

Jornadas de Automática

Implementación de un entorno virtual para teleoperación de robot colaborativo ABB GOFA usando movimiento guiado externamente (EGM)

Oña, E.D.*, Fraile, S., Balaguer, C., Jardón, A.

Robotics Lab, Universidad Carlos III de Madrid, Avda. de la Universidad, nº 30, 28911 Leganés, Madrid, España.

To cite this article: Oña, E.D., Fraile, S., Balaguer, C., Jardón, A. 2024. Virtual environment implementation for ABB GOFA robot teleoperation using externally guided motion (EGM). *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10977>

Resumen

El uso de entornos virtuales en el ámbito de la robótica es cada vez más común haciendo posibles nuevas formas de interacción humano-robot. En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de teleoperación remota e inmersiva de un robot colaborativo ABB Gofa. El entorno virtual presenta dos escenas, una enfocada a la familiarización del usuario con los mandos y el entorno; y la segunda dedicada a la teleoperación del brazo robótico. Para el control remoto del robot, se ha utilizado una comunicación tipo cliente-servidor basada en el sistema de movimiento guiado externamente o *externally guided motion* (EGM). Se han programado diferentes funcionalidades como captura y reproducción de trayectorias, control de un actuador en el extremo del robot, y control del punto de vista del operario.

Palabras clave: Teleoperación, Robot colaborativo, Interacción humano-robot, Realidad virtual, EGM

Virtual environment implementation for ABB GOFA robot teleoperation using externally guided motion (EGM)

Abstract

The use of virtual environments in the field of robotics is increasingly common, making new forms of human-robot interaction possible. This work presents the development of a remote and immersive teleoperation system for an ABB Gofa collaborative robot. The virtual environment presents two scenes, one focused on the user's familiarization with the controls and the environment; and the second dedicated to the teleoperation of the robotic arm. For remote control of the robot, a client-server type communication based on the externally guided motion (EGM) system has been used. Different functionalities have been programmed such as capture and reproduction of trajectories, control of an actuator at the robot's end-effector, and control of the operator's point of view.

Keywords: Teleoperation, Collaborative robot, Human-robot interaction, Virtual reality, EGM

1. Introducción

La interacción humano-robot (HRI) ha evolucionado ampliamente en los últimos años, profundizando en el diseño de robots para interacciones socialmente significativas con humanos y la mejora de estas interacciones (Sheridan, 2016). HRI tiene como objetivo diseñar robots capaces de colaborar eficazmente con humanos en diversos contextos, como entornos industriales, entornos domésticos e instituciones educativas.

En nuestro mundo cada vez más globalizado y digitalizado, donde los avances en las tecnologías móviles y de comunicación están impulsando el rápido desarrollo de conceptos de colaboración, las interacciones tradicionales cara a cara se están complementando y, en ciertos casos, reemplazadas por mecanismos de colaboración remota. La colaboración remota entre humanos y robots tiene un considerable potencial para revolucionar varios campos. Por ejemplo, puede facilitar tareas en

*Autor para correspondencia: eona@ing.uc3m.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

entornos peligrosos al permitir que los humanos controlen los movimientos de robots desde una distancia segura, o desde una posición geográfica diferente. El resultado de esta forma de colaboración humano-robot remota incluye lugares de trabajo más seguros, mayor eficiencia y mayor accesibilidad.

Particularmente en escenarios que involucran control remoto robótico o enseñanza, la falta de comprensión intuitiva y contextual que ofrecen las interfaces de video simples puede plantear desafíos sustanciales. Para superar estas limitaciones, la Realidad Extendida (XR), que abarca la Realidad Aumentada (AR), la Realidad Virtual (VR) y la Realidad Mixta (MR), ofrece una solución prometedora. Sin embargo, es necesario abordar numerosos desafíos para desbloquear todo el potencial de XR en el contexto de la interacción remota entre humanos y robots. Estos desafíos incluyen el diseño de técnicas de interacción intuitivas, la reducción de la latencia del control remoto y la evaluación de sistemas HRI remotos. En este artículo, se presenta un sistema de teleoperación basado en RV para comandar movimientos y grabar trayectorias de un robot colaborativo ABB CRB15000-5 GOFA.

