

Integración sensorial de un sistema multiarticulado teledirigido con retroalimentación visual y de fuerza.

R. Pérez, F. Heredia López, L.A. Muñoz

LIICOVIR

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán

Mérida, Yucatán

MÉXICO

Resumen

En este trabajo se presentan algunos avances en la construcción de una plataforma multiarticulada que será tele operada por un usuario, proporcionando retroalimentación de fuerza y de visión. Con esta herramienta se pretende hacer implementaciones de algoritmos de control para cuadrúpedos, así como, tener una integración de diversos sensores proporcionando una mejor representación del entorno en el cual se desenvuelve, en los párrafos siguientes se hace una descripción de la metodología empleada para la construcción de esta herramienta así como la descripción de algunas de las pruebas realizadas.

1. Introducción

La tele-manipulación dio origen al explosivo crecimiento de las aplicaciones de la robótica. Primero fueron las intervenciones industriales y posteriormente la exploración planetaria que a tenido una gran auge en los últimos años. Es por esto que en la actualidad se realizan una gran cantidad de investigaciones en esta rama de la robótica

Una definición formal de robótica tomada de la real academia de la lengua española es la siguiente: "Técnica que aplica la informática al diseño y empleo

de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales, por lo tanto la tele-robótica se podría definir "Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales, pero operadas por una persona en un lugar lejano.



Sistema Multiarticulado

Sistema Háptico

Sistema de simulación

Por la misma esencia de la tele-robótica en la que no se tiene acceso al entorno donde se encuentra el robot desarrollándose, se requiere que el sistema que funciona como controlador proporcione la mayor cantidad de retroalimentación sensorial al operador. Es por esto que la fusión multi-sensorial de datos es una tecnología en constante evolución que se encarga del problema de cómo combinar información proveniente de varios - y distintos medios, de tal forma de hacer inferencias acerca de un evento de particular interés. Las tareas de

manipulación más interesantes - e importantes - son aquellas en las cuales el sistema colisiona con objetos externos a él, lo que le permite mostrar su existencia dentro del mundo alterando los estados del mismo. Estas tareas son catalogadas como de alto rendimiento y su principal característica son el requerimiento de la fusión de la información en una sola entidad. Un sistema de control que contempla la utilización de un solo sensor solo estará representando parcialmente los estados del sistema en conjunto. Se han realizado trabajos sobresalientes en los cuales se muestra cómo organizar, integrar, coordinar y controlar un sistema de sensores distribuidos. Sin embargo, la mayoría de las metodologías existentes solo toman en cuenta una descripción cuantitativa del mundo que intentan representar. Así lo que se pretende abordar en esta investigación es el problema de la fusión de datos en Robótica de una manera eficiente y formal, incluyendo sensores de fuerza y visuales.

2. Metodología.

Para la construcción del sistema se necesita de desarrollar cada uno de sus componentes, estos son tres principalmente: El sistema háptico, el simulador del cuadrúpedo y el robot multiarticulado.

2.1 Sistema háptico.

Comencemos dando una idea general de un sistema háptico. Durante muchos años se ha tratado que los usuarios de sistemas mecánicos que no tienen acceso al entorno en el cual se encuentra el dispositivo que están operando y solo cuentan con una representación visual, tengan una mejor percepción de las consecuencias que

tienen sus acciones al momento de manipular el sistema, es decir, podan recibir una retroalimentación de la fuerza con la que el sistema toma o golpea los objetos que quiere manipular, sentir si el objeto se deforma o cual es la elasticidad del mismo.

Los sistemas que nos proporcionan estas percepciones táctiles de entornos lejanos e inaccesibles por sus condiciones físicas (clima, espacio, etc.) son denominados sistemas hápticos, En la actualidad existen diversidad de estos dispositivos que se comercializan pero en la mayoría de los casos son de un alto costo y no se cuenta con la información acerca de su arquitectura interna, es por esto, que se presentan como cajas negras, complicando la adaptación a los sistemas con los cuales se quiere que interactúe.[3] En la figura 1 se muestran dos de estos dispositivos.

