta tarjeta de control se encuentra montada sobre la base inferior del robot siendo supervisado su funcionamiento por parte del operario desde el puesto inferior de control.

En la Tabla 2 se recogen algunos detalles de los actuadores neumáticos utilizados así como de los sensores incluidos en el sistema.

Componente	Descripción	Fabricante
<i>Cilindro neumático de doble efecto</i>	50 mm \varnothing Cámara 16 mm \varnothing Vástago 600 mm Carrera 6 bar Presión Mx.	Unimatics
<i>Válvula proporcional de tres vías</i>	24v Alimentación 0-10v Comando 10bar Presión Mx.	Festo MPYE-5-1/8-HF
<i>Encoder incremental</i>	5v Alimentación 9.75 pulsos/mm	LX-EP-40
<i>Tarjeta de control Multitejes</i>	PMAC-VME 8-axis	Delta-Tau

Tabla 2: Detalles de los elementos empleados

4 CONTROL CINEMÁTICO

Para que el robot sea capaz de desplazarse autónomamente con una trayectoria sobre una estructura recta o curva, se utiliza un algoritmo que detecta y corrige el error de centrado del robot respecto al eje de la citada estructura. La información de centrado se consigue a partir de la lectura emitida por tres sensores de ultrasonidos separados 120° que se encuentran en cada uno de los anillos hexagonales del robot (figura 4).

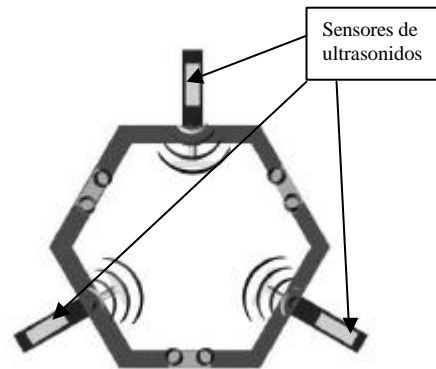


Figura 4: Disposición de los sensores de ultrasonidos en cada uno de los anillos hexagonales que componen las bases del robot.

Los sensores utilizados son Siemens (RG6233-3JS00) capaces de medir en un rango entre 150 y 1000 mm. Tomando como datos de partida los datos suministrados por estos sensores, se ha implementado un algoritmo sobre el sistema de control multitejes del robot. Este algoritmo plantea la discretización total

del robot en tramos cortos que pueden ser ajustados dependiendo de la curvatura del tubo. El centro de la estructura cilíndrica debe pasar por cada punto generado por la discretización. En la figura 5 aparece un detalle de estos sensores dispuestos en el prototipo fabricado. De esta forma por cada punto interpolado se resuelve la cinemática inversa que permite calcular los desplazamientos que deben tener cada uno de los accionamientos lineales de forma que se cumpla el objetivo antes planteado. La corrección de centrado se realiza partiendo de la información aportada por estos sensores de ultrasonidos.



Figura 5: Sensores de ultrasonidos empleados.

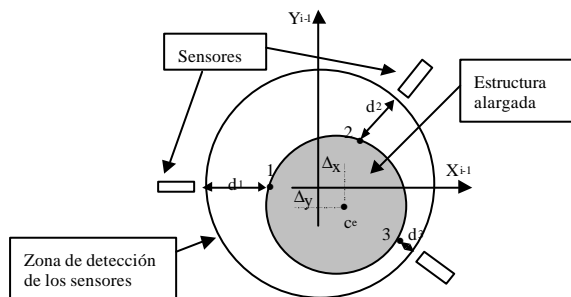


Figura 6: Error de centrado para la corrección de trayectorias del robot.

Puesto que la posición de los sensores es conocida, las distancias d_i ($i=1,2,3$) ofrecen los puntos 1 2 y 3 respectivamente. Estos puntos definen un círculo cuyo centro se corresponde con el centro de la estructura por donde ha de pasar el robot. Así para calcular la desviación (Δ_x, Δ_y) es necesario solucionar la siguiente ecuación:

$$R = \sqrt{(x_i - ? x)^2 + (y_i - ? y)^2}$$

donde (x_i, y_i) son las coordenadas de los puntos y R es el radio de la estructura.

