

Teleoperación de una plataforma móvil asistida mediante el uso de un sistema de visión artificial

Richard A. Andrade Alfaro¹

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejercito Sangolqui, Ecuador

Abstract— El presente documento aborda la creación de un sistema llamado ROMOTEVI, el cual consiste en la teleoperación de un robot móvil usando un sistema de visión artificial. El sistema de visión artificial lo integran un casco de realidad virtual y una cámara de video colocada en el robot, para generar telepresencia e inmersión sensorial, teniendo como objetivo encontrar los parámetros necesarios para generar estos dos conceptos.

Palabras clave— Teleoperación, Telepresencia, Inmersión sensorial, Campos de visión, Robots móviles, HMD, OpenCv, ARIA, ArNetworking.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema ROMOTEVI es un sistema teleoperado, el cual posee un vehículo todo terreno que se encuentra equipado con un sistema de visión artificial, que tiene como objetivo teletransportar a su operador al lugar remoto donde el vehículo se encuentra, y así poder explorar dicho entorno, teniendo la capacidad de experimentar todas las sensaciones visuales que el entorno posea desde un lugar seguro.

El sistema se encuentra clasificado dentro del tipo de teleoperación directa por control de velocidad, puesto que se envían órdenes a un vehículo robótico que tienen que ver con su velocidad de avance, retroceso y giro. El sistema se encuentra desarrollado bajo la estructura *maestro-esclavo*, debido a que el operador es el encargado de enviar las distintas órdenes, mientras que el robot las ejecuta en el entorno remoto.

II. METODOLOGÍA

Para la creación del sistema ROMOTEVI, se dividió al proyecto en cuatro fases:

A. Análisis

En esta fase del proyecto se analizan las características necesarias para tener telepresencia y generar inmersión sensorial en el sistema ROMOTEVI.

B. Diseño del sistema ROMOTEVI

En esta fase se determina los elementos necesarios para lograr que el sistema ROMOTEVI sea un sistema teleoperado, tenga la característica de telepresencia y posea algún nivel de inmersión sensorial. Además de estas características

ROMOTEVI debe ser un sistema fácil de usar y que sus interfaces sean naturales para el operador.

C. Implementación del sistema ROMOTEVI

En esta fase se desarrollan dos versiones del sistema, las cuales fueron nombradas versiones 1.1 y 1.2, la versión 1.2 se crea debido a que en la versión 1.1 el sistema presento muchos inconvenientes en cuanto a control del robot y visualización de video los cuales fueron necesarios corregirlos para lograr los objetivos propuestos.

D. Resultados obtenidos

Se valora el nivel de presencia que se tiene cuando se usa el sistema ROMOTEVI y el grado de inmersión sensorial que se logró obtener.

III. DISEÑO

En el diseño inicial del sistema se pretendía crear un robot móvil el cual se encuentre equipado con una cámara de video; el video y control se lo realizaría comunicando al robot a través de algún tipo de comunicación inalámbrica, que en lo posterior fue definida como se verá más adelante. Del otro lado se pretendía tener un casco de realidad virtual, junto con un joystick para controlar la cámara y el robot respectivamente.

Debido a que el robot debe comunicarse y enviar el video inalámbricamente, es mejor utilizar un protocolo de comunicación estándar para realizar dichas comunicaciones, por esto se determinó que lo más conveniente es utilizar comunicación WIFI con un protocolo TCP/IP de comunicación.

Para realizar este tipo de comunicación es necesaria la utilización de computadores, por ende se colocó un computador de abordo en el robot y un computador de escritorio como el maestro del robot.

IV. ANÁLISIS

La telepresencia es la sensación que tiene una persona o un operador de sentirse en un lugar remoto.

Basado en [1], para que exista presencia un entorno simulado deben existir tres características que son muy necesarias las cuales son:

- Interactividad con el medio.

- Interacción implícita.
- Inmersión sensorial.

