



**SOCIEDAD
MEXICANA DE
INGENIERÍA
MECÁNICA A. C.**

III CONGRESO ANUAL

23 Y 24 DE OCTUBRE DE 1997 - MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

DESARROLLANDO UN SISTEMA DE TELEPRESENCIA PARA CONTROLAR UNA GRÚA

José Emilio Vargas Soto

Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial
ITESM Campus Querétaro. Apdo. postal 37, 76000 Querétaro, Qro.
e-mail: jevargas@campus.qro.itesm.mx

ABSTRACT

Recently, the requirements for automatic and remote control to drive machines are increasing, especially in hazardous work environments for the human operator. In attempting this, several telepresence systems have been developed to facilitate cooperative tasks between humans and machines. These telepresence systems use telemetry techniques as a special set of communication between the machine (that is in the dangerous place), and the human operator (that is in a safe place where the information may be evaluated). In this sense, this papers shows a telepresence system designed to control a crane machine as an initial state of a research project. The system is based on interactive control and virtual reality concepts, so that the operator can drive the crane machine from a remote control station

RESUMEN

Recientemente, los requerimientos para automatizar y manejar máquinas de forma remota se han incrementado, especialmente en sitios donde las condiciones de trabajo presentan algún riesgo para el operario. Atendiendo a esta necesidad, se han desarrollado diversos sistemas de telepresencia para facilitar labores conjuntas entre hombres y máquinas. Estos sistemas de telepresencia utilizan técnicas de telemetría como un sistema especial de comunicación entre la máquina (que esta en el sitio de riesgo), y el operario (que esta en un sitio seguro en donde la información puede ser evaluada). En este sentido, el presente trabajo muestra el diseño de un sistema de telepresencia para controlar una grúa, como proyecto de Investigación en su estado inicial. El sistema

esta basado en conceptos de control interactivo y realidad virtual, de forma que el operario dirija la grúa desde una estación remota.

INTRODUCCIÓN

El uso de grúas en diversas aplicaciones que requieren desplazar objetos de considerable peso y dimensiones se ha popularizado desde hace varias décadas. Existen dos tipos de grúas: móviles y fijas. Las grúas móviles generalmente se encuentran montadas sobre vehículos pesados, lo que permite su transportación y ubicación en el sitio de trabajo con relativa facilidad. Por el contrario, las grúas fijas se construyen o se arman con el propósito de permanecer por un largo periodo de tiempo en el mismo lugar. En la mayoría de los casos, las grúas fijas son dirigidas por un operario ubicado en el mismo sitio de la grúa (control manual). Para una gran variedad de aplicaciones un sistema de este tipo resulta suficiente. Sin embargo, existen otras aplicaciones que presentan condiciones hostiles para los seres humanos, siendo en estos casos de suma importancia utilizar algún tipo de teleoperación.

Un sistema de telepresencia es una forma avanzada de teleoperación. Esta claro que la teleoperación cae dentro de una amplia categoría de sistemas de percepción que hacen posible realizar tareas complicadas sin intervención directa de operadores humanos. El grado de la automatización, hoy en día presenta cambios hacia una automatización adaptable. El resultado es la integración de nuevos sensores, algoritmos que producen que los robots tengan cierta autonomía en su comportamiento, adaptandose a las condiciones de trabajo y al medio que les rodea. En este sentido, la telepresencia aplicada a la robótica, desde el punto de vista más sencillo, es la combinación de sensores, controladores, algoritmos de control, operaciones de

transmisión y comunicación, que permiten conocer las condiciones y el ambiente en donde se encuentra el robot, dando al operario la sensación de sentir las condiciones del robot (Stein, 1994). La telepresencia, también conocida como tele-existencia en Japón, representa una de las principales áreas de investigación de la Realidad Virtual (RV). Principalmente porque la Realidad Virtual es una ilusión que permite imaginar una presencia remota para realizar una operación remota (Earnshaw, 1994).

El sistema de telepresencia que se describe, se diseñó de forma tal que se brinde al operario de: a) imágenes gráficas de Realidad Virtual, para la telepresencia, y b) un control interactivo, para la teleoperación.

