

JORNADAS de ROBÓTICA, EDUCACIÓN y BIOINGENIERÍA 2022

XII Jornadas Nacionales de Robótica
VIII Seminario de Educación en Automática
XIII Simposio CEA de Bioingeniería

Málaga, 18-20 de mayo, 2022



Colaboran



Libro de actas

de las

JORNADAS de ROBÓTICA, EDUCACIÓN y BIOINGENIERÍA 2022

XII Jornadas Nacionales de Robótica
VIII Seminario de Educación en Automática
XIII Simposio CEA de Bioingeniería

Málaga, 18-20 de mayo, 2022

Edita: Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad de Málaga

ISBN: 978-84-09-41095-8



© 2022 by the authors.
Submitted for possible
open access publication
under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).

ROBOT DE CABLES PARA LA LIMPIEZA DE VENTANAS

Sergio Santamaría Morón

Universidad de Valladolid, ITAP, Dr Mergelina s/n, 47011Valladolid, sergio.santamam@gmail.com

Eduardo Zalama

Universidad de Valladolid, ITAP, Dr Mergelina s/n, 47011Valladolid, ezalama@eii.uva.es

Jaime Gómez-García-Bermejo

Universidad de Valladolid, ITAP, Dr Mergelina s/n, 47011Valladolid, jaigom@uva.es

Resumen

En este artículo se presenta el desarrollo de un robot de cables para la limpieza de ventanas. El sistema está compuesto por una cesta con rodillo escamoteable, sistema pulverizador de agua y escurridor. La cesta está suspendida mediante dos grúas motorizadas que permiten posicionar la cesta en cualquier ubicación de una fachada. El sistema está programado sobre tres controladores Esp32 que se comunican de forma inalámbrica mediante protocolo ESPNOW. El manejo se realiza mediante un mando a distancia que permite el movimiento y accionamiento de la cesta de forma manual y programar trayectorias mediante comandos GCODE.

Palabras clave: Robot limpieza ventanas, robot de cables, gcode, esp32.

1 INTRODUCCIÓN

El acceso a grandes superficies verticales como son las fachadas de edificios para realizar labores de limpieza de ventanas es una tarea recurrente que debe realizarse de forma frecuente.

Tradicionalmente el acceso a estas superficies se viene realizando, instalando andamios fijos, andamios suspendidos mediante cables o utilizando grúas que permiten a los operarios acceder a las zonas de intervención. Estas soluciones presentan problemas importantes de seguridad para las personas que realizan estas actividades. Además, en muchas ocasiones para realizar estas tareas es necesario restringir la circulación de vehículos y personas lo que ocasiona costos considerables. Una alternativa para el acceso a grandes espacios de trabajo es la utilización de robots para la limpieza de cristales.

Actualmente se pueden encontrar diferentes modelos de robots limpiacristales. Se pueden clasificar en robots domésticos y robots profesionales para la limpieza de fachadas. Los robots suelen disponer de mecanismos de adherencia basados en succión [5] [6] o en imanes [1], o incluso robots aéreos [7]. Estos sistemas tienen

grandes inconvenientes a la hora de llevar a cabo el trabajo y es que, si se presenta una pérdida de adherencia, o corte de suministro existe peligro que se precipiten al vacío y generar grandes destrozos. Además de la limitada autonomía si son alimentados mediante baterías. A toda la problemática anterior se suma las dificultades para adaptarse a la geometría de edificios tradicionales con entrantes, alfeizares, etc.

Una alternativa para utilizar robots limpiadores suspendidos y accionados mediante cables [1][8]. El robot desarrollado por Kite robotics [4] permite la limpieza de fachadas acristaladas. No obstante, tiene el inconveniente que no puede ser utilizado en edificios convencionales con ventanas con alfeizar. En este artículo se presenta un desarrollo que trata de evitar este inconveniente utilizado una cesta suspendida mediante cables con rodillo escamoteable que permite al rodillo acercarse a las ventanas.

Este artículo está estructurado de la siguiente forma. En la sección 2 se describe estructura del robot. En la sección 3 se describe la estructura computacional. En la sección 4 se describe la funcionalidad obtenida y la sección 5 se dedica a las conclusiones.

