Diseño e implementación de un sistema de teleoperación para un vehículo robótico basado en ESP32, Arduino Mega y transmisión de video en tiempo real

José Eleazar Peralta López[1], Eliseo Lule Nava[1], Luz Andrea Pérez Aguilar[1]
[1] Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra. joperalta@itess.edu.mx, at22110360@itess.edu.mx, at22110141@itess.edu.mx

Resumen

La teleoperación de vehículos robóticos permite realizar tareas de exploración y asistencia remota en entornos donde el acceso humano puede representar dificultades o riesgos. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un vehículo robótico teleoperado mediante una arquitectura distribuida compuesta por un ESP32-CAM, un ESP32 y un Arduino Mega 2560. El ESP32-CAM recibe los comandos mediante Bluetooth y los transfiere directamente al ESP32, donde son procesados para generar las instrucciones de movimiento. El Arduino Mega controla los motores y el servomecanismo de orientación de la cámara, mientras que el ESP32-CAM realiza la transmisión de video mediante Wi-Fi. Las pruebas obtuvieron una transmisión de 20 cuadros por segundo a una resolución de 144p, una autonomía aproximada de 35 minutos y un alcance de operación de 10 m sin antena externa y aproximadamente 43 m con antena externa. Los resultados permiten establecer una plataforma experimental de bajo costo para su posterior adaptación a tareas de asistencia en escenarios de desastre natural.

Palabras clave: teleoperación; vehículo robótico; ESP32; transmisión de video; arquitectura distribuida; asistencia remota.

Introducción

La robótica móvil ha adquirido relevancia debido a su aplicación en entornos industriales, académicos y de investigación, donde los vehículos robóticos pueden emplearse para realizar tareas de exploración, inspección y asistencia remota (Dudek y Jenkin, 2010; Siegwart *et al*., 2011). En particular, los sistemas teleoperados permiten que un operador controle un vehículo a distancia mediante comunicación inalámbrica y reciba información visual del entorno, reduciendo la necesidad de exposición directa en determinadas condiciones de operación.

Uno de los principales retos en el desarrollo de plataformas robóticas móviles consiste en integrar de manera simultánea los sistemas de comunicación, transmisión de video y control de actuadores sin comprometer el desempeño general del vehículo. La concentración de estas funciones en un único dispositivo puede generar una mayor demanda de recursos de procesamiento y comunicación. Una alternativa consiste en emplear arquitecturas distribuidas, donde diferentes unidades de procesamiento realizan tareas específicas.

Los microcontroladores utilizados en plataformas de desarrollo permiten implementar soluciones de bajo costo para aplicaciones robóticas. El ESP32 proporciona capacidades de comunicación inalámbrica y procesamiento, mientras que el Arduino Mega 2560 ofrece recursos suficientes para implementar el control de múltiples actuadores. La incorporación de un ESP32-CAM permite, además, integrar adquisición y transmisión de imágenes en una plataforma compacta (Arduino, 2021; Espressif Systems, 2025).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de teleoperación para un vehículo robótico mediante una arquitectura distribuida que integre comunicación Bluetooth, transmisión de video en tiempo real y control de actuadores. El prototipo se plantea como una plataforma experimental para su posterior evolución hacia un vehículo de asistencia remota capaz de operar en escenarios asociados con desastres naturales.

Metodología

2.1 Arquitectura del sistema

El sistema desarrollado está compuesto por tres unidades principales: un ESP32-CAM, un ESP32 convencional y un Arduino Mega 2560. La distribución de funciones permite separar las tareas de comunicación, procesamiento y actuación.

El ESP32-CAM constituye el punto de recepción de los parámetros enviados por el controlador inalámbrico mediante Bluetooth. Los parámetros recibidos son transferidos directamente al ESP32 convencional, sin realizar procesamiento sobre las órdenes en esta etapa. De manera simultánea, el ESP32-CAM se encarga de la adquisición de imágenes mediante la cámara integrada y de su transmisión a través de Wi-Fi.

El ESP32 convencional recibe los parámetros provenientes del ESP32-CAM, interpreta las órdenes correspondientes al movimiento del vehículo y genera los comandos destinados al Arduino Mega 2560. Finalmente, el Arduino Mega ejecuta las instrucciones recibidas y controla los actuadores del vehículo.

Esta distribución permite separar las funciones principales del sistema y evita concentrar la recepción de comandos, procesamiento, transmisión de video y control de actuadores en un único microcontrolador.

1. **Arquitectura del sistema de teleoperación del vehículo robótico.**

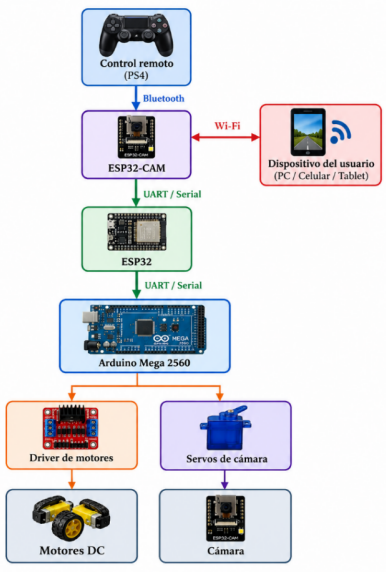


Figura 1. Arquitectura del sistema de teleoperación del vehículo robótico
Fuente: elaboración propia.

2.2 Control y comunicación

El control del vehículo se realiza mediante un controlador inalámbrico conectado al sistema por Bluetooth. Las entradas generadas por el operador son recibidas inicialmente por el ESP32-CAM y transferidas al ESP32 convencional.