CONSTRUYENDO LA REALIDAD VIRTUAL

La Realidad Virtual nos permite sintetizar información del mundo real, de forma que mediante diversos medios sensoriales se perciben objetos y eventos susceptibles de ser manipulados (Chen, 1992). Una de las técnicas que contribuye a lograr un ambiente de Realidad Virtual es la computación gráfica 3D en tiempo-real. En este sentido, para visualizar las diferentes operaciones de carga en la grúa, se desarrolló un simulador gráfico tridimensional como parte integral del sistema de teleoperación. La forma en que se proyectan las imágenes gráficas se ilustra en la Fig. 1.

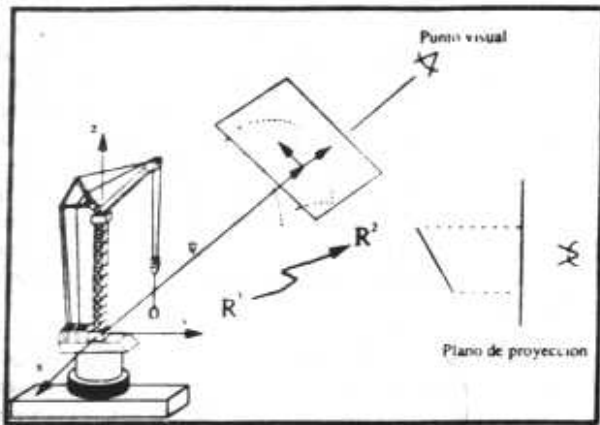


Fig. 1 Descomposición gráfica de R³ a R².

La representación de los gráficos tridimensionales en la pantalla de la computadora (Vargas, et al, 1991), se basa en un modelo ortográfico de cámara, el cual no corresponde a un modelo de perspectiva, pero su sencillez y por la facilidad de implantación en un programa de computadora se decidió utilizar. De forma que la representación a 3D se obtienen mediante una transformación vectorial del tipo:

$$p = f(x, y) = f(a_1X + a_2Y + a_3Z, b_1X + b_2Y + b_3Z) \quad \dots(1)$$

Donde *p* es un punto con coordenadas (*x, y*), *x, y* ∈ R² y *X, Y, Z* ∈ R³. Los coeficientes *a*₁, *a*₂, *a*₃, *b*₁, *b*₂ y *b*₃ adoptan diferentes valores, dependiendo de la distancia y orientación que tiene el observador con respecto a la grúa. La siguiente tabla ilustra algunos de los valores de éstos coeficientes para diferentes planos de representación.

Plano	<i>a</i> ₁	<i>a</i> ₂	<i>a</i> ₃	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>b</i> ₃
XY	1	0	0	0	1	0
XZ	1	0	0	0	0	1
YZ	0	1	0	0	0	1
Oblicuo	-0.7	1.1	0	-0.3	-0.2	1.1

Tabla 1. Valores típicos de *a*_{*i*}, *b*_{*i*} para diferentes planos

El sistema de representación gráfica consiste en una base de datos geométricos de cada objeto, un subsistema implementado con técnicas de programación orientada a objetos encargado de interpretar la base de datos de cada objeto para efectuar la representación 3D en la computadora y una serie de funciones encargadas de efectuar interrupciones para manipular de forma virtual las operaciones de la grúa, así como las diferentes vistas deseada por el operador. La posición deseada en la grúa, se aproxima mediante una función numérica con el propósito de simular el control y la calibración de la grúa. El error en la coordenada (*Δx, Δy*) se evalúa mediante la suma de los productos de sus derivadas parciales, de acuerdo a la ecuación:

$$\Delta p = \frac{\partial p}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial p}{\partial y} \Delta y \quad \dots(2)$$

Siendo:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial x}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial x}{\partial Z} \Delta Z \\ \frac{\partial y}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial y}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial y}{\partial Z} \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \Delta X + a_2 \Delta Y + a_3 \Delta Z \\ b_1 \Delta X + b_2 \Delta Y + b_3 \Delta Z \end{bmatrix} \quad \dots(3)$$

Siendo *ΔX* = *X*_{deseada} - *X*_{real}, *ΔY* = *Y*_{deseada} - *Y*_{real}, *ΔZ* = *Z*_{deseada} - *Z*_{real}. En este caso, para el proceso de calibración las coordenadas del punto *p* adoptan posiciones diferentes para cada uno de los grados de libertad, hasta lograr una calibración global de la grúa.