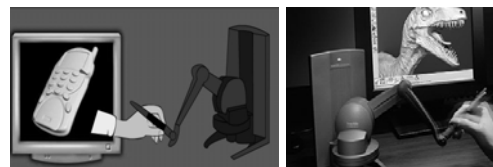


Figura1 Fotos de sistemas hápticos comerciales.

Para la construcción de nuestro sistema háptico utilizamos un joystick comercial con retro alimentación de fuerza, al cual, se prosiguió a desarmar conservando sus características mecánicas; estas consisten en un par de motores y de potenciómetros que proporcionan la retroalimentación de fuerza y las lecturas de posición respectivamente. Estos componentes deberían ser conectados a un controlador que se encargara de comunicarse con el sistema donde se integran los datos recibidos y se toma la decisión de que acción se debe realizar, para implementar este controlador se utilizaron dos maneras

distintas, en la primera de ellas se utilizó la interfaz de prototipos tower, en con la que se podía controlar de una manera rápida el dispositivo pero que carecía de precisión en las lecturas y era poco flexible a las acciones que se deseaban implementar. Por esta razón se decidió construir el controlador a base de microcontroladores, utilizando el PIC16F877 de microchip el cual consta de convertidores analógicos digitales un puerto serial para mantener la comunicación con la PC, y de puertos de entrada y salida para el control de los motores y la comunicación con el robot multiarticulado. Para el microcontrolador se desarrollo el programa que se ejecuta en el, dicho programa se encargaba de mantener la comunicación con el sistema de simulación, y tiene definidas las funciones de tomar los valores de los potenciómetros a través del convertidor A/D y enviarlos al sistema, también puede encender los motores de manera opuesta a la posición de la palanca al momento de solicitar esta acción, y permite mantener la palanca en un estado de vibración en un solo punto. En la figura 2 se puede observar el sistema háptico desarrollado.

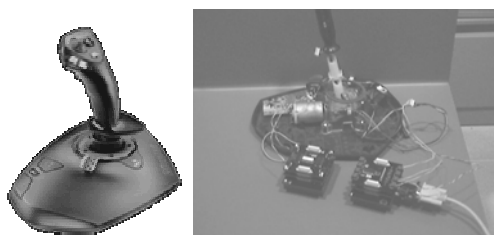


Figura 2 Dispositivo háptico desarrollado

2.2 Robot multiarticulado cuadrúpedo.

Durante las últimas tres décadas, la tecnología de los robots caminantes ha sido un excitante campo de investigación para la robótica, y muchas mejoras han sido desarrolladas desde los

primeros prototipos hechos en los inicios de la década de los 70. Desde entonces, un gran número de robots caminantes han sido desarrollados alrededor de todo el mundo.

El robot multiarticulado es un cuadrúpedo de tamaño mediano, desarrollado para investigaciones básicas y propósitos educativos. Se considera una característica importante, el hecho de que sea un robot de peso ligero, dado que entre las ventajas que proporciona, está que, frecuentemente durante las sesiones de prueba se presentan errores a los cuales el sistema no se puede reponer automáticamente, provocando la necesidad de que se tome el robot para ponerlo en la posición requerida, en el caso de los robots pesados implica un mayor esfuerzo físico que en los de peso ligero que pueden ser levantados por cualquier persona. También los dispositivos de peso ligero están armados con componentes más baratos que los que conformarían uno de mucho peso.

El robot multiarticulado fue configurado como un mecanismo de cuatro patas porque las tareas de generación de pasos y la de mantener estabilidad son mas compleja en cuadrúpedos que en hexápodos, es por eso que trabajar con cuadrúpedos resultó más atractivo.

Para la construcción del sistema multiarticulado se determinaron los parámetros de Denavit y Hartenberg que definen el comportamiento cinemático de los referenciales representando al sistema a partir de un número mínimo de variables. Cada grado de libertad se representa con cuatro parámetros dos de ellos definiendo variables rotacionales y los otros dos variables de traslación. Los

parámetros obtenidos se muestran en la tabla 1.