2 ESTRUCTURA DE ROBOT

Los robots paralelos operados mediante cables (CDPR- Cable Driven Parallel Robots) son un tipo particular de robot paralelo en los que el efector final (EF) se suspende por medio de varios cables flexibles en lugar de uniones rígidas.

En [3] desarrollamos un robot de 3 Grados de Libertad dirigido por cables capaz de generar cualquier trayectoria, tanto circular como lineal, a lo largo de una superficie vertical de trabajo. El robot desarrollado operaba sobre un tablero de 1x1.3 m y era capaz de dibujar trayectorias GCODE sobre la superficie. En este caso hemos extendido el desarrollo para su aplicación a edificios reales en operaciones de limpieza de fachadas. Así, el CDPR propuesto está compuesto por una plataforma o cesta móvil en la que se incluyen los elementos necesarios para la limpieza de ventanas. La cesta está suspendida mediante cables que modificando su longitud mediante el arrollamiento en dos tambores

accionados por motores permite posicionar la cesta en cualquier ubicación de la fachada.

2.1 Cesta suspendida por cables con rodillo retráctil

La cesta es la encargada de llevar a cabo la limpieza de fachadas. Está constituida por una estructura de perfil de aluminio de estructuras de tamaño 1000x750x540 mm.

Sobre esta se encuentra un rodillo de nylon giratorio retráctil que se aproxima a la superficie mediante una guía móvil, gracias a la función retráctil es capaz de sortear los obstáculos de una fachada, aproximándose o alejándose de esta. Para evitar el balanceo de la cesta por cambio del centro de gravedad al extender el rodillo incluye un sistema de contrapeso que mantiene estable el centro de gravedad de la cesta. La cesta también incluye difusores encargados de proyectar agua u otras sustancias limpiadoras sobre la superficie. Para el secado de la superficie incluye un limpia escurridor para eliminar el agua de la superficie. El escurridor realiza la eliminación de agua mediante el movimiento combinado de abatimiento sobre la superficie y desplazamiento de la cesta de arriba hacia abajo.

Rodillo, guía y escurridor son accionados mediante motores de corriente continua. El difusor de agua es accionado mediante una mini bomba de limpiaparabrisas de camión. Los accionamientos se controlan mediante relés activados mediante microcontrolador Esp32. En la figura 1 se muestra un detalle de la cesta.

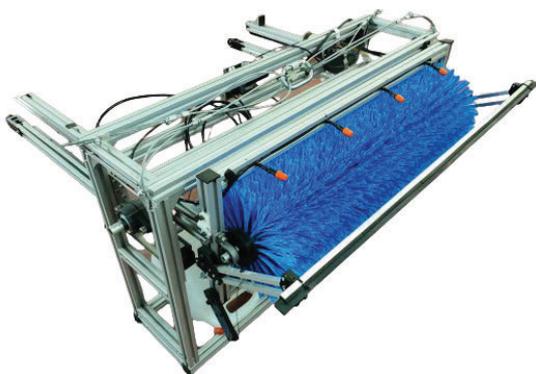


Figura 1: Cesta.

2.1 Estructura mecánica. Grúas.

La cesta está suspendida mediante dos grúas estáticas, soportando hasta 500 Kg cada una. Las

grúas se ubican en la azotea del edificio en los dos extremos de la fachada y permiten orientarse para ajustar la distancia a la fachada de forma que cuando el rodillo se acerque a la ventana pueda hacer contacto con el cristal. El movimiento de la guía conjuntamente con el movimiento de la cesta permite sortear obstáculos como son los alfeizares de las ventanas. A cada grúa se ha incorporado un motor Proppullator 3500-E de DC 12V, 25A, 300W, un codificador incremental OMRON E6B2-CWZ6C para determinar la longitud del cable extendido, así como los armarios eléctricos con fuentes de alimentación con los drivers de potencia y el microcontrolador ESP32.

El posicionamiento se lleva a cabo gracias a los comandos G-code que se reciben del mando, estos son interpretados de acuerdo a la cinemática y enviados a los drivers correspondientes que generan la señal PWM que modula la velocidad y sentido de los motores. En este caso un único microcontrolador ESP32 se encarga de recibir e interpretar los comandos GCODE, calcular las trayectorias de acurado a la cinemática y controlar en velocidad y posición los motores para posicionar la grúa.

