

Desarrollo de una Interfaz Natural de Usuario para Rehabilitación Motriz

Jorge Diego-Mendoza^a, José Alberto Márquez-Domínguez^a, Beatriz Adriana Sabino-Moxo^a

Resumen

Los dispositivos hápticos son herramientas de apoyo (hardware especializado) para sistemas basados en realidad virtual, sin embargo, son costosos e incómodos para algunas personas que requieren realizar actividades para sus tratamientos de rehabilitación motriz; algunos autores comparan estos dispositivos con el sensor Kinect®. En este trabajo se presenta el desarrollo de una Interfaz Natural de Usuario usando el sensor Kinect®. Esta interfaz permitirá a los usuarios interactuar con elementos de una escena 3D y a su vez realizar las rutinas de ejercicios de rehabilitación sin necesidad de usar sensores u otros dispositivos, además de que les permitirá llevar a cabo de manera más entretenida las actividades de rehabilitación, motivándolos a continuar con su tratamiento.

Palabras clave: Rehabilitación Motriz, Interfaz Natural de Usuario, Sensor Rehabilitación Motriz, Interfaz Natural de Usuario, sensor Kinect®.

Abstract

Haptic devices are tools (specialized hardware) for virtual reality-based systems; however, they are expensive and uncomfortable for people who need to do activities for motor rehabilitation treatments; some authors compare these devices with the Kinect® sensor. In this paper a Natural User Interface is introduced. This interface which uses the Kinect® sensor will allow the users to interact with the elements of 3D scene and do routine rehabilitation exercises without using sensors or other devices. Additionally this aids in carrying out for the patients activities in a more entertaining way, motivating the patients to continue with their treatment.

Keywords: Motor Rehabilitation, Natural User Interface, Kinect® sensor.

Introducción

El uso de la tecnología en el campo de la salud, ha jugado un papel de suma importancia, ya que gracias a ello se ha mejorado de manera significativa el bienestar y calidad de vida de las personas. Cada vez surgen nuevas exigencias, por lo que se han efectuado constantes investigaciones e innovaciones tanto en el ámbito de la salud como de la tecnología.

Una de las especialidades en la que se están realizando importantes aportaciones tecnológicas, es en la rehabilitación motriz donde se ha implementado hardware y software que ayuda a los pacientes en la recuperación de sus extremidades dañadas y se brinda una alternativa para que los pacientes cumplan exitosamente con los tratamientos físicos. Dichas aplicaciones apoyan a

los médicos especialistas o fisioterapeutas en el seguimiento de los mismos.

En este documento se presenta la propuesta de una Interfaz Natural que permite al usuario interactuar con una aplicación basada en realidad virtual; dicho sistema apoyará a los pacientes a realizar sus rutinas de ejercicios de una manera más entretenida en comparación con la forma tradicional. Para facilitar la interacción entre el usuario y el software se empleará el sensor Microsoft Kinect®.

En los siguientes apartados se mencionarán algunos proyectos de investigación relacionados con software de apoyo para rehabilitación motriz, posteriormente, se describirá información relevante de las interfaces naturales de usuario y como

^a Universidad de la Cañada, Carretera Teotitlán, San Antonio Nanahuatipán Km 1.7 s/n. Paraje Titlacuatitla, C.P. 68540; Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca, México.

Correspondencia: José Alberto Márquez Domínguez
Universidad de la Cañada
Correo electrónico: albertomarquez@unca.edu.mx

se implementaron en la presente propuesta, las pruebas realizadas con ésta, conclusiones obtenidas y la bibliografía utilizada.

Software de apoyo para rehabilitación motriz

La rehabilitación motriz es una especialidad dentro de la medicina que comprende el diagnóstico, evaluación, prevención y tratamiento de déficits o incapacidades con el objetivo de proporcionar, conservar o restituir la funcionalidad y autonomía al nivel más óptimo posible¹.

Cuando las personas padecen de alguna enfermedad o lesión, se ven en la necesidad de buscar soluciones fisioterapéuticas a sus padecimientos, por lo que emprenden un proceso que mejore su sistema muscular esquelético, mismo que debe desarrollarse de forma dirigida y coordinada por un especialista. Una alternativa para realizar lo anterior es a través de juegos basados en realidad virtual (rehabilitación virtual), debido a que a través de éstos, los especialistas tienen ventajas de estudiar el comportamiento de los pacientes, ya que ellos exponen varias modalidades sensoriales frente a la rehabilitación virtual, este tipo de rehabilitación, como ejemplo, muestra de cómo sus movimientos motrices responden con respecto a su visión o audición².