Articulación	A	D	α	θ
1	0	0	90°	θ_1
2	4	5	-90°	θ_2
3	0	8	0°	θ_3

Tabla 1 Parámetros de Denavit y Hartenberg para cada una de las extremidades del robot

Cada articulación es numerada de forma ascendente partiendo de la base (en nuestro caso la base corresponde a la cadera) hasta la parte más lejana (el pie). Por simplicidad consideraremos el cuerpo del cuadrúpedo como el punto común donde convergerán las cuatro cadenas cinemáticas correspondientes a las patas. Las cadenas cinemáticas están compuestas de 2 eslabones y 3 grados de libertad en cada extremidad del robot. El primer grado de libertad corresponde a la rotación de la pierna hacia delante y atrás del que se encarga el motor modelo HS-700bb que se encuentra sujeto a la base(cuerpo) del robot, a este motor se encuentra adherido en su eje rotacional otro motor modelo HS-81 corresponde a la rotación de la pierna para desplazamientos laterales.

Con los dos motores anteriores se tenía los movimientos para la primera articulación de la pierna del robot, al segundo motor se encontraba ensamblada una barra de aluminio correspondiente el primer eslabón, con una longitud de 5cm. En la punta opuesta de la varilla a la que se encuentra sujeto al cuerpo del robot se agregó un tercer motor del modelo HS-81, correspondiente a la articulación de la rodilla, con la integración de tercer motor se completan los grados de libertad del diseño de la pierna prosiguiendo a adherir al eje de la rodilla un segundo eslabón de 8cm de longitud. Las características de desempeño de los motores utilizados en el

robot multiarticulado son mencionadas en la tabla 2.

Modelo	Torque 6.0v	Velocidad 6.0v	Dimensiones	Peso
HS-81	3 kg.cm	0.09 seg/60°	29.8x12x29.6 mm	16.6g
HS-700bb	12.5 kg.cm	0.22 seg/60°	59 x 29 x 52 mm.	102g.

Tabla 2 Especificaciones técnicas de los motores utilizados en la construcción del robot

Finalmente en el punto terminal de esta varilla se colocó el pie del robot el cual consiste en una articulación pasiva universal a la que se unió otra articulación del mismo tipo, para permitir a la planta del pie del robot un contacto total con la superficie en la que se encuentra actuando. En la figura 3 se puede observar el dispositivo terminado.

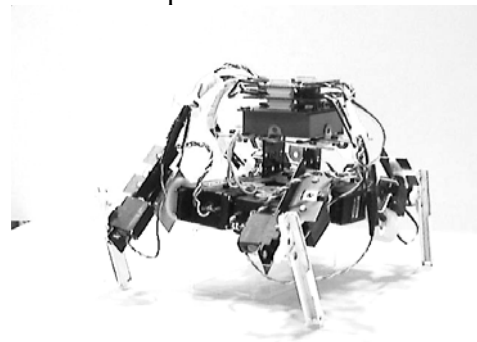


Figura 3 Robot multiarticulado

Con el robot multiarticulado armado se prosiguió a desarrollar su controlador. Al igual que en el caso del sistema háptico, se realizó el controlador de dos maneras diferentes con la interfaz de prototipos tower y con microcontroladores; en la primera de las opciones se tenía el control del sistema multiarticulado de una manera simple, con esta interfaz se pueden controlar los servo motores solo definiendo el valor del ángulo en el cual se desea que se encuentre la flecha de transmisión del motor. Este controlador es funcional en cuanto a la tarea de coordinar el

movimiento de los motores, sin embargo presenta cierto problema al momento de querer controlar el torque del motor, así como la restricción de que solo 100 de los 180 grados que tiene de funcionalidad el motor pueden ser utilizados. Por lo tanto se desarrollo el controlador basado en microcontroladores para eliminar estas restricciones.

Utilizando el microcontrolador se sustituye el dispositivo de control que traen de fabrica los servo motores, de esta forma el microcontrolador se encarga de tomar los valores del potenciómetro que define la posición del motor y determina si debe encenderse o se encuentra en el lugar adecuado, estas lecturas se hacen de manera periódica para que al momento que se mueva del punto deseado se rectifique la posición. El control de torque se implemento a partir de crear un par de señales, la primera de estas define la dirección en la que gira el motor y la segunda señal a una frecuencia con variación en el ciclo de trabajo, proporciona los distintos valores de fuerza del motor.

