

DISEÑO DE UN GUANTE DE DATOS BASADO EN SENSORES INERCIALES

Juan Augusto Campos-Leal
Facultad de Informática Culiacán
Universidad Autónoma de Sinaloa
Culiacán, Sinaloa, 80000
Email: juan8kb@gmail.com

Ulises Zaldivar-Colado
Facultad de Informática Mazatlán
Universidad Autónoma de Sinaloa
Culiacán, Sinaloa, 82000
Email: uzaldivar@gmail.com

Xiomara Penélope Zaldivar-Colado
Facultad de Informática Mazatlán
Universidad Autónoma de Sinaloa
Culiacán, Sinaloa, 82000
Email: xiomara.zaldivar@uas.edu.mx

ABSTRACT

Este trabajo presenta una propuesta de diseño para el desarrollo de un sistema de captura de movimientos de los elementos de una mano humana, para la creación de un guante de datos. Dicho guante podrá ser utilizado en aplicaciones para ensamble virtual. Este prototipo estará compuesto por un sistema de sensores inerciales colocados en la mano del usuario transmitiendo los movimientos de cada articulación generados por las falanges proximal, medial y distal de cada dedo a la mano en el mundo virtual. El movimiento se transmite por medio de giroscopios a un Arduino que se encarga de enviar los datos a la computadora para llevar a cabo los movimientos de flexión, extensión, aducción y abducción de la mano virtual.

INTRODUCCION

Nuestra primera conexión física con el mundo son nuestras manos, pues realizamos tareas cotidianas con ellas [1].

La interacción que tenemos con las computadoras está limitada por intermediarios que tienen nula destreza o naturalidad y en un esfuerzo por cambiar esta situación se han diseñado, construido y estudiado

maneras de “leer” (capturar) el movimiento de las manos.

El desarrollo de guantes de datos (captura de movimientos de los dedos de la mano) ha sido un gran paso en este aspecto.

Hoy en día los sistemas de captura de movimientos tienen mucha importancia en aplicaciones de realidad virtual, los cuales son utilizados en medicina, industria automotriz, películas y video juegos, etc. Existen diversos tipos de sistemas de captura de movimiento: mecánicos, ópticos, magnéticos, y en el caso de los guantes también existen de variación de resistencias [2]. El problema de la adquisición de los dispositivos de captura de movimientos es el alto costo de los mismos, ya que pueden variar desde los 4,000 hasta los 200,000 dólares [3].

Este trabajo es enfocado a los sistemas de captura de movimientos de los dedos de la mano, los cuales pueden llegar a costar cerca de 20,000 dólares, como es el caso del Cyberglove™, de Cyberglove Systems Ltd que tiene como principal uso la manipulación de objetos virtuales [4-6] y el ensamble virtual [6-8].

En el campo de la medicina se han realizado diversos estudios para la medición precisa de la orientación de los segmentos del cuerpo humano usando una unidad de medición inercial (IMU por sus siglas en inglés Inertial Measurement Unit). Algunos estudios han sido probados para los movimientos de la pelvis, el tronco y el antebrazo [7].

Otros trabajos también han estimado la orientación de los segmentos del cuerpo humano mediante la fusión de giroscopio, acelerómetro y magnetómetro, incluso cerca de materiales ferromagnéticos que perturban el campo magnético local terrestre y por lo tanto la estimación de dicha orientación. Para esto se ha aplicado un filtro en la lectura de los datos y se han comparado con sistemas ópticos de referencia, como VICON. Las estimaciones de orientación resultantes han sido precisas y sin desviaciones [9].

El objetivo de este trabajo es generar un dispositivo de captura de movimiento de las articulaciones de la mano humana y mediante un sistema de sensores inerciales medir este movimiento para determinar la posición en el espacio de estas falanges, el cual puede desarrollarse con un costo de 250 dólares aproximadamente.

La figura 1 presenta la propuesta en la cual se desea medir los valores angulares de las falanges. Cada giroscopio en la figura 1 representa el sistema de coordenadas de cada elemento de la mano y su orientación en el espacio.



FIGURA 1. SISTEMA DE COORDENADAS DE SENSORES INCERCIALES PARA LA MANO HUMANA.

Utilizar estos dispositivos para la captura de movimientos evitará el proceso de calibración que se presenta en otros guantes como el Cyberglove™, y evitará también el desgaste y sobrecalentamiento que presenta al trabajar con él, sobre un tiempo considerable [4-6].

ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizarán unidades de mediciones inerciales (IMU por sus siglas en inglés Inertial Measurement Unit), específicamente el sensor InvenSense MPU-6050 que contiene un acelerómetro MEMS y un giroscopio MEMS en un solo chip (este modelo no contiene magnetómetro), el cual es muy preciso, ya que contiene un hardware de conversión de 16 bits analógicos a digital para cada eje. Para ello se capturan las coordenadas x, y, z del plano 3D al mismo tiempo. Dicho sensor utiliza el I2C-bus para interconectar con el Arduino. Como placa base se utilizará un Arduino MEGA 2560, el cual obtendrá los datos y los enviará a un puerto serial.

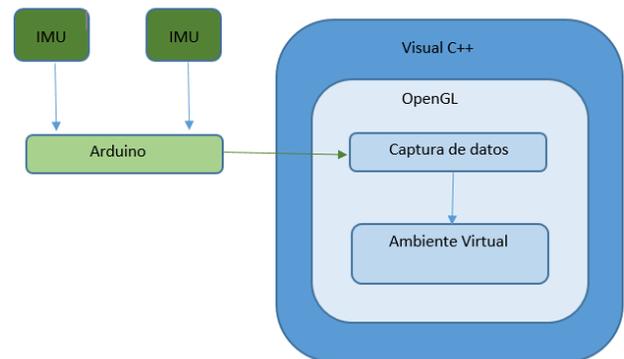


FIGURA 2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.

DESARROLLO

Nuestra propuesta es utilizar un giroscopio en cada falange de los dedos de la mano (proximal, medial y distal), uno en la palma de la mano y otro más en el antebrazo con lo cual determinaremos la posición de la palma de la mano en el espacio.

Todos los sensores estarán conectados a una placa base con la cual se realizará la lectura de cada falange y se enviará a la computadora por puerto serial, leyendo los datos desde la aplicación y aplicando cada

valor del sistema de coordenadas a cada sensor en el ambiente virtual.

Para determinar la posición y orientación de los sistemas de coordenadas para las falanges de los dedos se utilizan matrices de transformación, se calculan las matrices de transformación y los vectores de los sistemas de coordenadas con respecto al origen y se calculan los vectores para los sistemas de coordenadas unidos por las falanges del usuario.

Modelo cinemático de la mano

En la figura 3 se muestra el modelo cinemático de la mano [10].

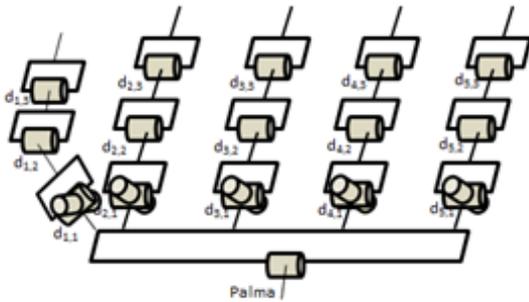


FIGURA 3. ESQUEMA CINEMATICA DE LA MANO VIRTUAL.

Cada uno de los dedos tiene 3 grados de libertad, los cuales son representados por $D_{i,j}$. El índice i representa el número de dedo (1-pulgar; 2-índice; 3-medio; 4-anular y 5- meñique), mientras que el índice j representa la falange que se rota en la articulación (1-proximal; 2-medial y 3-distal).

Cada elemento de la mano, con excepción de la palma, tiene definido su sistema de coordenadas geométricas con respecto al otro elemento. Por ejemplo, la falange proximal de cualquier dedo tiene sus coordenadas definidas con respecto al marco de referencia de la palma; la falange medial de cualquier dedo las tiene con respecto al marco de referencia de la falange proximal; y la falange distal al marco de referencia de la falange medial. Por lo anterior, tenemos una matriz de transformación homogénea para cada elemento $D_{i,j}$, representada ${}^{d_{i,j-1}}M_{d_{i,j}}$ por lo cual se lee como: la matriz de transformación del elemento $D_{i,j}$ con respecto al marco de referencia del elemento $D_{i,j-1}$.

Se considera la excepción de que, para la matriz de transformación de los elementos correspondientes a la falange proximal, éstos son definidos en el marco de referencia de la palma de la mano, por lo que consideraremos a la palma como $D_{i,0}$. La matriz de transformación de la palma, está definida en el marco de referencia del mundo virtual W (sistema global de coordenadas): ${}^W M_{d_{i,0}}$.