Diversos trabajos de investigación han propuesto alternativas para asistir a los profesionales de la salud en la evaluación de ejercicios para rehabilitación motriz, entre estos se encuentran:

1. ARMEO, compuesto por un soporte robótico ajustable al paciente y una palanca para rehabilitar problemas de hemiparesias leves-moderadas, mediante el T-WREX³.
2. CAREN, es un sistema que simula un entorno virtual 3D, por donde el paciente irá caminando, por ejemplo, por el campo o un bosque; es un software para entrenar el equilibrio y la coordinación. Una desventaja de éste es que no logra obtener la posición del sujeto dentro de la plataforma⁴.
3. *Gesture Therapy*, basado en un mando con un sensor que se conecta por puerto USB al PC. El objetivo de este sistema es rehabilitar mediante juegos la movilidad del brazo, mano y dedos, además hace seguimiento de la cabeza del paciente para detectar y evitar la compensación con el tronco. La idea de este sistema también fue diseñada para que el paciente pueda seguir la rehabilitación en su hogar, por su fácil instalación, ya que la disponibilidad de ARMEO fuera de clínicas era imposible⁵.
4. Sistema Virtual *Wiihab*, desarrollado usando una PC y los periféricos *Wiimote* y *WiiBalance-Board (WBB)*. El sistema contiene cuatro juegos con el fin de realizar rehabilitación virtual de tipo motriz para pacientes con DCA (Daño cerebral adquirido). Según el juego elegido de *Virtual Wiihab*, tiene como objetivo: controlar la precisión de los movimientos y postura de los pacientes, esto se puede conseguir utilizando al mismo tiempo ambos periféricos; además puede validar el equilibrio y la estabilidad solo con WBB. Además de que tiene la cualidad de personalizar los parámetros para cada paciente respetando sus límites. También tiene la opción de modo multijugador, con esta opción dos pacientes pueden jugar juntos al mismo tiempo e incrementar la diversión o motivación frente a la rehabilitación⁶.
5. *eBaVIR*, sistema para pacientes con DCA para entrenar el equilibrio mediante la WBB. Contiene una serie de tres juegos donde el paciente interactúa a través de desplazamientos de su peso⁷.
6. *VirtualRehab*, sistema de tracking que funciona mediante el sensor de movimiento Kinect®, es un software que emplea entornos de realidad virtual 3D dirigido a pacientes que sufren esclerosis múltiple, proporciona la ventaja de que con el sensor no necesitan controlar ningún dispositivo con ninguna parte de su cuerpo y logra, con importante precisión, el posicionamiento del paciente en el entorno. Se realizan ejercicios de equilibrio, la fuerza, la fatiga, etc⁸.
7. *BioTrack*, sistema para rehabilitación virtual, permite realizar ejercicios como: equilibrio, memoria y atención; utiliza varios periféricos, según el juego o ejercicio a realizar, pudiendo encontrarse la plataforma WBB, la cámara de Microsoft Kinect®, tablet multitáctil o mesa multitáctil. Actualmente se puede adquirir con distintos precios según las necesidades del paciente⁹.
8. *Toyra*, es una plataforma de rehabilitación que integra las tecnologías de información sanitaria, realidad virtual y captura de movimiento para el desarrollo de ejercicios interactivos de terapia personalizados; utiliza la realidad virtual para aumentar la motivación del paciente hacia su propia terapia, además permite el análisis

de los resultados de la terapia del paciente de forma individualizada. Esta aplicación requiere de la renta del software y la compra de los sensores que se adhieren al cuerpo¹⁰.

Se han desarrollado muchas aplicaciones para mejorar el proceso de rehabilitación motriz, cada vez hay más investigaciones en esta rama, en donde se adaptan dispositivos periféricos o hápticos recientes a nuevas ideas para realizar sistemas más sofisticados y económicos, lo anterior con la finalidad de mejorar las habilidades del paciente; por tal motivo, los juegos implementados deben ser sencillos e intuitivos, para facilitar su interacción y no frustrar a los pacientes en su intento de conseguir una meta. Uno de los objetivos a conseguir con estos sistemas es que sea apto para cualquier grado de discapacidad o demencia una vez desarrollado, ajustando los parámetros necesarios para cada limitación del paciente¹¹.

Así mismo, los dispositivos hápticos son una manera de interactuar con el entorno (sistema), sin embargo, el tener un aparato colocado en alguna parte del cuerpo puede llegar a ser incómodo, más si la persona presenta una lesión en dicha zona, es por ello que una alternativa adecuada a esta problemática es utilizar una Interfaz Natural de Usuario. En el siguiente apartado se describe este tema.

Interfaz Natural de Usuario

La Interfaz Natural de Usuario (NUI) de sus siglas en inglés (*Natural User Interface*), presenta una evolución substancial al modo de realizar interacciones hombre-máquina sobre las aplicaciones.

Estas interfaces son un nuevo paradigma en el que se interactúa con un sistema o aplicación sin utilizar dispositivos de entrada tradicional como sería un ratón, teclado u otro dispositivo similar, en su lugar, se hace uso de movimientos gestuales generados por las manos o cuerpo, mismos que son el control de mando¹².