EL PROBLEMA CINEMÁTICO INVERSO

Para lograr una facilidad de operación y control superior a los que ofrecen los sistemas tradicionales en éste tipo de máquinas, se planteó el problema cinemático inverso de la grúa. La Fig.2 ilustra los parámetros definidos para resolver éste problema

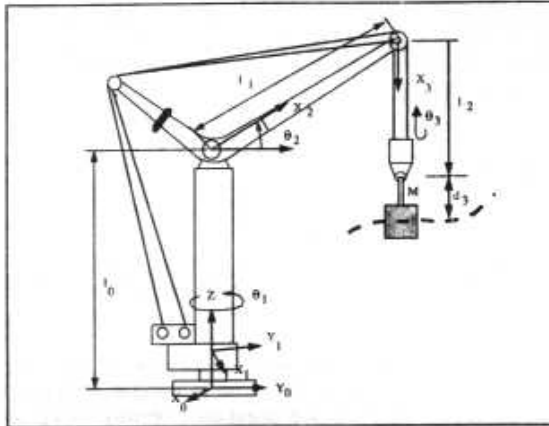


Fig. 2 Planteamiento del problema cinemático inverso

El problema cinemático inverso consiste en conocer las posiciones y velocidades de los elementos principales que conforman la grúa, para lograr obtener la trayectoria de desplazamiento deseada en la carga (Hasegawa, 1992).

En el modelo, θ_1 es el ángulo de rotación del cuerpo de la grúa, con respecto a su base fija. θ_2 es el ángulo de rotación del eslabón articulado con respecto al cuerpo de la grúa, l_2 es el desplazamiento vertical de la polea de carga y θ_3 es el ángulo de movimiento pendular que sufre la polea de carga con respecto a la vertical (perpendicular al plano del eslabón articulado). Simplificando el modelo con las suposiciones de que las cuerdas de la grúa no sufren extensión elástica, las perturbaciones por efecto del aire son despreciables, la carga es homogénea, la masa de la carga se concentra en su centro de gravedad, el movimiento pendular es despreciable en el plano del eslabón articulado, el brazo articulado no sufre deformación elástica y el movimiento pendular de la carga con respecto a la polea de carga es despreciable. Con éstas suposiciones, la expresión lineal que describe la cinemática de la grúa adopta la forma:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \cos \theta_2 \cos \theta_1 + (l_2 + d_3) \sin \theta_1 \sin \theta_3 \\ l_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 + (l_2 + d_3) \cos \theta_1 \sin \theta_3 \\ l_0 + l_1 \sin \theta_2 - (l_2 + d_3) \cos \theta_3 \\ \ddot{\theta}_3 + \frac{g}{l_2 + d_3} \theta_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

En ésta última expresión, se puede observar la influencia del ángulo θ_3 en las posiciones (X,Y,Z). Esta posición representa el

punto deseado en la carga transportada por la grúa en cualquier instante de tiempo.

Este modelo facilita el control de los movimientos pendulares de la carga, logrando suavizar la manipulación y posibilitando velocidades de desplazamiento superiores a las velocidades conseguidas con los sistemas tradicionales de control manual.

EL SISTEMA DE CONTROL

El problema de controlar las operaciones en la grúa desde un sitio alejado de ella, nos dirigió a diseñar e implementar un sistema de control. El cual, por un lado, permita al operario manejar la grúa a través de una interface hombre-máquina. Y por el otro, un sistema supervisor, con cierta autonomía, encargado de lograr que las operaciones de la grúa se efectúen de acuerdo a los planes de manipulación del operario. Un sistema de comunicación bi-direccional, basado en técnicas de telemetría (Carden, 1995), permite transmitir y recibir los comandos de movimiento entre la estación de control y la grúa. En el momento de escribir este trabajo, se encuentra en desarrollo un sistema de comunicación de radio control que nos permitirá dirigir la grúa a un kilómetro de distancia. Previo a este trabajo, se efectuaron pruebas en laboratorio con dos sistemas de comunicación: el primero de ellos implantado con ultrasonidos y el segundo con un sistema de infrarrojos. En ambos casos, se clarificaron conceptos de comunicación, así como la forma de organizar el envío y la información de los diferentes comandos en la grúa (Vargas, 1997).

