

SISTEMA HÁPTICO PARA UNA FALANGE BASADO EN UN SENSOR INERCIAL Y UN ALGORITMO DE CONTROL PD DISCRETO

C. Espinosa, A. Reyes y C. Torres

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN.
UPALM Edif. 4, San Pedro Zacatenco, México, D. F. 07430.

RESUMEN

Se desarrolló un prototipo de un sistema aptico para una falange basado un control proporcional derivativo. El dispositivo fue modelado en una impresora 3D o estéreo para recrear la forma de una falange a escala 1:2. El elemento modelado fue instrumentado con un servomotor acoplado a un microcontrolador de bajo costo. Dicho dispositivo digital integró el algoritmo de control proporcional derivativo empleando una aproximación de la derivada por el método de Euler. La señal de referencia fue obtenida a través de un sensor inercial el cual fue utilizado para generar una señal analógica que fue posteriormente adquirida y procesada. El tiempo de respuesta del prototipo es de 10 ms comparado con los movimientos reales desarrollados por una falange real. El algoritmo de control proveyó un error en estado estacionario menor al 2% del valor de la referencia a seguir. El sistema desarrollado puede ser instalado en paralelo para servir como base a un sistema de integración aptico de mano completa.

1. INTRODUCCIÓN

Se le denomina háptica a las percepciones táctiles que se realizan de manera activa y voluntaria, de modo que es necesario el uso propositivo de dedos y manos durante el descubrimiento de objetos en nuestro entorno para poder afirmar que se está usando el sentido háptico [1], [2].

La definición anterior puede generar confusión respecto a otro concepto, que es el tacto, la diferencia es que este último sucede de dos maneras: activa (háptica) o pasiva.

La percepción háptica no depende de la visual, como han propuesto algunos investigadores sino que suministra importante información sobre ciertas dimensiones de los objetos como su temperatura, peso, rugosidad, etc., que no pueden percibirse a través de otras modalidades sensoriales. A través del sentido del tacto activo se puede extraer con rapidez y precisión gran cantidad de información sobre los objetos siempre que esta modalidad se pruebe adecuadamente.

Hasta hace algunos años se consideraba que la percepción háptica estaba solo reservada a los seres vivos. Recientemente con la integración de nuevas tecnologías, se ha permitido que sistemas robotizados puedan empezar a sentir su entorno [3].

Esto último concuerda con la premisa: "Hoy en día vivimos en un mundo donde el sentido de distintas variables físicas es esencial para la manipulación de la materia para hacer los productos y servicios que cubran nuestras necesidades".

Recientemente el desarrollo de dispositivos hápticos para

video juegos ha atraído la atención de muchos esfuerzos en investigación y a nivel comercial. Sin embargo, se sigue pensando en general que el desarrollo de toda esta clase de sistemas solo puede desarrollarse a partir de esquemas complejos de instrumentación y procesamiento de información computacionalmente costoso.

Por otro lado, las aplicaciones de háptica para interacción en manipuladores a largas y distancias y con alta precisión en el movimiento del dispositivo efector siguen siendo un reto en muchas áreas de la ciencia, particularmente en la biónica y la rehabilitación médica. En particular, el movimiento preciso y repetitivo de las falanges de un sistema robótico que emula una mano humana sigue representado uno de los grandes hitos en este tipo de desarrollos. Uno de los grandes problemas en esta área se centra en el sentido del movimiento de las falanges que regularmente se hace por encoders o potenciómetros. Este modelo de medición ha sido abandonado cada vez más debido al volumen que un dispositivo con cinco falanges requeriría [4].

El uso de los acelerómetros como sensores destaca en aplicaciones como el análisis de vibraciones, la navegación inercial y la detección de ángulos e inclinaciones. Son instrumentos de medición muy poco costo para hacer aplicaciones basadas en la medida de la aceleración. La señal de aceleración es a menudo tridimensional pero es posible que el sensor solo responda al componente del eje de la aceleración al que es sensible. En este sentido los acelerómetros son sensores con grandes aplicaciones en la industria para el incremento de la productividad debido a la miniaturización que recientemente ha permitido desarrollar acelerómetros con dimensiones que los convierten en una opción interesante para el desarrollo de sistemas hápticos complejos como una mano que cuente varias falanges.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema simple háptico de una sola falange cuya información para el algoritmo de control este fundamentalmente otorgada por un acelerómetro basado en tecnología de microelectrónica.

El algoritmo de control propuesto en este artículo es un modelo simple de control proporcional derivativo discreto con aproximación de la derivada por el método de Euler.

El prototipo será evaluado utilizando los movimientos producidos por un ser humano. Se evaluará la diferencia existente entre el movimiento real del dedo del sujeto de pruebas comparado con el movimiento realizado por el prototipo de la falange desarrollado en este trabajo. En el dedo del sujeto de pruebas se pondrá el acelerómetro en un

dedo y esta información será digitalizada a través de un microcontrolador de bajo costo y prestaciones limitadas (8 bits). La evaluación del método de control propuesto en este trabajo se realizará por la comparación de las posiciones relativas entre el dedo del sujeto de pruebas y el prototipo.