Las NUI tienen algunas consideraciones adicionales, las cuales se enfocan en hacer uso de una comunicación de manera natural al ser humano, captando la información en tiempo real logrando una interacción corporal de manera directa, sin utilizar un periférico que actúen como intermediario para la entrada de información. Existen muchas aplicaciones que aprovechan las ventajas de las NUI, sobre todo en el área de la medicina y entretenimiento. Una alternativa de bajo costo y accesible para su implementación es el sensor Microsoft Kinect®. En el siguiente apartado se describen las características principales de dicho dispositivo.

Sensor Microsoft Kinect®

El sensor Kinect® permite a los usuarios controlar e interactuar con las aplicaciones de software de manera natural (Figura 1), reconoce los movimientos del cuerpo humano al situarse frente a su espacio visual^{13,14}.

En la Tabla 1 se describen cada uno de los elementos que conforma el sensor Kinect®.

En la literatura se pueden encontrar varios trabajos que mencionan las características y especificaciones del sensor Kinect®, entre estos se

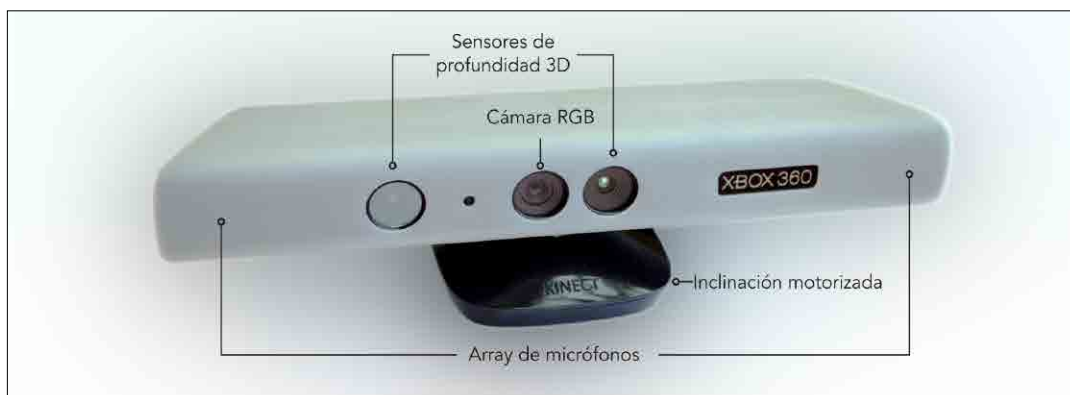


Figura 1. Sensor Microsoft Kinect®.

encuentran Cruz, et al.¹⁵, Peralta¹⁶ y Viforcós¹³. De acuerdo a dichas propiedades, algunos autores mencionan lo siguiente:

LaBelle¹⁷, señala que el sensor puede ser utilizado para propósitos médicos, además de la terapia física, es una herramienta de bajo costo y efectiva que puede ser utilizado por ingenieros biomédicos, es un dispositivo pequeño y no requiere que los pacientes usen otros aparatos que limiten su movimiento.

Chang et al.¹⁸, presentan un estudio comparativo entre el sensor Kinect® y el sistema de cámaras Optitrack® V100:R2; el primer sistema con las características ya conocidas mostradas en la Tabla 1 y considerado de bajo costo, el segundo basado en marcas que requieren el uso de un traje de captura para el seguimiento del movimiento humano, por lo que es de alto costo. En este estudio se concluye que a pesar de que Optitrack es ligeramente más rápido (OptiTrack® es 50 milisegundos más rápido que Kinect®) en cuestión de

Tabla 1. Componentes que integran el sensor Microsoft Kinect®

Componentes	Descripción
Cámara RGB	Cámara de video para obtener imágenes a color, con una resolución de 640x480 a 30 fotogramas o imágenes fotográficas por segundo. Una cámara RGB ayuda a identificarlo y capta imágenes y videos del juego.
Sensores de profundidad 3D (infrarrojos).	Combinación de un proyector de profundidad (retícula izquierda) con un sensor de profundidad (retícula derecha), se calcula la distancia en que se encuentran los objetos detectados frente al espacio visual del dispositivo en función del tiempo que tarda en reflejar la luz. (Figura 8) Profundidad de detección desde 0.8 m hasta 8 m.
Inclinación monitorizada	Permite ajustar la cámara hacia arriba o hacia abajo $\pm 27^\circ$. Un impulso mecánico en la base del sensor Kinect® inclina de manera automática el sensor hacia arriba o abajo según sea necesario.
Arreglo de micrófonos	Conjunto de cuatro micrófonos que son utilizados para el reconocimiento de voz, identifican el origen y direccionalidad de la fuente de sonido. Audio: 16 bits y velocidad 16 kHz
Memoria RAM	Memoria de 512 Mb
Acelerómetro	Para estabilizar la imagen cuando se mueve.
Ventilador	No está encendido continuamente para no interferir con los micrófonos.
Ángulo de visión	Campo de visión horizontal de 57 grados. Campo de visión vertical de 43 grados.

captura y procesamiento, es posible utilizar este sensor como herramienta para el desarrollo de aplicaciones de rehabilitación y que puede ser empleado en hogares y hospitales.