Para que exista telepresencia, en el sistema ROMOTEVI se dotó de elementos que generan las tres características mencionadas anteriormente, por ejemplo:

- Se utilizó un gripper en el robot móvil para que este pueda interactuar con el medio.
- Se colocó un casco de realidad virtual para capturar los movimientos naturales de la cabeza del operador y se envió a una cámara que se colocó en el robot. Para controlar al robot se determinó la utilización de un joystick.
- Se realimentó el sentido visual del operador con el video captado por la cámara desde el robot.
- Para la comunicación inalámbrica se determinó la utilización de: una computadora de abordo en el robot, una computadora de escritorio para el cliente y un router wireless para establecer la conexión entre las dos.

A. Campo de visión

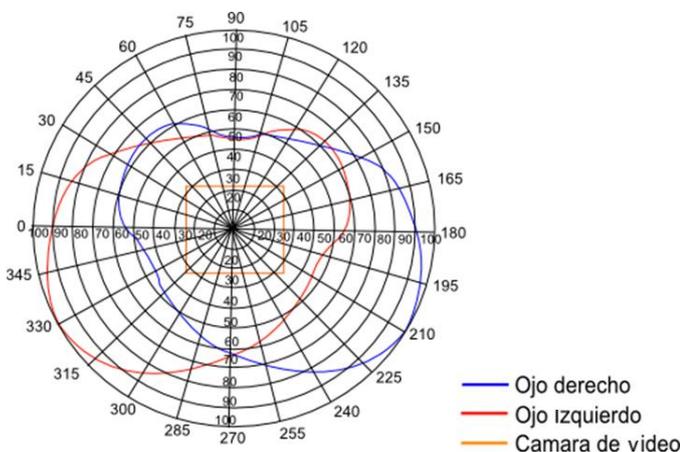


Figura 1.- Campos visuales.

El campo de visión que se presenta al operador es muy reducido cuando se mira por una cámara. El problema se genera debido a que el ángulo de visión de la cámara es muy reducido, como se muestra en la Figura 1, es de apenas 47 grados horizontalmente y de 42 grados verticalmente. Dichos grados comparados con el amplio campo de visión humano solo en su parte binocular es demasiado pequeño generando problemas de adaptación visual.

B. Rangos de movimiento del sistema de video

En el sistema que se realizó, la cámara posee un rango de movimiento descrito en la Figura 2, donde se observa que puede sustentar parte de los movimientos de la cabeza, excepto el ángulo de inclinación porque lo tiene muy reducido; para el ser humano es de +/-90 grados pero la cámara solo

puede cubrir +/-30 grados. Puesto que el ángulo de inclinación negativo de la cámara solo muestra la parte superior de la plataforma no genera un problema, pero el ángulo de inclinación superior sí presenta inconvenientes puesto que éste no alcanza a cubrir el movimiento total de la cabeza.

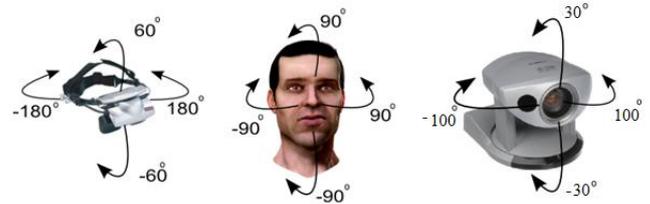


Figura 2.- Grados de movimiento.

V. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del sistema ROMOTEVI se llevó a cabo en dos etapas, las cuales generaron dos versiones diferentes sobre la configuración de los dispositivos del robot.

A. Versión 1.1



Figura 3.- Versión 1.1 del robot móvil.

En esta versión se dispuso la cámara de video en la parte frontal y la computadora de abordo en la parte posterior del robot, como se puede en la Figura 3. Al realizar pruebas de conducción de la plataforma, se determinó que el operador no tenía la capacidad de dimensionar el espacio que el robot ocupaba en un cierto lugar, porque al encontrarse la cámara en la parte frontal ésta no es capaz de captar partes del robot que indiquen su tamaño, como se observa en la Figura 4. La parte sombreada con color celeste es lo que puede ver el operador.