2. DESARROLLO

La primera sección de este trabajo está centrada en el desarrollo del dispositivo que sería utilizado como simulador de la falange. Este simulador siguió el modelo de falange simple con dos articulaciones de tipo cilíndricas. El sistema fue modelado en una impresora estereo 3D con base de fécula de maíz. El desarrollo obtenido fue modelado en un software de CAD que después fue procesado para poder ser adaptado a las condiciones de fabricación de la impresora.

El modelo de falange fue integrado con un servomotor de alto desempeño. El servomotor utilizado en este proyecto es el HS-322HD de HiTec. La característica distintiva de este servomotor es que posee un engranaje Hitec's Karbonite™ el cual es cuatro veces más resistente que los estándar de nylon blanco.

Tabla 2.1 Características servo HiTec HS-322HD

Característica	Valor
Voltaje de operación	5V
Engranaje	Karbonite™
Tipo de rodamiento	Buje de resina
Rotación	180°
Máxima velocidad	316°/sec
Consumo de corriente	160mA sin carga
Corriente Stall	430 mA
Par	41.66 oz.in/3.0 kg.cm
Tamaño	40 x 20 x 37mm
Peso	1.51oz/43g

Este servo puede operar en un rango de 180° con una señal de control cuyos pulsos varían de 600 useg a 2400 useg. La siguiente tabla muestra algunas de las características de relevancia de esta clase de motores:

El sistema de control para el servomotor fue seleccionado de la familia denominada maestro. Los controladores Maestro son la segunda generación Pololu de controladores USB servo.

La libre configuración de este motor y su control es programable tanto en Windows como en Linux), haciendo simples los ajustes y pruebas de la placa sobre USB, creado secuencias de movimientos para robótica escribiendo por pasos y corriendo los scripts almacenados en el servo controlador. La memoria interna de la placa permite el almacenamiento de las posiciones del servo que pueden iniciarse automáticamente sin necesidad de estar conectado al PC o a un micro externo. El modelo de integración de este controlador permite que su posicionamiento pueda ser realizado a través de una sencilla entrada analógica que se encuentra entre 0 y 5 volts.

La programación del método interno de manipulación del servomotor fue realizado a través del software “Pololu Maestro Control Center”. La aplicación para Maestro USB da acceso a todas las opciones de configuración soportando control en tiempo real, reacción y depuración.

Otra de las necesidades del prototipo consiste en su autonomía, esto se refiere a la alimentación del micro maestro. Tomando en cuenta esta situación es conveniente que la alimentación de los servomotores y el micro maestro sea la misma.

A nivel de la instrumentación se diseñó el circuito electrónico para el procesamiento de las señales analógicas, esto es, a través del convertidor analógico digital del microcontrolador de 8 bit PIC18F4550. A través de una precalibración del sensor inercial se pudo obtener la ecuación que permite obtener el valor de la aceleración en m/s^2 .

Así a partir de la conversión a digital se llegó a la obtención de las unidades de aceleración o simplemente el valor de unidades de gravedad (G) al cual es equivalente la señal analógica de entrada para un eje determinado.

Cabe destacar que a este sistema se le agregó una LCD de 16 columnas por 2 filas para la visualización de los resultados de las aceleraciones de cada eje coordinado. Esto fue utilizado como un elemento de comprobación de los resultados generados por el sujeto de prueba.

Para realizar el algoritmo de control, ya se ha mencionado que el modelo elegido fue un controlador de tipo proporcional derivativo de tipo discreto. La variable sobre la cual fue aplicado el controlador es el error determinado a través de la variable de aceleración medida por el acelerómetro definida como $x(t)$. Adicionalmente, la variable obtenida a través de la determinación del PWM aplicado al servomotor que puede ser interpretado como una medición indirecta de la “aceleración asignada al motor”. Esta construcción fue realizada siguiendo metodologías básicas de control para servomotores. La variable del PWM se asoció a la aceleración según una calibración que dio lugar a la variable $y(t)$ calculada como $y(t)=a*PWM$

Una vez definidas las dos variables anteriores, se construyó la variable de error de seguimiento como $e(t)=x(t)-y(t)$. Adicionalmente, se construyó una aproximación de la derivada del error a través de una aproximación simple de la derivada del error denominada como de usando la aproximación de Euler:

$$de(T*k) = de(T*k) - de(T*(k-1))$$

Utilizando esta información, se procedió a construir el algoritmo de control del tipo PD tal y como sigo:

$$u(k*T) = k_p * e(T*k) + k_d * de(T*k)$$

donde k_p y k_d son dos constantes positivas que se reconocen comúnmente como las ganancias proporcional y derivativa respectivamente.

Este algoritmo fue programado a través de una simple operación incluida en el programa principal incluido en el microcontrolador.