El sensor Kinect® puede llevar a cabo la detección de puntos clave del cuerpo humano (presentados por coordenadas 3D), mediante imágenes de profundidad y árboles de decisión aleatorio a una velocidad de 200 fotogramas por segundo^{19, 20},

para hacer uso de los datos proporcionados por dicho sensor, la empresa Microsoft y PrimeSense desarrollaron un SDK (Software Development Kit, en español Kit de Desarrollo de Software), que es empleado para el desarrollo de software usando este sensor. En la Tabla 2 se presenta un cuadro comparativo de los SDK antes mencionados.

El sensor Microsoft Kinect® fue liberado en el 2010, inicialmente se utilizó para aplicaciones de

Tabla 2. Cuadro comparativo entre SDK de Microsoft® y OpenNI

SDK DE MICROSOFT	OPENNI DE PRIMESENSE
Solo soporta Windows 7	Soporta Windows® 7, Vista®, XP®, Linux, Mac OSX®, es multiplataforma.
Soporte para audio	Sin soporte para audio.
Licencia únicamente para uso no comercial	Licencia para uso comercial.
Consume más CPU	Consume menos CPU.
Sin soporte para el motor de juego Unity3D	Incluye el código de apoyo para el motor de juego Unity3D
Seguimiento del cuerpo entero	Seguimiento del cuerpo entero.
Soporte para el motor de inclinación	Sin soporte para el motor de inclinación
Instalación simple Solamente SDK de Microsoft	Instalación confusa y ambigua Paquetes de instalación: <ul style="list-style-type: none"> • SDK OPENNI • Sensor Kinect® • NITE
Sin soporte incorporado para grabación/ reproducción en el disco.	Soporte incorporado para grabación/ reproducción en el disco.
Lenguajes de programación: C++, C#, Java, VB.	Lenguajes de programación: C++, C#, Java, VB.
Solo soporta desarrollo x86 (aunque se incluye drivers x64 y x86 las librerías son para x86).	Soporta desarrollo para x86 y x64.

entretenimiento, sin embargo, debido a que este dispositivo tiene la capacidad de detectar un total de 20 puntos clave o articulaciones del cuerpo humano (Figura 2) se ha comenzado a utilizar para otro tipo de aplicaciones, principalmente en el área de la salud²¹.

La segmentación del cuerpo humano puede realizarse de múltiples formas, dependiendo de cuál sea el objeto de estudio²².

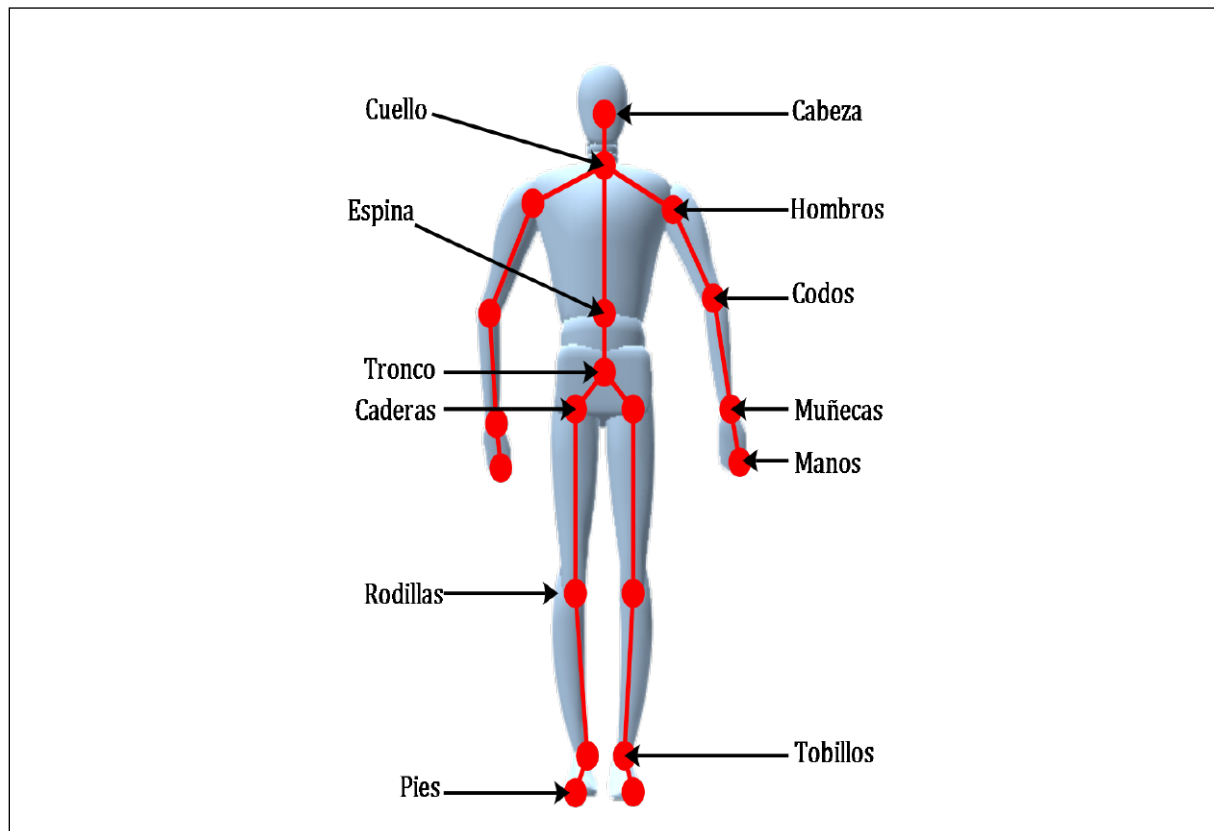
Con base en lo anterior, se ha identificado que el sensor Kinect® puede ser utilizado en el proceso de rehabilitación motriz porque permite a pacientes desarrollar con plena libertad sus ejercicios y de esta forma mejorar su movilidad. Además, es posible implementar aplicaciones con interfaces naturales. A continuación se describe cómo se implementa una interfaz natural para una aplicación basada en realidad virtual que a futuro permitirá en un primer acercamiento validar ejercicios de coordinación del cuerpo humano.