5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se han presentado en este artículo los principales avances obtenidos en el desarrollo de un robot trepador para estructuras cilíndricas. Se ha revisado la estructura mecánica respecto a la desarrollada en un primer prototipo con lo que se ha obtenido un mejor compromiso en la robustez del sistema de control. De igual forma se han presentado algunos detalles de la arquitectura de control utilizada así como de los sensores y actuadores empleados y que configuran el núcleo del sistema.

Asimismo se ha presentado el algoritmo utilizado como base para el cálculo del centro de las estructuras cilíndricas sobre las que debe pasar el robot en su ascensión por las mismas.

En la figura 7 se puede apreciar el robot ascendiendo por una estructura cilíndrica. En la parte superior del anillo se observan los sensores de ultrasonidos utilizados como medida para el centrado del robot en estructuras no rectilíneas.

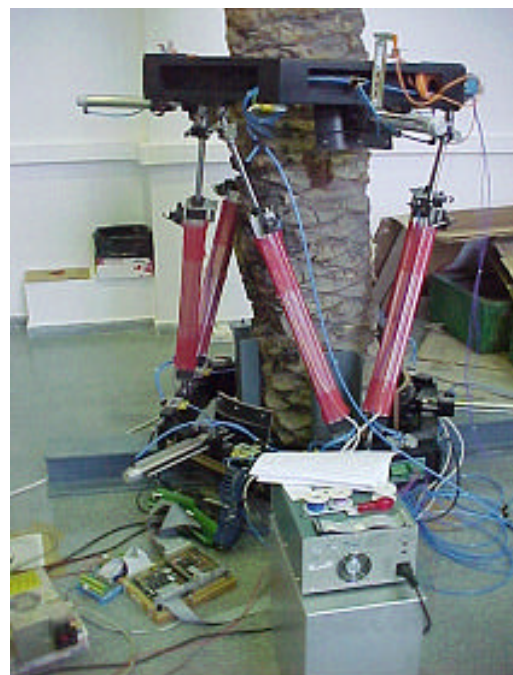


Figura 7: Prototipo fabricado de robot trepador

En la actualidad nos encontramos desarrollando el diseño del brazo robot que portará el robot en su extremo para la realización de tareas teleoperadas. Este brazo robot portará en su extremo un sistema de visión de forma que posibilite al usuario controlar de una forma más clara y precisa las operaciones a efectuar con el sistema.

Agradecimientos

El trabajo presentado en este artículo se ha realizado gracias a la financiación aportada por el Ministerio de Educación y Cultura (Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación Científica) para el desarrollo del proyecto de investigación *Robot Trepador para mantenimiento de palmerales y de estructuras cilíndricas alargadas* 1FD1997-1338.

Referencias

- [1] R. Saltarén, R. Aracil, O. Reinoso, J. M. Sabater, and M. Almonacid, "Parallel Climbing Robot for Construction, Inspection and Maintenance", *International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, Madrid, 1999.
- [2] R. Aracil, M. Almonacid, R. Saltaren, JM. Sabater and JM. Azorin, "Kinematic control for navigation of mobile parallel robots applied to large structures". *Proceedings of the 17th IAARC/CIB/IEEE/IFR International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, p. 551-557, Taipei, Taiwan 2000
- [3] Merlet, J. P, Les Robots Parallèles, Ed. Hermes, 1997.
- [4] D. Stewart, Proc. Instn. Mech. Engrs (Part I) 180(15),pp.371-386, 1965
- [5] V.E. Gough, S.G. Whitehall, Proc. 9th Int Tech. Congr. FISITA, Instn. Mech 177, 1962.
- [6] B. Dasgupta, T.S. Mruthyunjaya, Closed-Form Dynamic equations of the general Stewart platform through the Newton-Euler approach. *Mech. Mach. Theory* Vol 33, N° 7, pp 993-1012, 1998.
- [7] M. Almonacid, S.K. Agrawal, R.Aracil, R.J. Saltaren, "Multi-Body Dynamic Analysis of a 6-dof Parallel Robot", Procc. of the 2001 ASME Intern. Symposium on Advances in Robot Dynamics and Control, New York, Nov. 2001
- [8] Rubio A.E., Reinoso O., Saltarén R., Pérez C., Jiménez L.M., (2001) "Identificación experimental de un cilindro neumático", *Simposio Internacional de Ingeniería Eléctrica SIE'2001 Santa Clara. Cuba.*