En la figura 2 se muestra un detalle de una de las grúas con el motor.



Figura 2: Grúa motorizada.

3. SISTEMA COMPUTACIONAL

Uno de los objetivos de este proyecto es lograr un control remoto eficiente y conseguir que los

diferentes subsistemas se comuniquen sin medios físicos, por ello se ha elegido como microcontrolador principal el modelo ESP32 DEVKIT V1 (figura 3). Este microcontrolador nos ofrece una gran ventaja frente a otros y es que permite establecer conexión WIFI y BLUETOOTH.

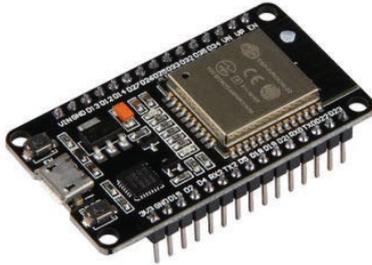


Figura 3. ESP32 DEVKIT V1.

Para la comunicación entre los tres microcontroladores se usará el protocolo ESP-Now, un protocolo diseñado por *Espressif* específicamente para sus micros, que trabaja en la banda de 2.4Ghz y es capaz de enviar hasta 250bytes con distancias de entre 100 y 500 metros. El envío de un mensaje lleva tan poco como 4ms debido principalmente a su bajo *overhead*. Pero es especialmente rápido estableciendo la conexión, cosa que solo hace una vez, luego solamente emite sin más. Es tan rápido que, en inicializarse, conectar, emitir y recibir transcurre únicamente 90ms. Ideal para proyectos con baterías de Ion litio como es el caso del mando. Disponemos de 3 nodos, un nodo maestro formado por el mando y dos nodos esclavos formados por la grúa y la cesta. La comunicación entre mando y cesta se hace de forma unidireccional, únicamente es capaz de enviar comandos, sin embargo, la comunicación entre mando y grúas es bidireccional ya que además de enviar comandos hacia las grúas, estas deben responder cuando se les solicita información sobre la posición de la cesta. En la figura 4 se muestra un detalle del esquema de comunicación.

Cuando el sistema se inicializa se establecen las conexiones de los nodos y sus respectivas direcciones MAC, una vez establecida la conexión es necesario disponer de la última posición conocida (x,y) de la cesta que es recuperada de la EEPROM del ESP32 del mando y enviada al ESP32 de las grúas. En caso que la posición no sea la deseada, es posible calibrar la longitud de los cables para establecer una nueva posición HOME (0,0).



Figura 4: Esquema de comunicación.

La ejecución de cualquier comando Gcode se puede realizar a través del interfaz RS232 del ESP32 de las grúas mediante un monitor serie a efectos de depuración o mediante el mando. El mando permite el movimiento manual de la cesta mediante un potenciómetro digital o mediante un programa GCODE.

4. FUNCIONALIDAD OBTENIDA

El mando por control remoto, alimentado por baterías de Ion litio lo que ofrece la posibilidad de manejar el sistema desde cualquier ubicación desde la que se tenga acceso visual a la cesta.

Un potenciómetro digital permite enviar referencias de posicionamiento en coordenadas cartesianas de la cesta en unidades de cm, dm o metros lo que permite el posicionamiento de la cesta en cualquier ubicación de la fachada. Además, permite activar de forma independiente los diferentes accionamientos de la cesta mediante botones. De esta forma es posible de forma manual iniciar la secuencia de movimientos y operaciones para realizar la limpieza de la fachada. Además, el mando incorpora una tarjeta microSD lo que permite grabar los comandos GCODE de las operaciones según se van realizando para repetirlos posteriormente. Otra posibilidad es tomar un ortofoto calibrada de la fachada y definir los comandos a realizar con un editor de textos en un ordenador. En la figura 5 se muestra un detalle del mando.



Figura 5: Mando control remoto.