Desarrollo de la interfaz natural de usuario

El desarrollo de la propuesta de software para rehabilitación motriz se llevó a cabo usando las siguientes herramientas:

- IDE para programación en C#, utilizado para la programación de *scripts*.
- *Unity3D*, usado para el diseño del entorno virtual del software de rehabilitación motriz.
- *Blender*, empleado en el modelado de objetos 3D que contendrá la aplicación.
- *OpenNI*, librería que facilita el acceso a las distintas funcionalidades que provee el sensor Kinect®, tal es el caso de la detección de los puntos clave (articulaciones del cuerpo humano).

La propuesta es una aplicación que apoye al médico rehabilitador o fisioterapeuta a revisar o validar si algunas rutinas de ejercicios de las



8 Figura 2. Conjunto de 20 puntos clave del cuerpo humano detectados por Kinect®.

extremidades superiores son realizadas correctamente (Figura 3), esto sin utilizar dispositivos hápticos.

Para la rehabilitación, se diseñó un ambiente gráfico que permitiera al paciente interactuar con diversos objetos (frutas) que puede encontrar en su entorno (Figura 4).

La razón por la que se decidió utilizar estos objetos, es que a través de los mismos, se estará representando cada uno de los ejercicios que el paciente tenga que realizar y de esta forma se le motivará a realizar los ejercicios. Cabe mencionar que se implementó un avatar para representar al usuario y sus movimientos, y a través de éste se interactúe con los elementos de la escena.

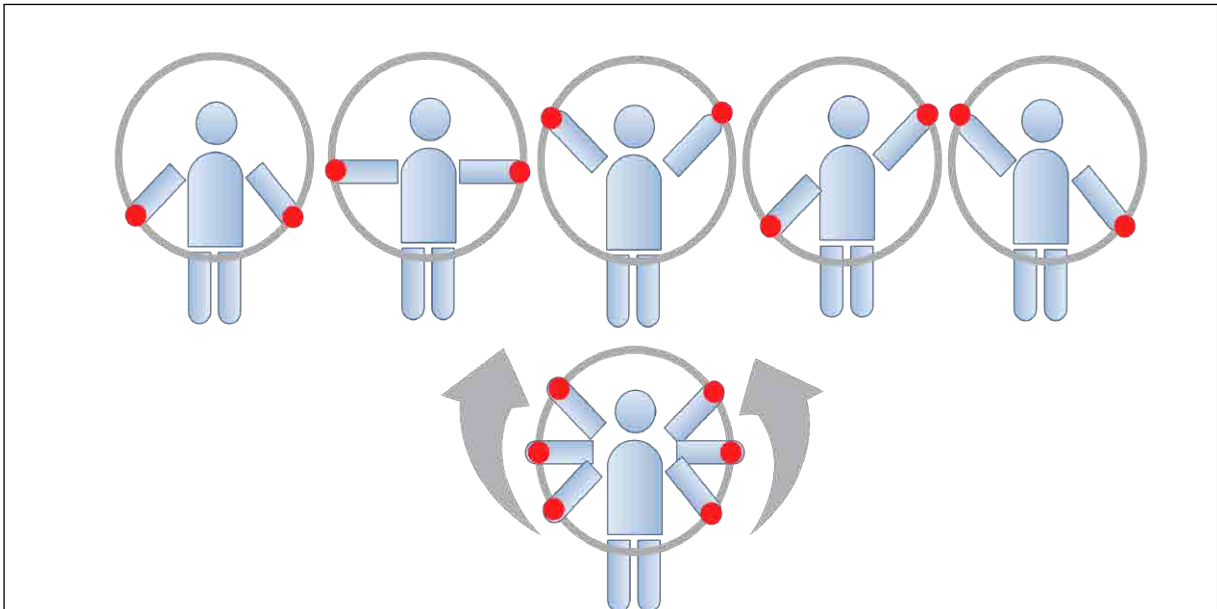


Figura 3. Movimientos para realizar algunos ejercicios de coordinación.