Para probar algunos de los comandos de control, se utilizó un controlador de motores, formado básicamente por un manejador de motores de corriente directa, con 16 entradas: 10 digitales y 6 analógicas, y 16 salidas: 12 analógicas y 4 digitales. Un encoder de 500 pulsos por revolución nos permitió conocer la posición de los motores, (3 encoders, 1 por cada motor). Dos fines de carrera por dedicados a limitar la acción ida y vuelta, evitan que el mecanismo de la grúa pudiera chocar con su estructura o tensar demasiado los cables en la grúa, y un de freno mecánico accionado por relevador asegura una posición estable cuando así se requiera.

Se distingue en la interface de comunicación hombre-máquina (Fig. 3) una interacción entre el operador y la máquina a través de la consola de operación y las imágenes virtuales que el operador observa. El supervisor virtual de la grúa, se encarga de gestionar las operaciones de movimiento, crear las diferentes trayectorias de la carga utilizando el modelo del comportamiento de la grúa y mostrar el movimiento virtual de la grúa utilizando las bases de datos de cada objeto. Por otra parte, el supervisor real de la grúa utiliza el mismo modelo de generación de trayectorias y el mismo modelo del comportamiento de la grúa que utiliza el supervisor virtual. De esta forma, se obtiene una seguridad de manipulación virtual al utilizar y depurar los sistemas supervisores en una manipulación real.

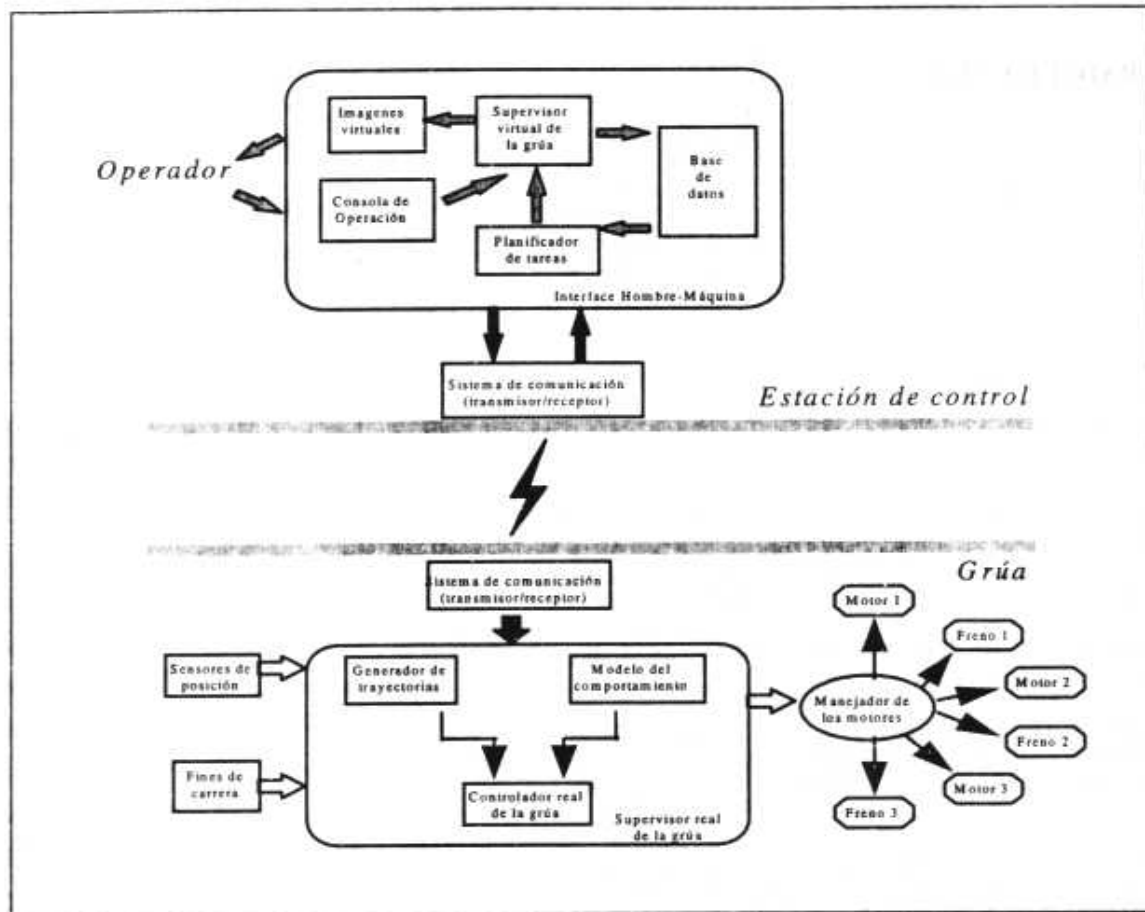


Fig. 3. El sistema de control.