También se determinó problemas en la orientación de la plataforma. Al no tener un punto de referencia de la cámara con el robot no se sabe en qué dirección está la cámara con respecto a la plataforma móvil, esto provoca que al mover la plataforma en lugar de dirigirse a donde apunta la cámara va en otra dirección, tal como se ilustra en la Figura 5. La flecha de color rojo apunta a la dirección de movimiento del robot y la de color azul hacia donde mira la cámara.

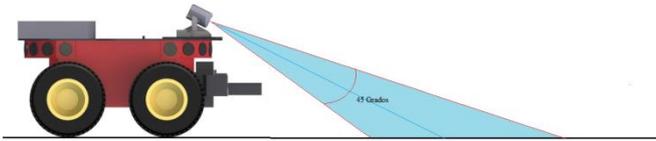


Figura 4.- Campo de visión de la versión 1.1

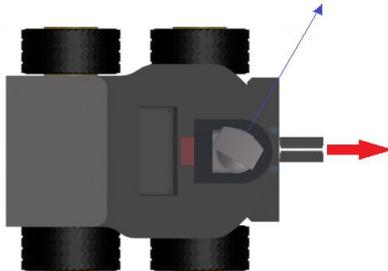


Figura 5.- Desorientación de la versión 1.1

En cuanto al software se utilizaron las librerías: ARIA para realizar el control del robot, de la cámara y del gripper; la librería ArNetworking se encarga de gestionar la conexión de red del robot. Para la implementación del video se utilizó la librería OpenCV para capturar el video; y, QtNetwork para enviarlo.

El software del sistema ROMOTEVI está basado en una configuración *cliente-servidor* y dividido en dos secciones: una es el sistema de visión y la otra el sistema de control del robot. Para el sistema de control, el servidor se encuentra situado en la computadora de abordaje del robot y refleja todos los comandos disponibles para el mismo, como si fueran servicios para el cliente; y, el cliente es un computador conectado a la misma red y está equipado con el casco de realidad virtual y un joystick.

1) *Servidor*: En el diagrama de flujo de la Figura 6 se explica cómo funciona el servidor del sistema ROMOTEVI. Después de establecer conexión con el robot e inicializar el servidor y sus comandos disponibles, espera a que un cliente se conecte y a que establezca una conexión con dicho cliente. Una vez conectado, el cliente espera a que éste solicite un comando a ejecutar sobre el robot. Dichos comandos pueden ser: para controlar la velocidad de avance o giro del robot, controlar la cámara de video o al gripper, y también para devolver al cliente datos con respecto a la odometría del robot o el estado del gripper.

2) *Cliente*: El diagrama de flujo de la Figura 7 explica cómo funciona el cliente. Cuando inicia el programa verifica que el casco de realidad virtual y el joystick estén conectados y los inicializa, después pasa a establecer conexión con el servidor y a configurar los tiempos de ejecución del envío y actualización de datos. Si ya está conectado, cada 10ms lee los datos del casco virtual y del joystick y los envía al servidor usando los comandos antes mencionados; y, cada 100ms hace

un pedido de los datos de odometría y estado del gripper al servidor.