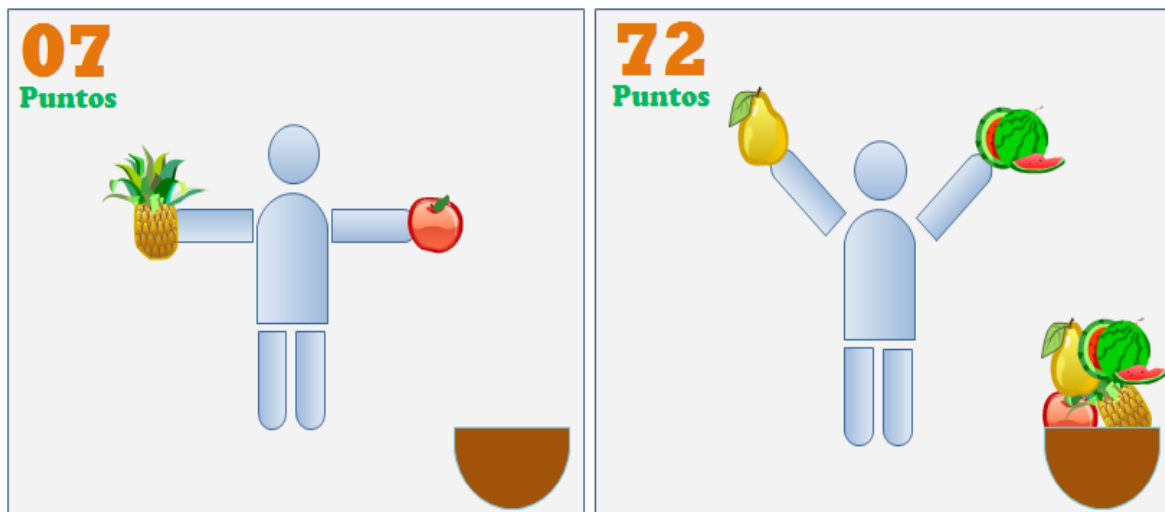


Figura 4. Diseño de la dinámica de la aplicación de software.

Dinámica de la aplicación

En la escena aparecerá el avatar del personaje y una serie de frutas, el usuario tendrá que ordenarlas (por pares) cada vez que aparezcan, si lo hace correctamente se sumará cierto puntaje. La rutina

de ejercicios terminará cuando ya no haya frutas que ordenar. Para comenzar con la aplicación, el usuario deberá seleccionar la opción "jugar" levantando la mano izquierda como se observa en la Figura 5 y posteriormente estará listo para realizar las diferentes actividades que el sistema le indique (Figura 6).



Figura 5. El usuario ha seleccionado la opción jugar y solo espera que la aplicación termine de cargar.



Figura 6. El usuario se encuentra listo para iniciar el juego.

Ejercicios para la rehabilitación motriz

En este apartado se muestran cada uno de los ejercicios de coordinación que podrá realizar el usuario y que se evaluarán como trabajo a futuro.

Hasta ahora se ha implementado solamente la interfaz de la aplicación y parte de la funcionalidad del juego en 3D; como trabajo a futuro se pretende agregar el método de validación de los ejercicios de movimientos del cuerpo humano con el respaldo de especialistas (Figuras 7 y 8).