CONCLUSIONES

Se ha mostrado la experiencia obtenida en el proceso actual de desarrollo de un sistema de telepresencia para controlar una grúa. El sistema está basado en conceptos de control interactivo y Realidad Virtual. La importancia de modelar y solucionar problemas cinemáticos en este tipo de máquinas se distingue en lograr sistemas de control que mejoran la forma de dirigir y organizar las operaciones en este tipo de máquinas. El supervisor virtual de la grúa inicialmente estaba formado por un generador de trayectorias y un modelo de la grúa. Posteriormente el supervisor virtual se perfeccionó de forma que nos permitiera estudiar el comportamiento virtual de la grúa con un modelo de control. La siguiente etapa es implantar el supervisor real de la grúa, de forma que éste sea similar en su arquitectura al supervisor virtual.

La simplificación del modelo que aproxima el comportamiento de la grúa nos permite suponer que se lograrán obtener suavidades y velocidades relativamente altas para diversas trayectorias de manipulación en el prototipo de grúa. La base de datos de cada

objeto, utilizada en una plataforma diseñada para manipular objetos, simplifica su representación gráfica, así como el manejo y los posibles errores de programación.

Entre las actividades relevantes por continuar para el desarrollo del sistema presentado, destacan las siguientes: Incluir otros sistemas de sensoriales (fuerza, sonido y visión), investigar modelos de control colaborativo para posibilitar la realización de tareas con otras máquinas, diseñar las subpartes del sistema de comunicación para controlar la grúa al menos a 1 Km, e investigar el uso de un modelo de cámaras de orificio para mostrar perspectiva en la transformación gráfica.

Finalmente, se mencionan algunas aplicaciones potenciales para este tipo de máquinas: En la construcción de canales y vías que permitan el desfogado de gases y materiales candentes en zonas de activación volcánica, en construcción de caminos de emergencia en aquellos sitios con riesgo de derrumbamientos e inundaciones. Y en general en sitios donde se requiera transportar o manipular objetos de considerable peso bajo condiciones hostiles para los seres humanos.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Ministerio de Educación y Ciencia del Gobierno Japonés por el apoyo económico recibido durante la realización de este trabajo. Así mismo, al Prof. Takase por sus comentarios y las facilidades otorgadas para usar el equipo y las instalaciones en el Laboratorio de Robótica de la Universidad de Electrocomunicaciones de Tokyo.

REFERENCIAS

- Carden F., 1995., "Telemetry Systems Design", Artech House Publishers.
- Chen C., Trivedi M.M., Bidlack C.R., 1992, "Simulation and Grafical Interface for Programming and Operation of Sensor-based Robots", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. (Nice-France), p.p. 1095-1101.
- Earnshaw R., Gigante M.A., Jones H., 1994, "Virtual Reality Systems", Academic Press Inc., Second Edition.
- Hasegawa T., Suehiro T., Takase K., 1992, "A Model-Based Manipulation System with Skill-Based Execution", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 8, No. 5, p.p. 716-727.
- Stein M., Paul R., 1994, "Operator Interaction, for Time-Delayed Teleoperation, with a Behavior-Based Controller", Proceedings of the Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, p.p. 231-236.
- Vargas E., Jiménez M.A., Armada A., 1991, "A Graphic Simulator for Telepresence Station of a Legged Locomotion Robot", 4th International Symposium on Offshore Robotics and Artificial Intelligence, Marsella.
- Vargas E., 1997, "Final Report. Walking robots and Telepresence Systems", Reporte Interno. Escuela de Graduados en Sistemas Informaticos. Takase Laboratory, Universidad de Electrocomunicaciones de Tokyo, Japón.