

ALTERNATIVA PARA LA EVALUACIÓN DE GESTOS TERAPÉUTICOS DEL BRAZO

Samuel Alvarado Agama Ing.¹, Dra. Miriam Martínez Arroyo², M.T.I. Rafael Hernández Reyna³,
Dr. José Antonio Montero Valverde⁴

Resumen—El presente trabajo expone un análisis exploratorio para utilizar visión computacional y los modelos ocultos de Markov (MOM) para el desarrollo de una herramienta computacional capaz de evaluar gestos terapéuticos del brazo, e implementar esta metodología en un sistema terapéutico de bajo costo, enfocado a la rehabilitación de personas con discapacidad motora a causa de una enfermedad vascular cerebral y que puede ser utilizado en su hogar. Desarrollando para esto, un sistema visual para rastrear el brazo de una persona, que sirva como entrada para los modelos que reconocen los gestos aplicando una medida de similitud probabilista. Se busca que el sistema al menos analice tres gestos terapéuticos: flexión, circular y abducción.

Palabras clave—gestos, evaluación, visión, rehabilitación.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad; de ellas, casi 200 millones experimentan dificultades considerables en su funcionamiento ((OMS), 2011) .

La prevalencia de la discapacidad en México para 2014 fue de 6%, según los datos de la ENADID 2014. Esto significa que 7.1 millones de habitantes del país no pueden o tienen mucha dificultad para hacer alguna de las ocho actividades evaluadas: caminar, subir o bajar usando sus piernas; ver (aunque use lentes); mover o usar sus brazos o manos; aprender, recordar o concentrarse; escuchar (aunque use aparato auditivo); bañarse, vestirse o comer; hablar o comunicarse; y problemas emocionales o mentales (Secretaría de Desarrollo Social, 2016).

En 2014, del total de discapacidades reportadas el 33% pertenece a dificultad para mover o usar brazos o manos (Secretaría de Desarrollo Social, 2016). Una de las principales causas es el Evento Vascular Cerebral. En México según la base de datos de egresos hospitalarios del año 2010 del sector salud (Secretaría de Salud, IMSS, IMSS Oportunidades, ISSSTE, PEMEX, SEMAR y SEDENA) se registraron 5,314,132 egresos del sector público sanitario. De éstos, 46,247 (0.9%) fueron registros de Enfermedad Vascular Cerebral aguda. (Chiquete et al., 2012). Las secuelas de un Enfermedad Vascular Cerebral tardan mucho tiempo en curarse lo cual se convierte en algo muy costoso y devastador en los países subdesarrollados y para las personas con recursos económicos limitados.

Según el diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México, el 54% de las personas con discapacidad motriz se encuentran en situación de pobreza. (Secretaría de Desarrollo Social, 2016).

Es por esto por lo que se requieren nuevas opciones terapéuticas para disminuir la necesidad de que el paciente permanezca en el hospital durante un largo período de tiempo.

Recientemente se han desarrollado nuevas opciones terapéuticas para que los pacientes puedan continuar su terapia de rehabilitación motriz en casa, sin la necesidad de un terapeuta presente todo el tiempo. En este caso, existe la necesidad de un sistema que pueda evaluar el progreso del paciente y darle retroalimentación. Se propone construir una herramienta capaz de evaluar gestos funcionales durante la rehabilitación como una forma de proporcionar retroalimentación objetiva y automática al paciente.

Sistemas de captura de movimiento.

La captura de movimiento es una técnica para digitalizar movimientos reales. Estos sistemas son utilizados para adquirir las características del movimiento de un ser humano con un grado de precisión relativamente alto.

Pueden clasificarse según su tecnología en: electromecánicos, electromagnéticos, inerciales y ópticos. La clasificación se ilustra en la Figura 1.