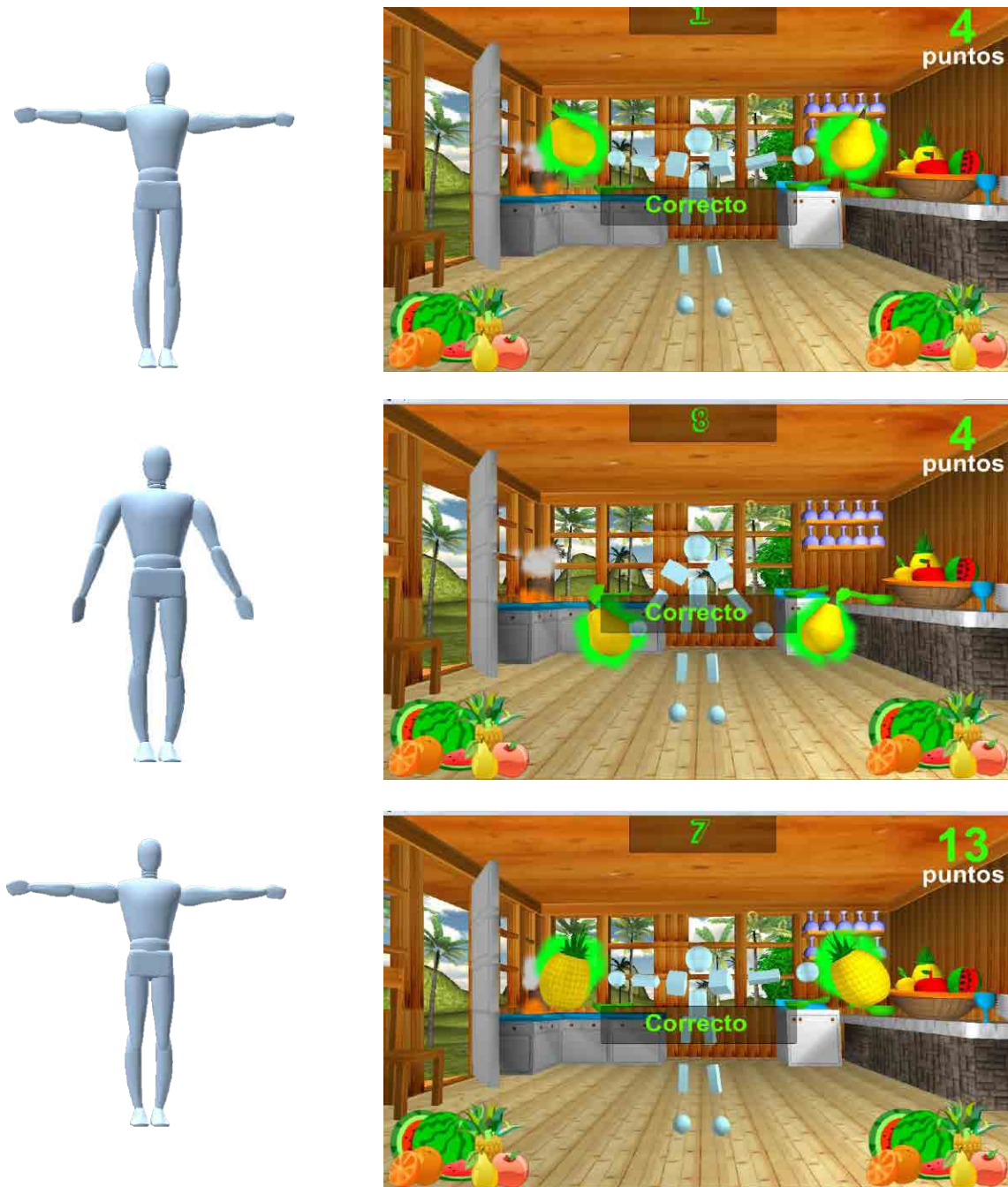


Figura 7. En la parte izquierda, el movimiento de brazos que se debe realizar. En la parte derecha, el movimiento realizado correctamente en las pruebas.



Figura 8. En la parte izquierda, el movimiento de brazos que se debe realizar. En la parte derecha, el movimiento realizado por el usuario, en donde se presentan dos casos en que la actividad no es correcta.

Pruebas y resultados

En las pruebas se utilizó una computadora, el sensor Kinect® y tres usuarios, se revisó que los movimientos de los usuarios fueran representados por el avatar y que éste último interactuara con los elementos de la escena 3D para cumplir con el propósito del software (Figura 9).

Los usuarios recomendaron que se proporcione una breve demostración de los tipos de ejercicios antes de que inicie el sistema y, de esta forma, dar

un panorama general de la dinámica del juego. Mencionaron que se sienten más entretenidos en el desarrollo de sus ejercicios físicos y que no se percataron de las veces que los llevaron a cabo ya que estaban concentrados en la actividad.

Con estas pruebas y la retroalimentación obtenida se continuará con el desarrollo de la funcionalidad del sistema y se agregarán los métodos que evaluarán los ejercicios realizados por los usuarios para proporcionarle a los especialistas información sobre la evolución de los pacientes.



Figura 9. Pruebas del seguimiento del cuerpo humano mediante el Kinect® y la Interfaz Natural de Usuario (NUI), sin utilizar dispositivo háptico.

Conclusiones

La rehabilitación virtual provee una alternativa a los pacientes y profesionistas del área de la salud para mejorar el proceso de rehabilitación motriz; algunos elementos que se utilizaron para interactuar con las aplicaciones basadas en realidad virtual fueron los dispositivos periféricos y hápticos (sensores, hardware especializado, joystick, guantes, entre otros). Estos últimos son en ocasiones costosos e incómodos para realizar ejercicios, por lo que es necesario implementar otra forma de interacción.

El sensor Kinect® es un dispositivo que permite el desarrollo de interfaces naturales, dada sus características y funciones, se puede utilizar para obtener información de los usuarios y con esto determinar las tareas que ellos van a realizar en las aplicaciones.

En este trabajo de investigación, se presentó una alternativa que coadyuvará en el proceso de rehabilitación motriz, proporcionando una herramienta que le brinde entretenimiento al usuario y que lo motive a realizar y continuar con sus tratamientos.