El siguiente paso en el diseño del programa integro la comunicación del circuito a la computadora para la visualización y el resguardo de las señales de las aceleraciones. Para este aspecto se usó la comunicación serial de forma inalámbrica en la cual se transmite la información bit a bit en código ASCII a un ordenador. El programa que se usó para el tratamiento de la información recibida es MATLAB el cual posee herramientas de manipulación de señales que nos permiten hacer cualquier tipo de operaciones con la información de las aceleraciones ya en forma de vectores y con esto poder mostrar la información que sea necesaria.

3. RESULTADOS

La figura (1) demuestra la instalación simple de la estructura que incluye el sistema del prototipo del dedo construido a través de la impresora estéreo. Así mismo, se muestra la conexión al sistema de control para el servomotor así como el esquema de instalación del motor.

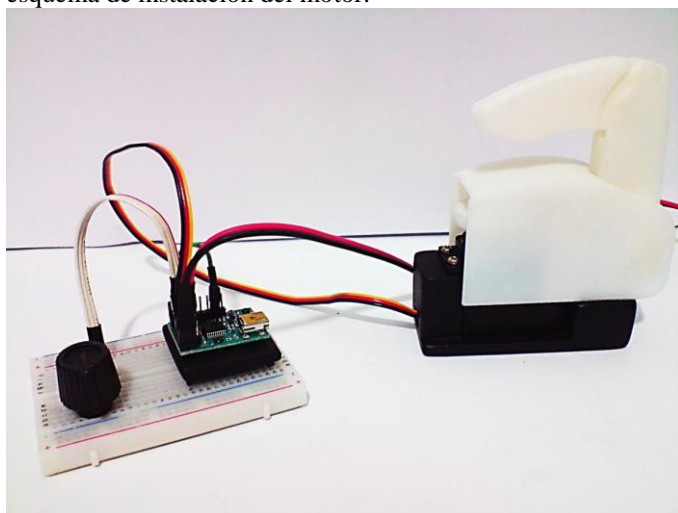


Figura 1. Instalación simple de una falange asociada al sistema de control del motor por PWM

La siguiente figura (2) demuestra el proceso de seguimiento para las mediciones obtenidas por el acelerómetro y las respuestas del motor a diferentes procesos similares.

Se puede notar una línea sólida que contiene las trayectorias medidas por el acelerómetro y las trayectorias generadas por el algoritmo de control. La selección de las ganancias para el controlador PD fueron de 23 y 45 para las partes proporcional y derivativa respectivamente. Se debe notar la cercanía de las trayectorias obtenidas entre las mediciones reales y las generadas por el modelo propuesto. En la figura se demuestra en línea continua la trayectoria de referencia y en línea punteada la trayectoria real ejercida por el motor.

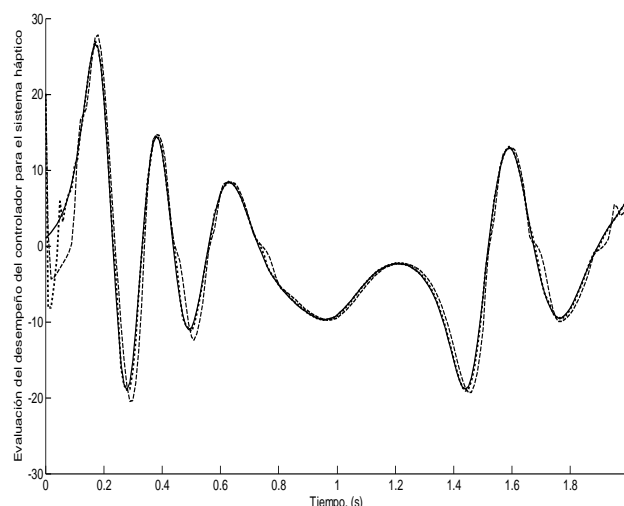


Figura 2. Respuesta l controlador a una serie de movimientos secuenciales del dedo medidas por el acelerómetro.

4. CONCLUSIONES

Se logró diseñar un sistema háptico para desarrollar un modelo de falange que pudiera seguir las trayectorias desarrolladas por un dedo real de un sujeto de prueba. Se evaluó el comportamiento del esquema diseñado así como de un controlador de tipo discreto con forma de PD. Los resultados mostrados parecen ser prometedores para el desarrollo de esquemas más complejos que pueden ser aplicados para la detección de enfermedades de los huesos y las articulaciones al hacer comparaciones de las gráficas de un paciente y compararlas con las de un modelo el cual corresponde a una persona saludable

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Ahonen and J. O'Reilly, Digital Korea. Convergence of Broadband Internet, Virtual Reality and the Intelligent Home, pp. 37-54, 2007.
- [2] S. Ballesteros, Percepción háptica de objetos y patrones realizados: una revisión. Psicothema, Vol. 5 (2), pp. 311-321, 1993.
- [3] L. Bussell, "Touch Tiles: Elementary Geometry Software with a Haptic and Auditory Interface for Visually Impaired Children", EuroHaptics, 2003.
- [4] C. Carlsson and D. Hagssan, "DIVE – multi-user virtual reality system, VRAIS", IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, Seattle, Wa., pp. 394–400, 1993.