¹ Samuel Alvarado Agama Ing. es Estudiante de Maestría en Sistemas Computacionales en un programa PNPC en el Instituto Tecnológico de Acapulco, Guerrero. sagama86@gmail.com (autor corresponsal)

² La Dra. Miriam Martínez Arroyo es Profesora en la Maestría en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Acapulco, Guerrero miriamma_ds@hotmail.com

³ El M.T.I. Rafael Hernández Reyna es Profesor en la Maestría en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Acapulco, Guerrero mrhernan7@yahoo.com.mx

⁴El Dr. José Antonio Montero Valverde es Profesor en la Maestría en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Acapulco, Guerrero jamontero1@infinitummail.com

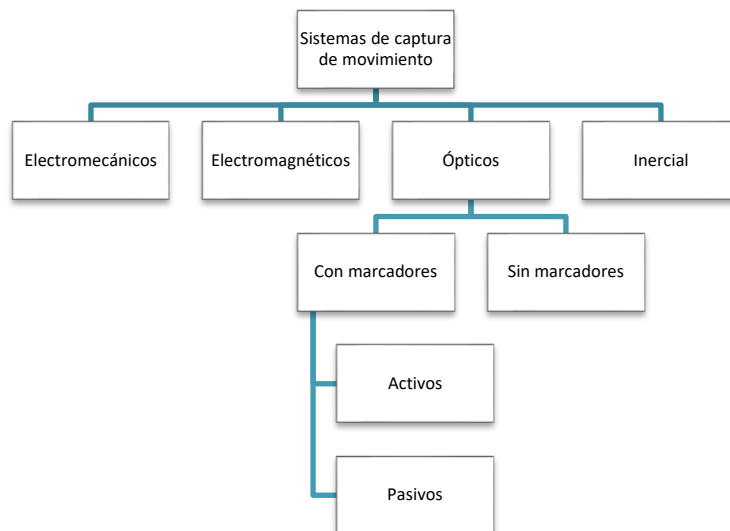


Figura 1. Clasificación de sistemas de captura de movimiento (Bravo M., Rengifo R., & Agredo R., 2016).

Sistemas electromecánicos de captura de movimiento.

En los sistemas de captura de movimiento electromecánicos, la captura del movimiento se realiza usando sensores mecánicos. En el proceso de captura de movimiento, la persona viste unos trajes especiales, adaptables al cuerpo humano.

Estos trajes son generalmente estructuras rígidas compuestas de barras metálicas o plásticas, unidas mediante potenciómetros colocados en las principales articulaciones. Básicamente, el actor coloca la estructura en su cuerpo y mientras se mueve, el traje se adapta a los movimientos que este realiza; los potenciómetros recogen toda la información del grado de rotación de las articulaciones.

La desventaja de estos sistemas con respecto a otros es la incapacidad de medir traslaciones globales (miden las posiciones relativas de los miembros, pero no el desplazamiento del actor en el escenario). Por otro lado, dicho sistema supone que la mayoría de los huesos humanos están unidos por articulaciones de un grado de libertad con centro instantáneo de rotación fijo, pero no tiene en cuenta rotaciones complejas que se producen en las articulaciones humanas; las estructuras suelen ser rígidas y restringen el movimiento del actor.

Sistemas electromagnéticos de captura de movimiento.

Para los sistemas de captura de movimiento electromagnéticos, se dispone de una colección de sensores electromagnéticos que miden la relación espacial con un transmisor cercano. Los sensores se colocan en el cuerpo y se conectan a una unidad electrónica central; están constituidos por tres espiras ortogonales que miden el flujo magnético, determinando posición y orientación del sensor. Un transmisor genera un campo electromagnético de baja frecuencia que los receptores detectan y transmiten a la unidad electrónica de control.

Sistemas inerciales de captura de movimiento.

En los sistemas de captura de movimiento inerciales, se colocan sensores inerciales en distintas partes del cuerpo (acelerómetros triaxiales y giroscopios). Una ventaja es que se obtienen datos precisos de aceleración y orientación del individuo. Sin embargo, no es posible medir traslaciones globales y una desventaja es que estos sensores son muy sensibles a cambios en los campos magnéticos.

Sistemas ópticos de captura de movimiento.

Los sistemas ópticos utilizan los datos recogidos por sensores de imagen para inferir la posición de un elemento en el espacio, utilizando una o más cámaras sincronizadas para proporcionar proyecciones simultáneas. Generalmente se usan marcadores pegados al actor, pero los sistemas más recientes permiten recoger datos confiables, rastreando superficies del sujeto identificadas dinámicamente. Estos sistemas entregan la posición cartesiana (x,y,z) de cada marcador en un marco de referencia inercial; la orientación de una superficie se calcula utilizando la posición relativa, de al menos, 3 marcadores. Los sistemas ópticos de captura de movimiento permiten la grabación en tiempo real, con algunas limitaciones como son: el número de cámaras, marcadores y actores. Estos sistemas pueden capturar un gran número de marcadores a frecuencias del orden de hasta 2000 cuadros por segundo.