2. Arquitectura del sistema

En este artículo se presenta el desarrollo de un entorno de realidad virtual inmersivo para facilitar la teleoperación y captura de trayectorias de un robot colaborativo ABB CRB15000-5. La arquitectura del sistema de teleoperación se muestra en la Figura 1. Dicha arquitectura de control está basada en tres componentes: el entorno virtual, el sistema de control de movimiento, y el módulo de movimiento guiado externamente (EGM).

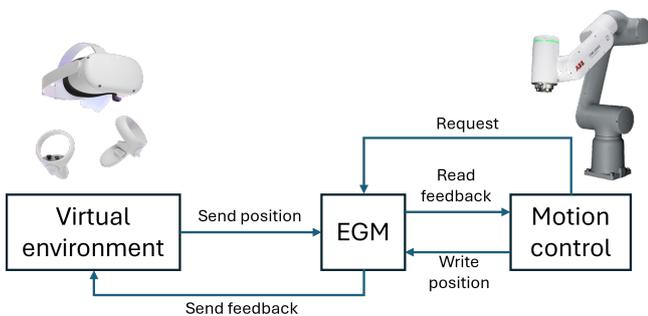


Figura 1: Arquitectura del sistema de teleoperación

Por un lado, el entorno virtual busca ofrecer un ambiente amigable, intuitivo, seguro, y que ofrezca un método adicional a las opciones de programación tradicionales de un robot colaborativo. El visor Oculus Quest 2 es utilizado en este trabajo para permitir una experiencia completamente inmersiva durante la teleoperación del robot.

Por otro lado, para controlar el movimiento del robot, se utiliza la propia plataforma de control denominada Omnicore, tanto en su versión de simulador como con el robot real. Finalmente, para establecer la comunicación entre los dos módulos anteriores, se utiliza la opción de movimiento guiado externamente o *externally guided motion* (EGM) que es una interfaz de comunicación externa diseñada por ABB que permite utilizar un dispositivo externo para hacer control en posición (articular y cartesiano) de sus robots industriales.

3. Sistema de teleoperación inmersivo

En esta sección se describe la implementación del sistema de teleoperación propuesto en este trabajo. En primer lugar, se describe el método de comunicación entre el módulo de realidad virtual y el controlador del robot usando la interfaz EGM. Finalmente, se describe el desarrollo del entorno virtual, que ha sido desarrollado con el motor de videojuegos Unity3D v2021.3. A continuación se muestran las opciones de teleoperación y captura de trayectorias.

3.1. Movimiento guiado externamente

El bloque de movimiento guiado externamente o *External Guided Motion* (EGM) es una interfaz de comunicación externa diseñada por ABB que permite monitorizar o realizar control de posición de sus robots (ABB Robotics, 2024). Así, el módulo de EGM permite tres modos de operación:

- **EGM Position Stream:** para enviar a dispositivos externos la posición actual y planificada del controlador.
- **EGM Position Guidance:** que permite al robot seguir una ruta generada por un dispositivo externo y no una ruta programada en RAPID.
- **EGM Path Correction:** donde la trayectoria del robot se modifica o corrige en base a lecturas de un dispositivo/sensor externo.

Para este trabajo, se ha utilizado el modo EGM Position Guidance. Esta modalidad proporciona una interfaz de bajo nivel para el controlador del robot, evitando la planificación de ruta cuando se necesitan movimientos del robot con alta capacidad de respuesta. El EGM Position Guidance se puede utilizar para leer y escribir posiciones en el controlador de movimiento a alta velocidad (cada 4 milisegundos con un retardo de 10 a 20 milisegundos).