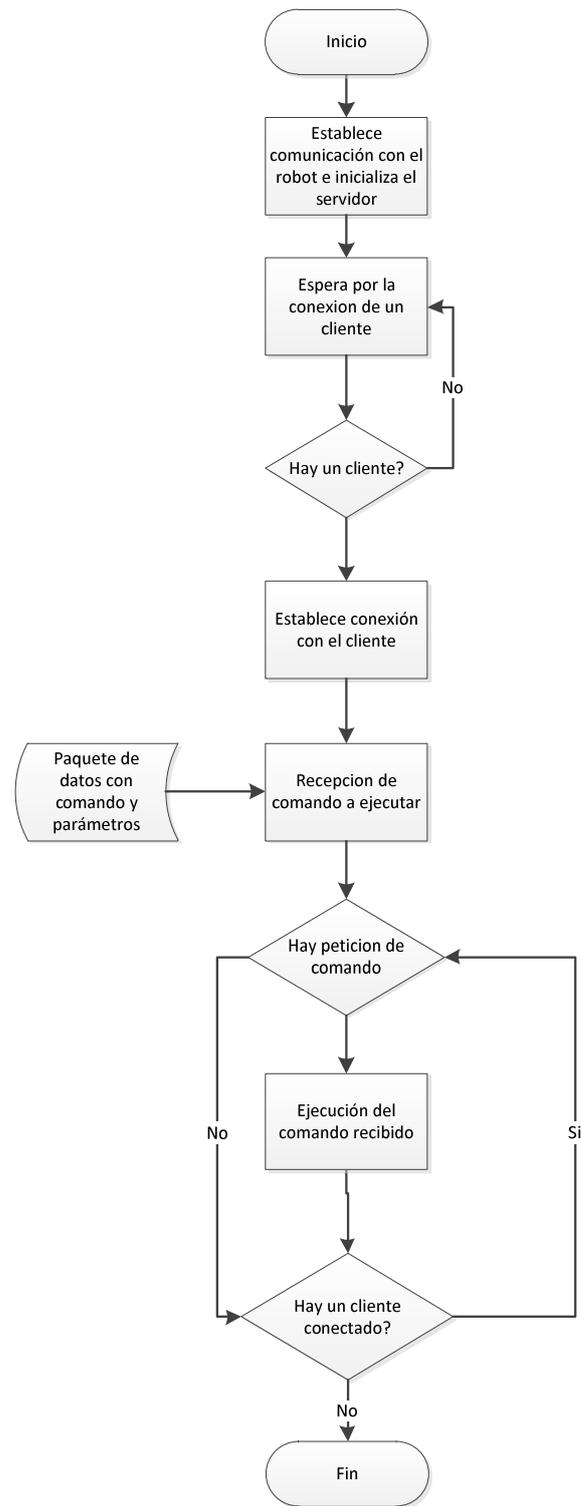


Figura 6.- Funcionamiento del servidor v1.1

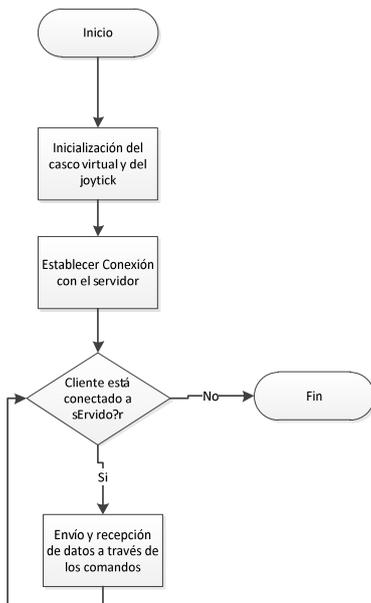


Figura 7.- Funcionamiento del cliente v1.1

En el sistema de visión, el servidor se encarga de realizar la transmisión del video al broadcast de la red, a través del puerto 45454, con una conexión mediante sockets TCP/IP. Los frames son enviados cada 30ms, lo que genera una velocidad de video de 33 fps y una resolución de 640x480.

3) *Servidor de video*: El funcionamiento del servidor es bastante sencilla: captura un frame de la cámara, ingresa los datos al paquete y lo envía por el broadcast.

4) *Cliente de video*: Detecta que un paquete fue enviado por el broadcast desde el servidor de video, lo captura; luego copia los datos a un frame y lo presenta en pantalla.

Con la realización de pruebas del sistema de video, se determinó que éste era demasiado lento, no se lograba la velocidad de video de 33 fps, pero su calidad era bastante buena. Con análisis realizados se determinó que, la gran latencia del video se debía al protocolo de comunicación usado y a la resolución utilizada. Posteriormente, en la versión 1.2 este problema fue corregido.

B. Versión 1.2



Figura 8.- Versión 1.2 del robot móvil.

Para esta versión se utiliza la cámara colocada en la parte posterior del robot, intentando lograr el mismo efecto que se tiene cuando se maneja un automóvil, como se muestra en la Figura 8, tratando de tener una clara visibilidad del frente y los laterales del robot móvil. Adicionalmente, está colocada una marca amarilla en la parte frontal de la plataforma que indica al operador que se encuentra mirando hacia adelante de la plataforma.