Los sistemas ópticos de captura de movimiento son los más utilizados en laboratorios de biomecánica por su alta fidelidad y bajo costo de implementación al poder funcionar con cámaras web y se pueden clasificar como sistemas ópticos sin marcadores y con marcadores, estos a su vez se dividen en: activos y pasivos. En los sistemas ópticos con marcadores pasivos, se colocan al sujeto marcadores reflectantes en todos los puntos de interés de captura de movimiento, a diferencia de los sistemas ópticos activos, donde se colocan marcadores activos (diodos emisores de luz [LED]). Una desventaja en los sistemas ópticos con marcadores es la oclusión; aquí los marcadores no aparecen en varias tomas de la cámara, debido a la obstrucción de la línea de visión de los objetos de la escena o por otras partes del cuerpo del sujeto. La mayoría de los paquetes de post procesamiento comerciales tienen la capacidad de tratar con los marcadores ocluidos; para ello se crean marcadores virtuales para sustituir la información de los ocluidos, o pueden usar marcadores redundantes (más que el mínimo requerido en el protocolo estándar), para compensar los marcadores ocluidos.

El movimiento de los marcadores se suele utilizar para deducir el movimiento relativo entre dos segmentos consecutivos, con el objetivo de definir con precisión el movimiento de una articulación. El movimiento de la piel (donde se coloca el marcador), en relación con el hueso subyacente, es el principal factor que limita la aplicación de algunos sensores.(Cappozzo, Cappello, Croce, & Pensalfini, 1997)(Holden, J. A. Orsini, Kepple, Gerber, & Stanhope, 1997)

Los sistemas de captura de movimiento sin marcadores, como la cámara Microsoft Kinect y Organic Motion™, ofrecen una alternativa distinta a la tecnología de captura de movimiento(Mutto, Zanuttigh, & Cortelazzo, 2012). El Kinect es una cámara capaz de estimar la geometría 3D de la escena adquirida, a 30 cuadros por segundo; está construida con un sensor de profundidad de resolución espacial de 640 × 480 píxeles, una videocámara VGA de la misma resolución y un arreglo de micrófonos para reconocimiento de voz. El Kinect fue desarrollado como un dispositivo periférico para uso con la consola de juegos Xbox 360, aunque se ha adaptado fácilmente para otros campos como: la robótica, seguimiento del esqueleto humano, reconstrucción 3D, terapia asistencial y biomecánica.

Comparación de métodos de seguimiento humano.

Se revisaron diferentes técnicas para la obtención del movimiento humano. Los sistemas basados en sensores se dividen en inerciales, ópticos y mixtos. Los inerciales obtienen la posición del cuerpo humano en el tiempo utilizando acelerómetros y giroscopios. Los ópticos, emiten luz infrarroja que es detectada por unas cámaras para determinar su posición. Los ópticos, no pueden medir la aceleración y los cambios bruscos de dirección y los inerciales tienen carencias al obtener la posición en el espacio. Existen sistemas que utilizan sensores inerciales y ópticos para evitar las deficiencias de ambos.

Los sistemas de visión con marcas se benefician de las articulaciones del cuerpo humano para poder detectar su forma al colocarle marcas en dichas articulaciones, estas marcas pueden ser activas, pasivas o mixtas. Las marcas eliminan el problema de la segmentación, pero ocasionan que se pierda a la persona o alguna de sus extremidades por el problema de oclusión. Esta técnica funciona adecuadamente usando solo webcams.

Los sistemas de visión sin marcas no tienen el problema de oclusión, ya que la mayoría se basa en detectar al cuerpo humano por medio de delimitar su estructura antes de la detección, como lo son los BLOBS⁵ o manchas y que definen la cabeza, las extremidades, el tronco y las manos y los pies, y los stick que determinan la estructura en forma de alambre del cuerpo humano. En esta categoría destaca la tecnología Kinect.