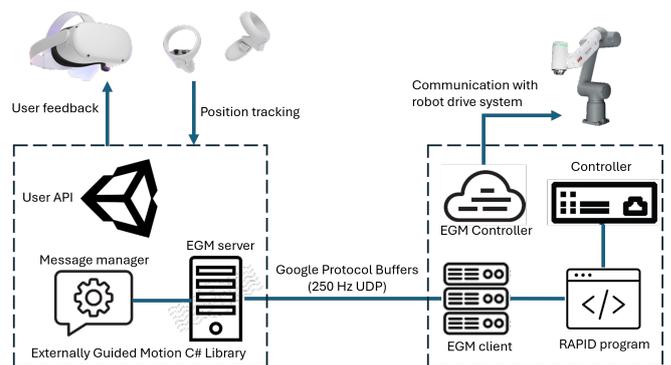


Figura 2: Descripción de comunicación EGM

El método de comunicación EGM tiene una arquitectura cliente-servidor, donde el cliente es el dispositivo externo que manda las órdenes y los comandos de movimiento, y el servidor es el propio controlador del robot (real o RobotStudio) que ejecuta las órdenes que recibe. La Figura 2 ilustra la aplicación de la comunicación EGM entre el entorno virtual desarrollado en Unity y el controlador del robot en RobotStudio, en este ejemplo. Los comandos de posición y orientación para el robot vendrán dados por los mandos del visor Oculus.

3.2. Entorno virtual

Para el desarrollo del proyecto, se ha tomado como referencia el repositorio de código abierto de Parak (2020-2023). Dicho repositorio ofrece un panel básico de control basado en *sliders* vinculados con los ejes cartesianos del robot, y que permite conectar y desconectar el hilo de comunicación entre el entorno virtual y el controlador del robot.

En este trabajo, se ha extendido las funcionalidades básicas mencionadas previamente, y se han implementado tres escenas para interactuar. La primera escena permite elegir entre las dos modalidades de funcionamiento: entrenamiento y teleoperación, cada una siendo una escena diferente. La Figura 3 ilustra la conexión entre la escena de entrenamiento y el simulador RobotStudio que se encarga de la cinemática del robot. Hay que notar que el modelo del robot dentro de Unity no tiene ningún *solver* cinemático, y únicamente actualiza las posiciones articulares que provienen de RobotStudio.

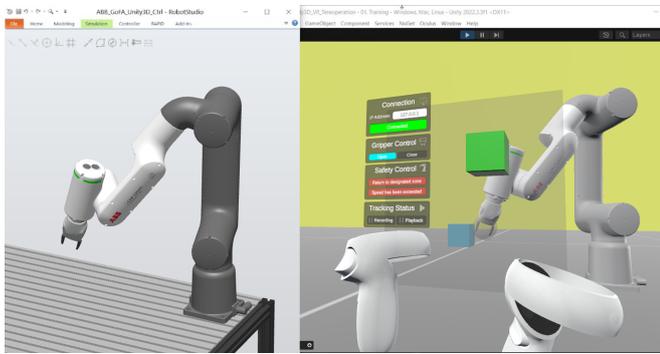


Figura 3: Conexión entre RobotStudio (izquierda) y Unity (derecha)

A continuación, se detallan las funcionalidades principales del entorno virtual:

- **Visualización 3D:** Las escenas ofrecen una vista inmersiva de entornos tridimensionales para una mejor ejecución de la tarea.
- **Cambio de perspectiva:** Una de las principales ventajas del sistema es poder cambiar el punto de vista del operador para realizar de una mejor manera la tarea.
- **Conexión sencilla:** Es posible establecer conexión con el robot mediante el botón ‘A’ del controlador derecho, además de la tecla ‘C’ del teclado del ordenador.
- **Control de la pose del robot:** El usuario puede guiar la posición y la rotación del TCP de forma intuitiva. Esto se realiza mediante la monitorización de la posición y orientación del controlador derecho, que actúa como la referencia del EGM.
- **Control de un gripper:** Es posible controlar la apertura y el cierre del gripper mediante el botón ‘B’ del controlador derecho.

Por otra parte, también se ha intentado garantizar la integridad del robot durante la interacción con el entorno, por medio de diferentes estrategias de monitorización en la RV:

- **Control de la velocidad de referencia:** Se monitoriza la velocidad del controlador derecho en tiempo real para asegurar que no se excedan los límites seguros. Si se sobrepasa la velocidad definida, el robot se detiene y es necesario que el usuario aproxime el controlador a la herramienta para retomar el control.
- **Área de seguridad:** Se establece una zona de trabajo establecida para monitorizar la posición del controlador Oculus. Si el controlador derecho sale fuera de esta zona, el robot se detiene y no se retoma el control hasta que el controlador vuelve al interior de la misma. Además, no está permitido iniciar la conexión con el robot mientras el controlador se encuentre fuera del área definida. Esta modalidad busca reducir el acceso a zonas de singularidad del robot.
- **Seguimiento de orientación:** Se evalúa en tiempo real si la orientación del mando Oculus supera los límites establecidos. Cuando el mando se inclina más de lo definido, el robot se detiene.