Con estas dos modificaciones se corrige el problema de desorientación y la falta de apreciación espacial que se tenía en la versión anterior. Al colocar la cámara en la parte posterior del robot se logra incluir a éste dentro de los rangos de movimiento de la cámara, como se muestra en la Figura 9.

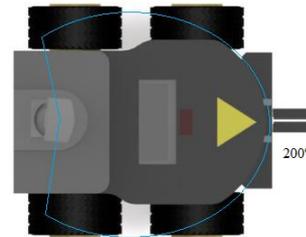


Figura 9.- Grados de movimiento de la cámara.

Con la colocación de la marca en la parte frontal, el operador puede ubicar la posición delantera del robot fácilmente y saber que en esa dirección el robot se moverá, tal como se muestra en la Figura 10.

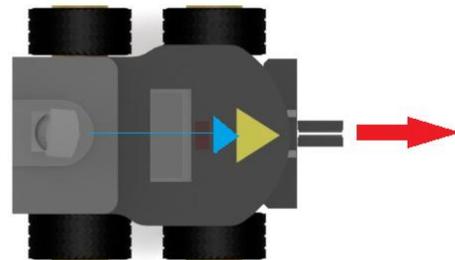


Figura 10.- Dirección de movimiento del robot móvil.

Respecto a la versión anterior del software, el sistema de control no sufrió cambios pues su funcionamiento era adecuado; en cuanto al sistema de video el único cambio realizado fue el protocolo de comunicación de TCP/IP a UDP/IP, pero debido a esto la resolución debió disminuirse de 640x480 a 160x120, para posteriormente incrementarse a 512x384 en el cliente.

VI. RESULTADOS

Para determinar el grado de telepresencia e inmersión sensorial que posee el sistema ROMOTEVI, se utilizó un sistema de evaluación basado en [5], el cual consta de dos cuestionarios: ITQ y PQ.

El primero fue aplicado a 25 personas y mide la capacidad de inmersión que posee la misma, esto se hizo para determinar aquellos que poseen mayor tendencia de inmersión; y, el segundo cuestionario se lo realizó a 7 personas escogidas con el cuestionario anterior y mide el grado de presencia, así como

el nivel de inmersión sensorial que posee el sistema ROMOTEVI.

El cuestionario PQ fue aplicado después de que cada persona realizó una tarea asignada con la plataforma, dicha tarea fue diseñada para que la persona realizara: cálculo y ubicación espacial, manipulación de objetos en el entorno remoto; y, probara la sensibilidad y tiempos de reacción del sistema.

El cuestionario PQ mide 4 factores principales en un entorno virtual, los cuales se pueden ver en la Figura 11, y 4 factores secundarios enunciados en la Figura 12. Todos los resultados se encuentran expresados en porcentajes de una escala de 1 a 5, donde 1 es la peor situación de la escala y 5 es la mejor.

A. Resultados finales.

Se determinó que el grado de presencia que tiene una persona con el sistema ROMOTEVI es de 62.95% y el nivel de inmersión sensorial que posee el sistema es de 58,78%, como indican las Figura 11 y Figura 12. Cabe recalcar que este factor engloba solo el sentido de la vista puesto que éste es el único sentido que se utilizó en el sistema.

B. Análisis final de los resultados

Como se puede ver en la Figura 11, el factor sensorial necesita ser mejorado dentro del sistema. Este factor se ve influenciado directamente por la inmersión y por la resolución, y es precisamente en ésta que se tiene problemas. Cuando se redujo la resolución del video para aumentar su velocidad no se sabía si esto reflejaría una menor inmersión en el sistema; ahora, según los datos podemos concluir que estos dos parámetros deben estar equilibrados para tener una mejor experiencia.

Según la Figura 11, también se debería reducir el factor de distracción para mejorar el grado de presencia del sistema.