Los estudios para determinar la resolución espacial del Kinect en las coordenadas X, Y, Z, evidencian que el error asociado a la medición de las coordenadas cartesianas aumenta a medida que el sujeto de análisis se aleja del sensor (escala logarítmica), obteniendo valores mínimos y máximos de: 1 mm hasta 6.5 mm para las coordenadas X e Y; y 2mm hasta 5cm en la coordenada Z, para valores de distancia del sujeto de estudio al sensor de 0.8 m hasta 4m respectivamente. Las desviaciones en la medidas de las coordenadas es considerable frente a la presencia de fuentes parásitas infrarrojas, por tal motivo es necesario realizar un adecuado control de estas.

El sistema de captura de movimiento con Kinect es de bajo costo y fácil instalación y se presenta como una opción para realizar un estudio preliminar de los parámetros cinemática de la marcha humana. Sin embargo, el análisis de los datos de validación indica que el sensor Kinect no se puede emplear para hacer un análisis de movimiento humano preciso.(Bravo M. et al., 2016).

En el presente trabajo se desea realizar un seguimiento del movimiento humano utilizando una técnica que nos permita cambiar de ambiente, ya que el sistema, tiene como meta ser utilizado en los hogares de los pacientes en rehabilitación. Además, se necesita que sea fácil de implementar y que sea muy económico. No se necesita que sea de precisión milimétrica. Por los requisitos deseados, la técnica que más se adecúa a las necesidades del proyecto es la utilización de seguimiento visual con marcas del movimiento utilizando webcams.

⁵ La palabra BLOB viene de las iniciales de Binary Large Object que se refiere a un grupo de píxeles conectados en una imagen.

Métricas

Una vez obtenido el movimiento humano, este puede ser representado como una trayectoria, en donde las coordenadas cartesianas del objeto obtenidas en cada cuadro de video forman una curva temporal. El objetivo de esta propuesta es obtener evaluaciones de ejercicios terapéuticos. Al ver los movimientos como trayectorias abre la posibilidad de comparar los ejercicios realizados, con ejercicios ya establecidos como correctos.

Al analizar la viabilidad de diversas métricas de distancia, estas presentan varias restricciones, como son igual duración e igual número de muestra de cuadros por unidad de tiempo. Por lo tanto, se necesita de una técnica que no tenga estas restricciones. A continuación, se describe como los Modelos Ocultos de Markov pueden resolver estos problemas.

Modelos Ocultos de Markov

Un Modelo Oculto de Markov (MOM) es un modelo estadístico en el que se asume que el sistema a modelar es un proceso de Markov de parámetros desconocidos. El objetivo es determinar los parámetros desconocidos (u ocultos) de dicha cadena a partir de los parámetros observables. Los MOM son herramientas útiles para modelar series de datos en el tiempo. Existen tres problemas básicos para que los MOM puedan ser aplicados en el mundo real: a) evaluación, que determina la probabilidad de la secuencia de observaciones dado el modelo, b) decodificación, que consiste en encontrar la secuencia de estados más probable que haya generado una secuencia de observaciones dada, y c) entrenamiento, que consiste en ajustar los parámetros del MOM para maximizar la probabilidad dada una secuencia de observaciones y el modelo.

Si los MOM son vistos como grafos dirigidos, entonces se pueden definir diferentes topologías: ergódicas, que representan a los grafos completamente conectados; Bakis, grafos conectados de izquierda a derecha e izquierda-derecha paralelas, grafos conectados de izquierda a derecha en paralelo.

Como los MOM pueden representar la dinámica de un proceso, es fácil representar una trayectoria como un MOM. Actualmente existen diferentes métodos para comparar MOM's. El primer método es el propuesto por Levinson, que se basa principalmente en comparar la matriz de observaciones, de esta forma se comparan los modelos por la similitud de sus probabilidades por generar observaciones en cada uno de los estados.

La distancia de Kullback-Leibler, es una buena aproximación para comparar dos MOM, ya que considera todos los parámetros de un MOM; está basada en los conceptos de la divergencia, entropía cruzada, o información de discriminación. Un problema de esta distancia es la convergencia, debido a que depende de la longitud de la secuencia de observaciones generada por el modelo. Porikli, diseña una distancia para comparar trayectorias de movimiento de objetos, donde la información de la trayectoria se reemplaza por los símbolos de observación del modelo, y los estados capturan las propiedades espacio - temporales de la trayectoria. Sin embargo, se requiere un modelo por cada trayectoria individual, lo que hace complicado modelar varias trayectorias de una misma clase.