Para renderizar los elementos de la mano en el mundo virtual, es necesario obtener las coordenadas geométricas de cada elemento en el marco de referencia del mundo virtual W . Para obtener los elementos de las falanges proximales en el marco de referencia de W , realizamos la operación (1):

$${}^W M_{d_{i,1}} = {}^W M_{d_{i,0}} \times {}^{d_{i,0}} M_{d_{i,1}} \quad (1)$$

Los elementos de las falanges mediales y distales en el marco de referencia de W se obtienen con la ecuación (2):

$${}^W M_{d_{i,j}} = {}^W M_{d_{i,j-1}} \times {}^{d_{i,j-1}} M_{d_{i,j}} \quad (2)$$

Cuando se tienen calculados todos los elementos de la mano en el marco de referencia global W , estos son renderizados en la escena virtual utilizando las librerías de OpenGL.

Nuestra propuesta es partir del modelo cinemático que permita la captura de movimientos de aducción, abducción y mejore el realismo y la naturalidad de interacción del usuario. En el modelo que se propone se muestra en la figura 3, se agrega una matriz de transformación junto a las matrices que representan la unión de la falange proximal y la palma de la mano para que permita la medición de estos movimientos.

Obtención de los datos del IMU

Con respecto a las unidades de mediciones inerciales, colocadas en cada falange de los dedos de la mano, la propuesta del trabajo es obtener estos datos por medio del MPU 6050 que opera a 3.3 voltios y utiliza un protocolo de comunicación I2C. Un IMU es un

dispositivo capaz de medir la fuerza de aceleración y la velocidad, consta de un acelerómetro y giroscopio ambos de 3 ejes, por lo tanto tenemos 6 grados de libertad.

Si el IMU está perfectamente alineado con el suelo, el acelerómetro detecta en su eje z 9.8 m/s^2 , como el acelerómetro mide también la aceleración de la gravedad terrestre, se puede determinar cuál es el ángulo de inclinación del eje Z con respecto al eje X o al eje Y.

Entonces si el eje Z marca 9.8 el eje X y el eje Y marcarán 0, si giramos la IMU 90 grados, ahora el eje X marcará la aceleración de la gravedad. Si conocemos la gravedad y tenemos la medición de los ejes del acelerómetro, por trigonometría es posible calcular el ángulo de inclinación de la IMU., el cual se determina por la siguiente formula (3):

$$\text{AnguloY} = \text{atan}\left(\frac{x}{\sqrt{y^2+z^2}}\right) \quad (3)$$

El giroscopio mide la velocidad angular (número de grados que se gira en un segundo), si conocemos el ángulo inicial de la IMU es posible sumarle el valor que marca el giroscopio para conocer el valor del nuevo ángulo y se determina con (4):

$$\text{AnguloY} = \text{AnguloY anterior} + \text{GiroscopioY} \cdot \Delta t \quad (4)$$

Donde Δt es el tiempo que transcurre cada vez que la fórmula es calculada, *AnguloY anterior* es el ángulo calculado la última vez que se calculó la formula y *GiroscopioY* es la lectura del ángulo Y del giroscopio.

Ahora bien, el acelerómetro es capaz de medir cualquier ángulo, sin embargo son lecturas ruidosas y tienen un cierto margen de error como se muestra en la figura 4.

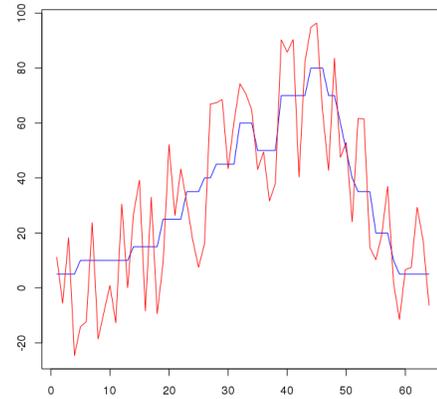


FIGURA 4. MEDIDAS ESPERADAS CONTRA MEDIDAS REALES

El ángulo esperado (ideal) está marcado en azul, y las medidas reales están en rojo.

El acelerómetro también detecta cualquier aceleración que no sea la de la gravedad, si se mueve la IMU sin girarla (aplicar aceleración a otro eje) la IMU lo detecta como un cambio de rotación.