3.3. Modo de teleoperación

La estrategia propuesta en este trabajo para facilitar la teleoperación del robot es utilizar los mandos de las gafas de RV: (1) el derecho para guiar el movimiento del TCP del robot (posición y orientación), y (2) el izquierdo para cambiar el punto de vista del operador (zoom, reorientar, pivotar, etc). La Figura 4 ilustra los mandos de las Oculus y las funcionalidades asociadas a cada botón. Nótese que para una mayor versatilidad, se ha habilitado las mismas opciones de movimiento para un teclado.

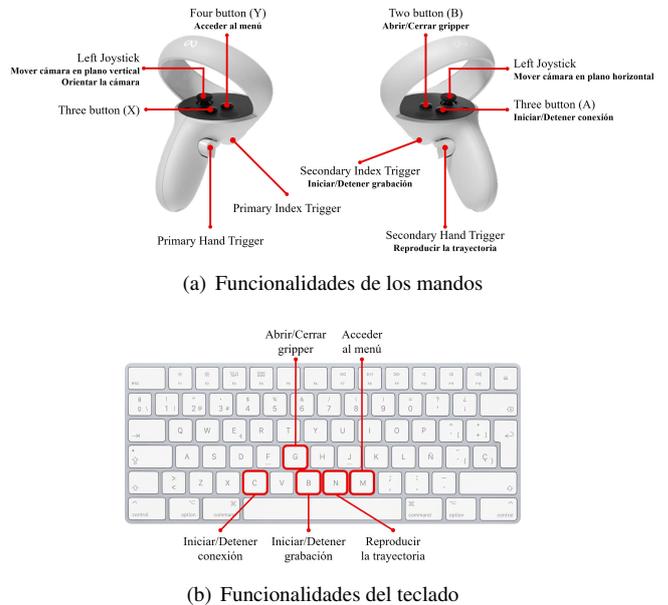


Figura 4: Funciones para la teleoperación

3.4. Captura y reproducción de trayectorias

Una de las funcionalidades adicionales que permite el sistema implementado es la captura y reproducción de trayectorias. Para ello, por medio de uno de los botones del mando

derecho de las Oculus, se indica que los movimientos realizados por el robot se empiecen a capturar. En este momento, todos los puntos (posición y orientación) se empiezan a almacenar en un fichero local de Unity. Cuando el movimiento o trayectoria del robot ha terminado, se debe volver a presionar el botón del mando derecho para detener la grabación de la trayectoria. Si la trayectoria se ha almacenado correctamente, aparece un botón que permite reproducir los movimientos capturados. Para ello, se empiezan a leer los datos almacenados en el fichero local, y se envían los respectivos comandos de movimiento por el EGM.

3.5. Modo de entrenamiento

En esta modalidad se incluyen objetos virtuales (cubos) para poder interactuar con ellos y permitir una familiarización con el entorno de teleoperación (ver anterior Figura 3). Dichos objetos virtuales pueden ser recogidos por el *gripper* del robot, permitiendo practicar una tarea de *'Pick and Place'*. Dadas las restricciones de seguridad mencionadas previamente, se ha optado por ofrecer esta escena en la que los movimientos del robot están limitados a un espacio de trabajo seguro. La posición de los cubos virtuales en esta escena no coincide con ningún objeto físico. La sincronización de posición de objetos físicos y virtuales se está implementando actualmente.

4. Discusión

En este trabajo se ha presentado los resultados preliminares de una aplicación de teleoperación para un robot colaborativo ABB GOFA utilizando un entorno virtual completamente inmersivo. En esta fase de desarrollo se han implementado dos escenas virtuales, la primera orientada a la familiarización del operador con las funcionalidades del sistema (cambio de punto de vista, uso de los botones, activación del modo de guiado, etc.); la segunda enfocada ya a la teleoperación del robot y que incluye objetos virtuales para ser manipulados.