Metodología

El sistema general se divide en tres módulos principales: a) Sistema visual, b) Modelo de movimiento y c) Evaluación del movimiento. El sistema visual localiza y sigue las articulaciones del brazo de una persona (hombro, codo y muñeca), empleando cintas de color (amarillo, rojo, azul) como marcas distintivas. El seguimiento se aplica en las secuencias de imágenes capturadas por dos webcams de video, obteniéndose las posiciones 2D de cada articulación en el plano de la imagen en cada webcam. Posteriormente, se estima la posición 3D de cada marca por medio de la intersección de líneas de visión (de cada cámara a las marcas), reconstruyendo el brazo en una estructura de alambre (stick) 3D. El Modelo de movimiento obtiene las trayectorias del movimiento del brazo. Dichas trayectorias se modelan por medio de ángulos entre el brazo y el antebrazo, y entre el brazo y el torso del usuario, extraídas de la estructura de alambre 3D del brazo. Por último, se utilizan los modelos ocultos de Markov para que estos traten de reconocer los gestos con algunos patrones previamente almacenados. Para esto se discretizan los datos de las trayectorias a ser usados por los MOM. Se entrenan los MOM correspondientes a los tres gestos, empleando las secuencias de observaciones de movimiento obtenidas.

Se crean dos grupos de datos de entrenamiento, uno para los gestos correctos realizados por personas sanas, y otro para los gestos realizados por el paciente. Posteriormente, se obtiene una métrica entre dos MOM empleando la distancia de Levinson, Kullback-Leibler y Porikli. Finalmente, el especialista en rehabilitación obtiene una valoración del paciente utilizando las métricas de Fugl-Meyer e índice de motricidad.

Conclusiones

Para ciertas aplicaciones, como en la rehabilitación, es importante calificar ciertos gestos; es decir, compararlos con un patrón de referencia, y dar una medida de qué tan cerca está el gesto observado de la referencia.

El análisis de lo que se lleva hasta ahora comprende la funcionalidad de un sistema capaz de calificar los gestos del brazo basados en Modelos Ocultos de Markov (MOM). Un MOM se entrena basado en la referencia o el

gesto correcto. Luego, se utilizan muestras del gesto que queremos evaluar para entrenar un segundo MOM. Ambos MOM se comparan y se utiliza una medida de su similitud para evaluar el gesto. Los recursos y el material que se busca utilizar están pensados para economizar el costo del producto final, sin disminuir la calidad de este. Se considera que la técnica de captura de movimientos usando marcadores pasivos es de las más eficaces y económicas lo que permitiría acercar esta tecnología a las personas más necesitadas en nuestra región.

Referencias.

- (OMS), O. M. de la S. (2011). Informe mundial sobre discapacidad. *Rehabilitación Basada en la Comunidad Guías para la RBC*.
- Bravo M., D. A., Rengifo R., C. F., & Agredo R., W. (2016). Comparación de dos Sistemas de Captura de Movimiento por medio de las Trayectorias Articulares de Marcha. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 37(2), 149–160. <https://doi.org/10.17488/RMIB.37.2.2>
- Cappozzo, A., Cappello, A., Croce, U. d., & Pensalfini, F. (1997). Surface-marker cluster design criteria for 3-d bone movement reconstruction. *Biomedical Engineering*.
- Chiquete, E., Ruiz-Sandoval, J. L., Murillo-Bonilla, L. M., Arauz, A., Villarreal-Careaga, J., León-Jimenez, C., ... Cantú-Brito, C. (2012). Egresos por enfermedad vascular cerebral aguda en instituciones públicas del sector salud de México: Un análisis de 5.3 millones de hospitalizaciones en 2010. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 13(5), 252–258.
- Holden, J. P., J. A. Orsini, K. L. S., Kepple, T. M., Gerber, L. H., & Stanhope, S. J. (1997). Surface movement errors in shank kinematics and knee kinetics during gait. *Gait & Posture*, 5(3), 217–227.
- Mutto, C. D., Zanuttigh, P., & Cortelazzo, G. M. (2012). Time-of-Flight Cameras and Microsoft Kinect(TM). *Springer Publishing Company*.
- Secretaría de Desarrollo Social. (2016). Diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México. *An. Sist. Sanit. Navar.*, 84. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9304-7>