2.3 Sistema de simulación de cuadrúpedos.

Los sistemas de simulación son cada día más necesarios para el desarrollo de investigación, ellos permiten tener representaciones visuales de sistemas en los cuales no se pueden estar haciendo pruebas, o que se requiere de evaluar antes de su construcción, tal es el caso de los sistemas de control de los aviones, en los cuales se realizan adecuaciones que requieren ser probadas antes de ser implementadas, dado que si estas innovaciones tiene algún defecto, podrían ser de fatales consecuencias para las líneas aéreas que las pusieron en practica. Tal es la importancia de los sistemas de

simulación para evitar pérdidas tanto económicas como en vidas de las personas que las usan.

Simular (del lat. simulare) refiere a la representación de un cosa mientras que emular (del lat. aemulare) hace referencia a imitar las acciones de otra entidad procurando igualarlas e incluso excederlas [1]. De aquí podemos decir que un sistema simulador es aquel que nos proporciona la capacidad de simular.

Tomando en consideración que uno de los objetivos de este trabajo es el de lograr una integración de los trabajos que han sido realizados en el laboratorio en el que se esta trabajando se decidió utilizar el simulador de cuadrúpedos que fue objeto de tesis del LCC Jorge Ríos Martines[2], este simulador se nos proporciona un módulo para la representación de cuadrúpedos, la cual puede ser adaptada al modelo del robot multiarticulado. En la figura 4 podemos observar la representación virtual del cuadrúpedo en el sistema de simulación.

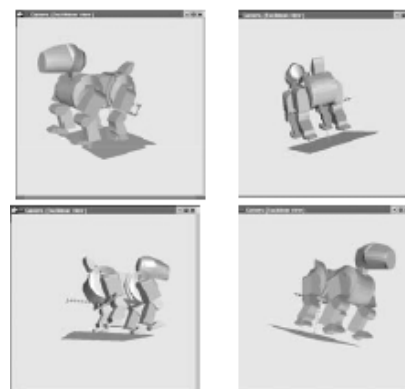


Figura 4 Vistas virtuales de modelo articulado

Para la simulación se utilizo una plataforma abierta llamada Geomview que corre en el sistema operativo linux también de distribución libre, se hace énfasis en la importancia de usar software de distribución libre, dado que este tipo

de software muchas veces es de igual o incluso mayor calidad que el software comercial que proporciona una funcionalidad similar, otra ventaja es que disminuye la cantidad de presupuesto requerido para realizar estas investigaciones.

El programa de graficación permite implementar módulos externos, que son simplemente un programa que interactúa con Geomview mediante GCL (Geomview Command Language). GCL utiliza comandos que proporcionan la capacidad de controlar cualquier aspecto de la interfaz gráfica del programa de graficación, así como modificar con relativa facilidad los objetos que han sido desplegados. Para que un módulo externo pueda comunicarse con Geomview se requiere que escriba comandos GCL a la salida estándar. Es por esto que se utilizó el programa C++ para establecer dicha comunicación.

En nuestro caso usaremos esta herramienta para tener una representación virtual del sistema multiarticulado y de su entorno para que el usuario pueda teleoperarlo aunque no pueda ver el robot ni el medio ambiente en el cual está moviéndose.

3 Integración.

La integración de datos corresponde a una de las partes principales en cualquier sistema teledirigido, es parte fundamental para el desempeño del sistema y el correcto entendimiento del ambiente en el que se está trabajando para el operador. En muchas ocasiones cuando la integración de los datos es incorrecta se presenta un ambiente erróneo al usuario del sistema, provocando que se tomen acciones equivocadas que terminan en trabajos mal

hechos o retraso de tiempo en la elaboración del mismo. Es por eso que dicha integración de datos se debe producir de la mejor manera, de tal forma que los dispositivos encargados de producir la retroalimentación presenten sensaciones congruentes al conjunto de eventos que están ocurriendo en el sistema teledirigido.