Para habilitar un modo intuitivo de guiado del robot, se ha propuesto utilizar el mando derecho de las Oculus a modo de “guiador” del TCP del robot. Es decir, una vez habilitado el modo de guiado, el TCP del robot seguirá la posición y orientación del controlador derecho. Para activar y desactivar el modo de guiado, el operario debe presionar el botón ‘A’ del mando. Para reducir las posibles singularidades y colisiones, se han implementado estrategias de control como reducir la velocidad de seguimiento para evitar un mal funcionamiento en caso de que el operario realice movimientos bruscos con el mando.

Sin embargo, quedan mejoras por implementar para obtener una aplicación de teleoperación remota completamente inmersiva. Uno de los principales retos es la sincronización de la posición y orientación de los objetos del entorno real dentro del entorno virtual. Dependiendo de la complejidad y variabilidad del entorno, en otros estudios se han utilizado métodos de detección de objetos basados en visión por computador (Chen, 1995), cámaras de profundidad (Su et al., 2022), o simplemente reproduciendo un vídeo streaming del lugar (Yim et al., 2022). Otra alternativa es el uso de marcadores tipo etiquetas, que por medio de un sistema de visión puede proporcionar la posición y orientación del objeto al que está pegado (Yew et al., 2017).

En esta línea, uno de los trabajos futuros es la implementación de un sistema de sincronización de la posición de los objetos reales para que coincidan con los objetos virtuales, de cara a conseguir un método de teleoperación más preciso y dinámico. Además, se deben tener en cuenta los posibles problemas de pérdida de conexión entre los módulos de sistema y las latencias en el envío y recepción de datos. Sin embargo, los resultados preliminares de esta aplicación con el simulador de RobotStudio son prometedores de cara a su viabilidad para integrarse en entornos industriales. De cara a las pruebas experimentales con el robot real, la implementación de las estrategias de monitorización del mando Oculus y las áreas de trabajo seguras en el entorno virtual, serán de gran ayuda para evitar colisiones no deseadas del brazo robótico con el entorno.

5. Conclusiones

El uso de sistemas de realidad virtual permite incrementar las capacidades de programación de tareas de robots industriales colaborativos como el ABB CRB-15000. El control remoto del robot por medio del entorno virtual inmersivo facilita el cambio de puntos de vistas, la captura de trayectorias, y garantiza la seguridad del operador en caso de tareas peligrosas.

Agradecimientos

The research leading to this result received funding from the project “ROBOASSET: Intelligent robotic systems for assessment and rehabilitation in upper limb therapies”(PID2020-113508RB-I00), and the i-REHAB project “AI-powered Robotic Personalized Rehabilitation”, Proyecto ISCIII-AES-2022/003041, financiado por el Instituto de Salud Carlos III (ISCIII) y cofinanciado por la Unión Europea. Also we have received the support of the RoboCity2030-DIH-CM Madrid Robotics Digital Innovation Hub (“Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. fase IV”; S2018/NMT-4331), funded by “Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid” and cofunded by Structural Funds of the EU.

Referencias

- ABB Robotics, 2024. Application manual - externally guided motion. [Online] <https://library.abb.com/d/3HAC073319-001> (Accessed on Jun 2024), document ID: 3HAC073319-001.
- Chen, S. E., 1995. Quicktime vr: An image-based approach to virtual environment navigation. In: Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques. pp. 29–38.
- Parak, R., 2020-2023. A digital-twins in the field of industrial robotics integrated into the unity3d development platform. https://github.com/rparak/Unity3D_Robotics_Overview.
- Sheridan, T. B., 2016. Human–robot interaction: status and challenges. *Human factors* 58 (4), 525–532.
- Su, Y.-P., Chen, X.-Q., Zhou, T., Pretty, C., Chase, G., 2022. Mixed-reality-enhanced human–robot interaction with an imitation-based mapping approach for intuitive teleoperation of a robotic arm-hand system. *Applied Sciences* 12 (9), 4740.
- Yew, A., Ong, S., Nee, A., 2017. Immersive augmented reality environment for the teleoperation of maintenance robots. *Procedia Cirp* 61, 305–310.
- Yim, L. S., Vo, Q. T., Huang, C.-I., Wang, C.-R., McQueary, W., Wang, H.-C., Huang, H., Yu, L.-F., 2022. Wfh-vr: Teleoperating a robot arm to set a dining table across the globe via virtual reality. In: 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, pp. 4927–4934.