Tabla 1. Comandos Gcode implementados

Comado Gcode	Descripción
G90	Movimiento en coordenadas absolutas
G91	Movimiento en coordenadas relativas
G00	Movimiento controlado de alta velocidad
G01	Movimiento con interpolación lineal
G04	Pausa la ejecución durante el periodo de tiempo establecido
B15	Retorno a la posición home
B04	Test de Encoder
B08	Calibración de cables
B09	Movimiento independiente de los cables
M0	Pausa
M1	Reanudación del movimiento
M2	Fin de programa
M6	Activar difusor agua
M7	Desactivar difusor de agua
M8	Activar limpiacristales
M9	Desactivar Limpiacristales
M10	Activar el rodillo
M11	Desactivar el rodillo

Los comandos Gcode implementados se muestran en la tabla 1. Además, se incluyen comandos específicos para cambiar la configuración de diversos parámetros de calibración del dispositivo como velocidad máxima, dimensiones fachadas, valores PID etc.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta el desarrollo de un robot limpiacristales operado mediante cables. La principal ventaja del sistema propuesto es que está diseñado para trabajar en fachadas de edificios convencionales con azotea en los que se puedan ubicar las dos grúas que permitan descolgar la cesta limpiadora. El sistema de guía retráctil permite acercar el rodillo, pulverizador y escurridor al cristal

y sortear obstáculos como alfeizar de ventanas. El sistema propuesto es de bajo costo pues utiliza grúas convencionales de camión y motores de cabestrante de vehículos todo terreno. El sistema computacional basados en microcontroladores Esp32 y comunicación inalámbrica permite un rápido despliegue en diferentes edificios. El movimiento manual mediante mando y la posibilidad de programas con comandos GCODE in situ facilita la utilización del sistema. Actualmente se han realizado todas las pruebas en laboratorio y vamos a acometer las pruebas sobre un edificio real. Como futuras líneas se propone diseñar un sistema para la calibración automática y búsqueda del cero que ahora hay que realizar de forma manual. También se propone diseñar un sistema de auto nivelación y reposicionamiento de la cesta en caso de de deslizamiento del cable sobre la rueda del codificador incremental.

English summary

Wired window cleaning robot

Abstract

This paper presents the development of a cable driven robot for cleaning windows. The system is made up of a basket with a retractable roller, a water spray system and a drainer. The basket is suspended by means of two motorized cranes that allow the basket to be positioned in any location on a façade. The system is programmed on three Esp32 controllers that communicate wirelessly using the ESPNOW protocol. The handling is done by means of a remote control that allows the movement and actuation of the basket manually and program trajectories by means of GCODE commands.

Keywords: Window cleaning robot, cable driven robot, gcode, esp32.

Referencias

- [1] T. Akin_ev, M. Armada, and S. Nabulsi, "Climbing cleaning robot for vertical surfaces," *Ind. Robot, Int. J.*, vol. 36, no. 4, pp. 352_357, Jun. 2009.
- [2] Y.-H. Choi and K.-M. Jung, "Windoro: The world's _rst commercialized window cleaning robot for domestic use," in *Proc. 8th Int. Conf. Ubiquitous Robots Ambient Intell. (URAI)*, Incheon, South Korea, Nov. 2011

- [3] R. Gómez, E. Zalama J. Gómez-García-Bermejo. Robot de cables para operación en superficies verticales. Actas de las Jornadas Nacionales de Robótica 2019. Organizado por Universidad de Alicante, Universidad Miguel Hernández de Elche, Comité Español de Automática-Grupo Temático de Robótica, 2019, p. 15-20.
- [4] Kite Robotics. <https://www.kiterobotics.com> Accedido 27/04/2022.
- [5] N. Mir-Nasiri, H. J. Siswoyo, and M. H. Ali, "Portable autonomous window cleaning robot," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 133, pp. 197_204, Jan. 2018.
- [6] M. Vega-Heredia, R. Elara Mohan, Tan Yeh Wen, J. Siti 'Aisyah, A. Vengadesh, S. Ghanta, S. Vinu, Design and modelling of a modular window cleaning robot, *Automation in Construction*, Volume 103, 2019, Pages 268-278, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.025>.
- [7] H. Zhang, J. Zhang, and G. Zong, "Realization of a service climbing robot for glass-wall cleaning," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics*, Shenyang, China, 2004, pp. 395_400.
- [8] H. Zhang, J. Zhang, R. Liu, and G. Zong, "Mechanical design and dynamics of an autonomous climbing robot for elliptic half-shell cleaning," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 4, no. 4, pp. 437_446, 2007.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/4.0/deed.es>).