Inicialmente se hicieron pruebas de integración entre pares de dispositivos, se probó el dispositivo háptico interactuando con el entorno gráfico geomview plataforma en que se ejecuta el módulo de representación de cuadrúpedos, para estas pruebas de integración se desarrolló un módulo de representación de un entorno virtual que se compone de dos cubos iguales que serán manipulados por el sistema háptico, uno de ellos cambia su posición al momento en que la palanca del dispositivo se mueve desplazándose en la dirección elegida por el operador. El segundo de los cubos se encuentra fijo sin movimiento, solo cambia su posición al momento de ser empujado por el cubo controlado.

Como se pudo observar no se asemeja esta aplicación de la interfaz háptica a la que tiene al final el dispositivo en nuestro proyecto pero se notó una adaptación a la aplicación bastante rápida y sencilla. Este tipo de aplicaciones son las que emplean el dispositivo háptico dado que agregan facilidad al usuario para realizar sus tareas.

La interacción que se aplica en el proyecto entre el sistema háptico y la representación gráfica del cuadrúpedo, consiste en hacer que el robot virtual se mueva controlado por la interfaz háptica, principalmente se implementó el

control del movimiento del robot virtual, sin embargo también se buscaba que por medio del dispositivo háptico el operador pudiera percibir cuando el cuadrúpedo chocaba con otros objetos del entorno virtual. Para el primer objetivo se tomo las funciones que presentaba la interfaz gráfica para que el robot caminara, por lo tanto, cuando se percibe que el usuario empuja la palanca para producir el desplazamiento, el módulo agregado a la simulación para definir la dirección toma las lecturas de los sensores de la interfaz háptica y llama a la función de desplazamiento adecuada a la dirección elegida. En cuanto a la retroalimentación cuando se producen colisiones, se requirió agregar un módulo para la detección de estas, posteriormente solo se enviaban los valores para producir la reacción.

Se prosiguió con la adaptación entre el Simulador de cuadrúpedos y el robot multiarticulado. En esta parte del proceso de integración se requiere que el robot realice las mismas acciones que su representación virtual, el programa de simulación en su versión original, contiene secuencias de movimientos para el cuadrúpedo, las cuales se tomaran para que el robot real realice.

Para realizar la integración de la simulación de cuadrúpedos con el robot multiarticulado se modifico el programa de simulación provocando que cuando el robot virtual se mueva, la función donde se calculan los ángulos de cada articulación envía por el puerto serial los valores de estos para que el controlador electrónico del robot modifique la posición de los motores hasta la nueva configuración.

La parte más interesante de este trabajo llega al momento en que se

integran todos los dispositivos del sistema, en ese momento se tiene la mayor complejidad en el procesamiento de la información que recibe y envía el controlador principal, que en este caso es la simulación pues en ella se realiza el procesamiento de las variables articulares del robot que posteriormente envía al sistema multiarticulado para que ejecute el movimiento, verifica que no se produzca choques con otros objetos del entorno, en caso que se produzcan, informa al dispositivo háptico que se a presentado e indica la acción a emprender, a demás de desplegar en pantalla el movimiento del robot. En la figura 5 se presenta el diagrama de interacción entre los dispositivos del sistema.



Figura 5 Diagrama del funcionamiento de al interfaz grafica con el dispositivo háptico y el robot multiarticulado.

Gran parte de estas funciones ya se tenían desarrolladas en las integraciones hechas anteriormente de la simulación con la interfaz háptica, y con el robot multiarticulado. Sin embargo estas implementaciones se desarrollaron por separado y se requería de unirlas en un solo programa. Para ello se utilizó las funciones que se tenían para detectar las colisiones, calcular los ángulos de correspondencia, procesar la información procedente de los sensores del dispositivo háptico y establecer la comunicación serial. Esta sería la más afectada en la realización de la última integración, debido a que en las implementaciones

previas tanto la interfaz háptica como el robot multiarticulado tenían su propio canal de comunicación serial con el simulador, cosa que no podría suceder para este caso.