La retroalimentación obtenida por los usuarios en las pruebas realizadas, ayudará a mejorar la funcionalidad del sistema, además, también se implementarán los métodos que determinen si los ejercicios son realizados correctamente por los pacientes, de esta forma se proporcionará información a los profesionistas de la salud relacionada con la evolución de los pacientes.

Finalmente, cabe mencionar que este trabajo pertenece al proyecto de investigación "Sistema de rehabilitación motriz para pacientes con mal de Parkinson basado en realidad virtual", registrado en el Instituto de Farmacobiología de la Universidad de la Cañada.

Referencias

- [01] Cifuentes AG. *Guía de apoyo técnico-pedagógico, necesidades educativas especiales*. Santiago de Chile. 2007.
- [02] Sue AS, Gail FF, Diana G. *Virtual Reality Applications for Motor Rehabilitation After Stroke*. *Technology for Clinical Stroke Applications*. 2002; 8 (4).
- [03] Housman SJ, Le V, Rahman T, Robert J, Reinkensmeyer DJ. *Arm-training with T-WREX after chronic stroke: preliminary results of a randomized controlled trial*. . IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics. 2007.
- [04] Makssoud H, Richards CL, Comeau F. *Dynamic control of a moving platform using the CAREN system to optimize walking in virtual reality environment*. *Conf Proc IEEE Eng. Med. Biol. Soc*. 2009.
- [05] Sucar L, Enrique R, Leder LR, Hernández J, Sánchez I. *Gesture Therapy: A Vision-Based System for Upper Extremity Stroke Rehabilitation*. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Annual International Conference of the IEEE*. 2010.
- [06] Anderson F, Annett M, Bischof W. *Lean on Wii: physical rehabilitation with virtual reality Wii peripherals*. 2010.
- [07] Gómez GA, Lloréns R, Alcañiz M, Colomer C. *Effectiveness of a Wii balance boardbased system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injur*. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2011.
- [08] VirtualRehab. [en línea] 2013. Disponible en: <http://www.virtualrehab.info/>.
- [09] BioTrack. [en línea] 2014. Disponible en: <http://www.biotraksuite.com/>.
- [10] Indra. *Indra ofrece servicios en "la nube" para la rehabilitación motriz de los miembros superiores del cuerpo humano*. [en línea] 2013. Disponible en: <http://www.indracompany.com/noticia/indra-ofrece-servicios-en-la-nube-para-la-rehabilitacion-motriz-de-los-miembros-superiores-d>.
- [11] Martínez SN. *Desarrollo y Validación de un Sistema de Rehabilitación Virtual de Bajo Coste Aplicable a la Recuperación de Múltiples Déficits Motores*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. 2013.
- [12] Espinosa DJ, Buitrago AL. *Desarrollo de Recorridos Virtuales Interactivos para Proyectos de Vivienda de la Ciudad de Cali*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Occidente. 2014.
- [13] Viforcós EM. *Aplicación de las cámaras 3d al reconocimiento de actividades*. Proyecto de fin de grado. Madrid. 2012.

- [14] Garrido D. Aplicaciones de Kinect para Neurohabilitación. Tesis de Ingeniería Técnica de Telecomunicación, especialidad en Telemática. Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya. 2012.
- [15] Cruz LR, Fabela HF, Morales OA. Plataforma Interactiva de Kinect Aplicada al Tratamiento de Niños Autistas. Tesis de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica. Instituto Politécnico Nacional-IPN, México D.F. 2013.
- [16] Peralta BS. Interfaz de lenguaje natural usando Kinect. Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación. Centro de Investigación de Estudios Avanzados-Cinvestav. México D.F. 2012.
- [17] LaBelle K. Evaluation of Kinect Joint Tracking for Clinical and in-home stroke rehabilitation tools. Thesis of Undergraduate Program in Computer Science. Notre Dame, Indiana. 2011.
- [18] Chang CY, Lange B, Zhang M, Koenig S, Requejo P, Somboon N, Sawchuk AA, Rizzo AA. Towards Pervasive Physical Rehabilitation Using Microsoft Kinect. University of Southern California. 2012.
- [19] Shotton J, Fitzgibbon A, Cook M, Sharp T, Finocchio M, Moore R, Kipman A, Blake A. Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. Microsoft Research. Estados Unidos. 2011.
- [20] Fitzgibbon A, Shotton J, Cook M, Sharp T, Finocchio M, Moore R, Kipman A, Blake A. Microsoft Research Cambridge y Xbox Incubation. Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images: Supplementary Material. Microsoft Research. Estados Unidos. 2011.
- [21] Mathe L, Samban D, Gómez G. Estudio del funcionamiento del sensor Kinect y aplicaciones para bioingeniería. Proyecto final de carrera de Ingeniería en Computación. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Veracruz. 2012.
- [22] Macdonald C, Dapena J. Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Med Sci Sports Exerc.* 1991. 23 (12): 1382-91.

Recibido: 02 de septiembre de 2014

Corregido: 20 de septiembre de 2014

Aceptado: 1 de octubre de 2014

Conflicto de interés: No existe conflicto de interés