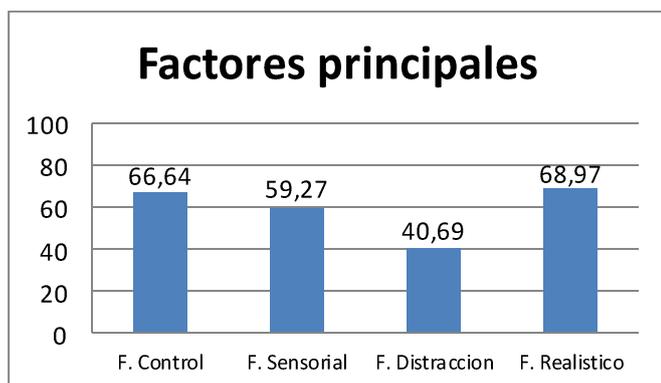


Figura 11.- Resultados principales del sistema ROMOTEVI.

En cuanto a la naturalidad, el control y el realismo del sistema, éstos se encuentran bien.

Otro aspecto que también se detectó con la evaluación es que el campo de visión aún es muy reducido y que el tiempo

de respuesta de la cámara, en lo que a movimiento se refiere, debería mejorarse.

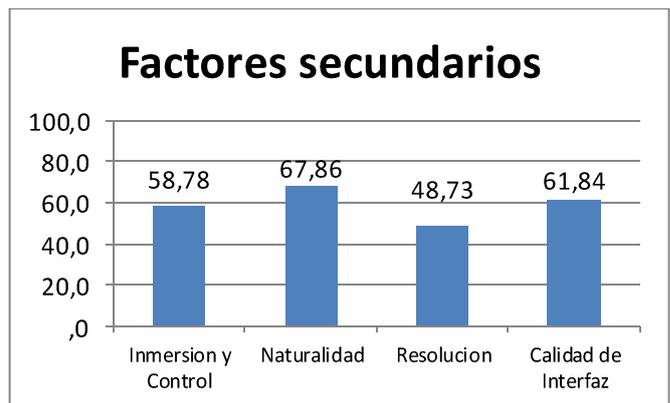


Figura 12.- Resultados secundarios del sistema ROMOTEVI.

VII. CONCLUSIÓN

El sistema ROMOTEVI cuenta con un 62.95% de presencia de una persona en ambiente remoto y su sentido visual es inmerso en un 58,78% en el ambiente virtual.

Adicionalmente, se concluyó que el campo de visión de un sistema teleoperado debe asemejarse lo más posible al campo de visión del ser humano, si no es así, produce desorientación e incomodidad visual.

Debe existir un equilibrio adecuado entre la resolución de la imagen que se presenta al operador y la fluidez del video; la resolución debería ser la necesaria para identificar las características básicas de un objeto en el ambiente virtual, y que la velocidad de video sea la necesaria para no percibir un retardo entre las acciones que se realizan con la realimentación del video.

También, los rangos de movimiento del casco de realidad virtual y de la cámara deben ser proporcionales a los del ser humano, para lograr una mayor naturalidad y realismo del sistema.

VIII. REFERENCIAS

- [1] J. Boo, "Arquitectura de un sistema de realidad virtual", Universidad Politécnica de Cataluña, España, Disponible: <http://www.lsi.upc.edu/~virtual/SGI/guiions/ArquitecturaRV.pdf>
- [2] E. Nuño, L. Basañez, "Teleoperación: técnicas, aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, España, Abril 2004.
- [3] Gómez de Gabriel, Ollero Bauturone, García Cerezo, *Teleoperación y Telorobótica*, A. Pearson Education S.A, Madrid, 2006
- [4] Bob G. Witmer and Michael J. Singer, *Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire*, U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 12350 Research Parkway Orlando.
- [5] A. Días Estrella, A. Reyes Lecuona, *Realidad Virtual y Presencia*, Universidad de Málaga, Grupo de Investigación DIANA, 2004.
- [6] James E. Melzer, "Head Mounted Display in Digital Avionics" Handbook, Segunda edición, CRC press, USA, 2006. MobileRobots, *Advanced Robotics Networking Infrastructure (ArNetworking)* Manual de Referencia para Desarrolladores, versión