Para resolver este problema se decidió que el dispositivo háptico sería el que se mantendría conectado a la PC para comunicarse con el simulador, y se encargaría de enviar por medio de un puerto infrarrojo los valores para cada una de las articulaciones, por su parte el robot multiarticulado ya no recibiría los cambios en el valor del ángulo del puerto serial si no que lo toma del puerto infrarrojo. Tomando en cuenta esta variación del sistema ahora el simulador tendría que recibir los valores de los sensores, procesarlos, si se requiere un movimiento calcular los nuevos valores para las variables articulares, enviarlos por el puerto serial, verificar colisión con los objetos del entorno, si se produjo enviar información para la reacción en el dispositivo háptico y finalmente mandar un valor de fin de comunicación para volver a empezar el ciclo y recibir de nuevo los valores de los sensores de la interfaz háptica. En la figura 6 observamos una vista del sistema en trabajando en conjunto.

Con esta nueva implementación se tiene a todo el sistema funcionando interactuando entre si, proporcionando las capacidades de operar a un robot a distancia y recibir la retroalimentación visual y de fuerza de su comportamiento.

4 Experimentos.

Finalmente se probó todo el sistema integrado el usuario define la dirección de que desee que tome el robot real, cuando el operador determina una dirección se presenta inmediatamente la

visualizaron del movimiento que el robot debe realizar, de manera simultánea al cálculo de los ángulos de las articulaciones se enviaban al robot para que las ejecute. Se observó un ligero retardo entre la reacción de los motores del robot que con el paso del tiempo se incrementaba si se mantenía enviando nuevas acciones a realizar. En caso contrario cuando solo se enviaban unas cuantas y se detenía el movimiento podía volver a ser coherente.

5 Conclusiones y trabajos futuros.

Se siguieron realizando pruebas del dispositivo con el fin de mejorar el desempeño del sistema, eliminar el retardo producido en la realización de los movimientos del robot real y optimizando el algoritmo de control. Incrementando el ancho de banda del puerto serial se obtuvo un mejor rendimiento.

Los sistemas teleoperador aún se encuentran en el inicio de su utilización con el paso de los años tendrán un mejor desempeño relacionado con una mejor forma de integrar las percepciones adquiridas por diversos sensores. Podemos concluir que el desempeño de nuestra plataforma resulta un poco pobre pero no nos debemos decepcionar con esto, para ser una versión inicial de este tipo de sistemas en el laboratorio resulta un buen trabajo, posteriormente se irá refinando los algoritmos de control para un mejor desempeño, aparte de esto resulta ser una herramienta que puede usarse con fines didácticos en la Licenciatura en ciencias de la computación para ilustrar en que consiste un sistema de este tipo y los problemas computacionales que implica realizarla.

En lo que concierne a trabajos futuros se tratará de implementar

algoritmos de visión, para que en base a lo que la cámara capte se genere el ambiente virtual de manera dinámica, esta característica podría permitir al operador enviar al robot multiarticulado a entornos físicos desconocidos y tener la representación de estos en el simulador, también se pretende implementar algoritmos de detección de colisiones más elaborados para objetos irregulares que pueden presentarse en el ambiente.

Referencias.

- [1] Diccionario de la real academia de la lengua española, 2002.
- [2]. R. Ríos, Sistema simulador de cuadrúpedos 2003
- [3]. R. Pérez, M. Sandoval, L. Muñoz. Sistema háptico de bajo costo para fines didácticos. Memorias del AMRob 2003
- [4] Gonzales, Santos, Gálvez, García SILO4 A true walkinrobot for the comparative study of walkingmachine techniques, IEEE Pobotics Automation magazine, 2003.
- [5] Bennett, Stuart, Real-Time Computer Control: An introduction, Prentice Hall, 1999.
- [6] Salcudean, Septimiu E. Transparent Bilateral Teleoperation under Position and Rate Control, The International Journal of Robotics Research, Vol. 19, No. 12, December 2000, pp. 1185-1202.
- [7] Cavusoglu, Murat Cenk, Foygin, David, Tendick, Franck, A critical Study of the Mechanical and Electrical Porporties of the PHANTOM Haptic Interface and Improvements for High-Performance Control, Presence, Vol. 11, No. 6, December 2002, pp. 555-568.