El ESP32 interpreta los parámetros recibidos y determina las acciones correspondientes al movimiento del vehículo. Posteriormente, las instrucciones son enviadas mediante comunicación serial al Arduino Mega 2560, que se encarga de ejecutar físicamente las acciones solicitadas.

La comunicación entre los diferentes módulos permite mantener una separación funcional entre la recepción de los comandos, su interpretación y el accionamiento de los motores.

El ESP32-CAM utiliza una cámara OV2640 para proporcionar retroalimentación visual mediante una red Wi-Fi local. El video puede visualizarse desde un teléfono móvil o computadora. La transmisión fue configurada a una resolución de 144p y alcanzó aproximadamente 20 cuadros por segundo durante las pruebas.

2.3 Transmisión de video

La retroalimentación visual del vehículo se implementó mediante el ESP32-CAM y una cámara OV2640. El módulo establece una comunicación mediante Wi-Fi que permite visualizar el video desde un teléfono móvil o computadora.

La transmisión proporciona al operador información visual del entorno durante la conducción, permitiendo complementar las órdenes enviadas mediante el controlador inalámbrico. Durante las pruebas experimentales se obtuvo una velocidad aproximada de 20 cuadros por segundo, manteniendo una transmisión funcional bajo las condiciones de operación evaluadas.

2.3 Alimentación

La alimentación del prototipo se realiza mediante dos baterías de ion-litio tipo 18650 conectadas en serie, proporcionando una tensión nominal aproximada de 7.4 V. La fuente suministra energía a los diferentes elementos electrónicos y a la etapa de potencia del vehículo.
Durante las pruebas se identificó que las variaciones de corriente asociadas con el accionamiento de los motores constituyen un aspecto relevante para la estabilidad del sistema, particularmente en la alimentación de los componentes electrónicos y de comunicación.

Resultados

Las pruebas permitieron verificar el funcionamiento de la teleoperación, transmisión de video y autonomía del prototipo.

Tabla 1. Resultados experimentales del sistema.

Parámetro	Resultado
Resolución de video	144p
Velocidad de video	≈20 FPS
Alcance sin antena externa	≈10 m
Alcance con antena externa	≈43 m
Autonomía	≈35 min

Fuente: elaboración propia.

Durante las pruebas, el sistema permitió ejecutar las acciones de movimiento previstas para el vehículo, incluyendo avance, reversa y giros. También fue posible modificar la orientación de la cámara mediante el servomecanismo.

La arquitectura distribuida permitió mantener de manera simultánea el control del vehículo y la transmisión de video, conservando la funcionalidad del sistema durante las pruebas realizadas.

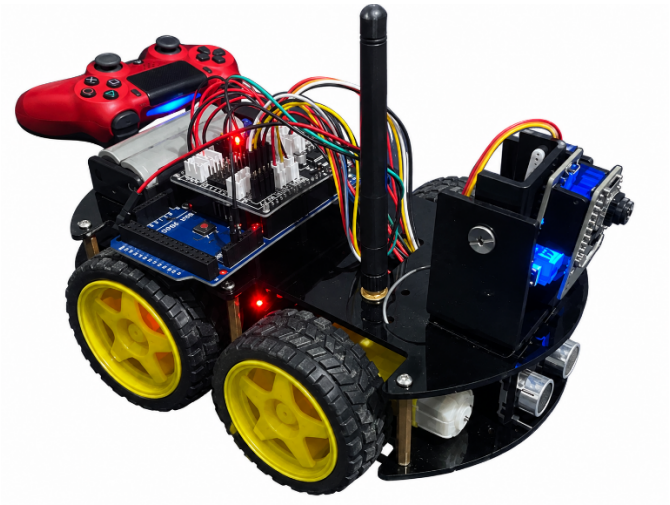


Figura 2. Prototipo robótico teleoperado.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y trabajo futuro

Se implementó un sistema de teleoperación basado en una arquitectura distribuida que integra comunicación Bluetooth, transmisión de video mediante Wi-Fi y control de actuadores. El prototipo alcanzó aproximadamente 20 FPS a 144p, una autonomía de 35 minutos y un alcance de operación de aproximadamente 10 m sin antena externa y 43 m con antena externa.

Como trabajo futuro se plantea incrementar el alcance de operación y mejorar la calidad y estabilidad de la transmisión de video. Asimismo, se propone desarrollar una configuración anfibia que permita al vehículo desplazarse en ambientes terrestres y acuáticos. Estas mejoras están orientadas a la finalidad con la que fue concebido el prototipo: evolucionar hacia un vehículo robótico de asistencia remota para escenarios de desastre natural, donde pueda apoyar tareas de reconocimiento y exploración reduciendo la exposición del personal a zonas potencialmente peligrosas.

Referencias

Arduino (2021). Arduino Mega 2560 Rev3, product reference manual. Arduino. https://agelectronica.lat/pdfs/textos/A/A000067.PDF

Dudek, G., y Jenkin, M. (2010). *Computational principles of mobile robotics (3era eds)*. Cambridge University Press & Assessment. https://assets.cambridge.org/97811084/98470/frontmatter/9781108498470_frontmatter.pdf

Espressif Systems. (2025). *ESP32 series datasheet, Version 5.3.* Espressif Systems. https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., y Scaramuzza, D. (2011). I*ntroduction to autonomous mobile robots (2da. eds.).* MIT Press. https://mitpress.mit.edu/9780262015356/introduction-to-autonomous-mobile-robots/

STMicroelectronics. (2000). *L298 dual full-bridge driver.* STMicroelectronics