Además, a diferencia del acelerómetro, el giroscopio da las medidas con mucha precisión. Pero al realizar los cálculos del ángulo es inevitable que se produzca un pequeño error, que con el tiempo va acumulándose y se le determina drift.

Filtrado de los datos del IMU

Para una correcta medición de las IMU's es necesario eliminar el ruido, el drift y evitar que el acelerómetro no cambie de ángulo al detectar otra fuerza que no sea la gravedad.

Para esto es necesario aplicar un filtro, uno de los más famosos y utilizados es el filtro de Kalman como el utilizado en [7], sin embargo, tiene un coste de procesamiento elevado. Por lo anterior se propone utilizar un filtro complementario, fácil de implementar en arduino y con un bajo coste.

El Filtro Complementario es en realidad una unión de dos filtros diferentes: un High-pass Filter para el giroscopio y un Low-pass Filter para el Acelerómetro. El primero deja pasar únicamente los valores por encima de un cierto límite, al contrario que el Low-pass filter, que sólo permite a los que están por debajo.

La fórmula resultante (5) de combinar (complementar, de aquí el nombre) los dos filtros es:

$$\begin{aligned} \text{Angulo} = & 0.98 * \\ (\text{Angulo} + \text{AnguloGyro} * \Delta t) & \quad (5) \\ +0.02 * \text{AnguloAcel} & \end{aligned}$$

Dónde *AnguloGyro* es el ángulo del Giroscopio que hemos calculado previamente, y *AnguloAcel* es el ángulo del Acelerómetro calculado con la fórmula de la tangente. Δt es el tiempo que ha pasado desde la última vez que se ha calculado el filtro. Esta fórmula es la misma para el eje X, Y.

Conclusiones y trabajo a futuro

Para la interacción de los datos leídos desde los IMU's y la mano virtual, se utilizará un puerto serial del ordenador para llevar a cabo la comunicación, ya que la placa arduino mencionada para este trabajo es capaz de enviar los datos de esa forma, por lo que se recibirían en el software elegido para el proyecto, abriendo y escuchando dicho puerto y actualizando los valores a los elementos correspondientes en la mano virtual, de esta manera se puede determinar la posición de los elementos en el espacio, permitiendo capturar los movimientos de flexión, extensión, aducción y abducción.

Aún no se realiza el desarrollo de este proyecto ni existe aún experimentación, pero se hace la propuesta para el trabajo que se realizará.

REFERENCIAS

- [1] Sturman David J., Zeltzer David, 1994. A Survey of Glove-based Input. Computer Graphics and Applications, IEEE, Volume: 14, 30-39.
- [2] N. Abe, et al., "A training system using virtual machines for teaching assembling/disassembling operations to novices," in Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics, 1996, pp. 2096-2101.
- [3] H. Ortega Carrillo, "Sistema de captura opto mecánico para la medición de movimientos del cuerpo humano" in Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (U.N.A.M.), ed. Mexico, DF, 2007.
- [4] C. W. Borst and A. P. Indugula, "Realistic Virtual Grasping," in IEEE Virtual Reality Conference 2005 (VR'05), 2005, pp. 91-98, 320.
- [5] C. W. Borst and A. P. Indugula, "A Spring Model for Whole-hand Virtual Grasping," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 15, pp. 47-61, 2006.
- [6] U. Zaldívar Colado, "Planification d'Assemblage en Environnement Virtuel," Ph.D. thesis, Laboratoire d'Ingenierie des Systèmes de Versailles, Université de Versailles Saint Quentin-en-Yvelines, France, 2009.
- [7] H. J. Luinge, P. H. Veltink. (april 2005). Measuring orientation of human body segments using miniature gyroscopes and accelerometers. Medical and Biological Engineering and Computing, Volume 43, pp 273-282.
- [8] U. Zaldívar-Colado, et al., "Spring-damper Model for Parts Mating in Virtual Assembly Environment," in proceedings of International Symposium On Robotics and Automation (IEEE-ISRA 2006), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 2006.
- [9] D. Roetenberg; H. J. Luinge ; C. T. M. Baten ; P. H. Veltink. (Sept. 2005). Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Volume:13, 395 - 405.
- [10] Ulises Zaldivar-Colado et al. Técnica de Interacción para el Agarrado y Manipulación de Objetos en Ensamble Virtual. vol. XII, 2010.