

Modelo articulado de esqueleto humano para el seguimiento y análisis de movimiento como soporte a procesos de rehabilitación motora

Autor:

Germán David Sosa Ramírez

Director:

Hugo Franco Triana. PhD

1. Modalidad

Este proyecto se enmarca como opción de grado de la maestría en Modelado y Simulación de las Universidades Central y Jorge Tadeo Lozano en la modalidad de investigación.

2. Introducción

En las últimas décadas se ha observado que las enfermedades que involucran algún tipo de discapacidad física tienen un alto nivel de prevalencia alrededor del mundo. Específicamente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) encontró que más de mil millones de habitantes (aproximadamente el 15% de la población mundial) presentan algún tipo de discapacidad física[1], donde alrededor de 110-190 millones de personas observan un grado significativo de pérdida de funcionalidad motora debido a estas enfermedades. En Colombia la prevalencia de habitantes con algún tipo de discapacidad es del 6,3% [2] de los cuales aproximadamente el 60% presenta desórdenes motrices producto de la discapacidad, siendo las enfermedades asociadas más comunes: Parkinson, esclerosis, enfermedades cerebro vasculares, trastornos neurológicos, epilepsia, traumatismos, entre otros [3].

Debido a su notoria prevalencia, las enfermedades asociadas a una discapacidad física representan un impacto social importante y de interés terapéutico dado que la forma más común y efectiva para mejorar la calidad de vida del paciente es mediante un proceso de rehabilitación neuro-motor e intervención terapéutica. Dependiendo de la enfermedad, los procesos de rehabilitación pueden tardar desde semanas hasta un periodo de vida completo y a su vez los resultados pueden derivar en una completa rehabilitación, o al menos en una atenuación del proceso degenerativo a largo plazo. Tales hechos implican, que a medida que avanza la enfermedad, el paciente puede desarrollar limitaciones en sus acciones cotidianas como caminar o alimentarse, y respalda el hecho de que el progreso de los síntomas así como el bienestar del paciente se ven afectados directamente por la regularidad de las intervenciones terapéuticas.

Por otro lado, cabe resaltar que los médicos y terapeutas responsables de la rehabilitación de pacientes a través de sesiones de terapia, manifiestan que el impacto positivo de estas sesiones depende de que tan dirigidos sean los ejercicios en función de las partes del cuerpo afectadas (articulaciones) y en qué grado de desarrollo se encuentra la enfermedad. Por tanto, un correcto monitoreo y seguimiento de la evolución del grado de esclerosis múltiple para las diferentes articulaciones afectadas representa una ayuda valiosa para la formulación de una sesión de ejercicios dirigida a contrarrestar en la mayor medida posible los efectos a largo plazo de enfermedades con discapacidad física.

En la actualidad, el monitoreo y seguimiento de la progresión de un paciente con discapacidad física normalmente se realiza a través de la observación directa por parte del especialista durante la realización de una serie de ejercicios que componen un test de valoración, como por ejemplo el Test de Berg[4] para equilibrio estático/dinámico o el sit-to-stand[5] test para evaluar la fuerza muscular en miembros inferiores. Sin embargo, la evaluación de este tipo de pruebas y la carencia de información cuantitativa añade una notoria subjetividad en el diagnóstico, lo que puede causar que ligeros cambios en la evolución del paciente no sean percibidos hasta que estos se manifiesten de forma considerable en su desempeño motor. Si bien hay herramientas que pueden proporcionar datos cuantitativos, como la goniometría[6] por ejemplo, estas no se usan con frecuencia debido a que se consideran tediosas y en algunos casos no proporciona información relevante debido a la configuración

necesaria de posición y movimiento por parte del paciente que en tales ocasiones no evidencia de forma natural los síntomas de la enfermedad.

Por tanto, aprovechando el auge de herramientas computacionales y de realidad virtual como soporte para rehabilitación, este proyecto propone la generación de un modelo computacional de esqueleto humano que mediante la adquisición de vídeo a través un dispositivo de bajo costo, como lo es el Kinect, realice el seguimiento de las principales articulaciones corporales y extienda esta información para el cálculo de otras variables de interés como ángulos y rangos de movimiento (ROM). Si bien ya existen aplicaciones de seguimiento de articulaciones usadas en rehabilitación, tales como *Virtual Rehab* y *NeuroVR*[7]¹, este modelo busca proporcionar datos de movimiento que correspondan a la fisiología articular del cuerpo humano lo que no ofrecen actualmente modelos de esqueleto construidos con base a prototipos comerciales como el Microsoft Kinect SDK [8].

Gracias al apoyo de la Universidad Central y el acceso a su laboratorio de marcha que cuenta con un sistema de seguimiento biomecánico (BTS), este trabajo plantea usar datos de movimiento obtenidos con BTS en conjunto con secuencias de imágenes (RGB y profundidad) registradas por Kinect para generar un modelo de esqueleto que cumpla con el objetivo de corresponder a la fisiología articular del cuerpo humano. Adicionalmente, para evaluar su potencial impacto en procesos de rehabilitación física con pacientes reales, la Universidad Central creó un convenio con la Fundación Colombiana para la Esclerosis Múltiple FUNDEM¹. La evaluación del impacto de la herramienta se llevara a cabo en términos de la aceptación por parte de los pacientes y la funcionalidad para medición de variables de interés determinada por el personal médico responsable de las terapias.

3. Pregunta de Investigación

¿Es posible implementar, mediante técnicas de visión por computador, un modelo articulado del esqueleto humano capaz de representar la fisiología del movimiento como soporte a la evaluación diagnóstica e intervención terapéutica en procesos de rehabilitación, usando herramientas de adquisición de bajo costo?

4. Estado del Arte

Aunque este proyecto se enmarca dentro del campo de ingeniería para modelado y simulación de sistemas naturales y el desarrollo de nuevas tecnologías; también involucra un importante componente médico y social en su aplicación, por tanto a continuación se presenta una versión sintetizada del estado-del-arte en relación a dos frentes principales: Kinect[®] como herramienta tecnológica para rehabilitación motora, y desarrollo de tecnologías y métodos computacionales para diferentes propósitos en visión por computador, con un énfasis especial en detección de esqueleto humano a partir de vídeo.

4.1. Uso de Kinect[®] como tecnología en rehabilitación

La adición de tecnologías de realidad virtual en programas de rehabilitación es una tendencia emergente en los últimos años[9] debido a que este tipo de herramientas ofrecen escenarios atractivos para la ejecución de ejercicios, integran la intención de cumplir un objetivo (el caso especial de los videojuegos) y presenta retroalimentación visual o *feedback* lo que facilita la reeducación neuro-motora y mejora la efectividad del proceso de rehabilitación[10].

Pese que hay diversas herramientas de realidad virtual que pueden ser integradas a procesos de rehabilitación, actualmente el sensor Kinect[®] ofrecido por Microsoft se ha convertido en un estándar ampliamente usado en este campo gracias a su bajo costo en comparación con otros dispositivos para análisis de movimiento y el no requerir el uso de marcadores o controles como los dispositivos de interacción de Nintendo Wii[®] y PlayStation[®]. Además, la presencia de drivers *free-source* en la web así como modelos de esqueleto para Kinect como Microsoft SDK [8] y OpenNI[11] facilitan el desarrollo de aplicaciones personalizadas que involucren reconocimiento de gestos corporales, interacción hombre máquina y análisis de movimiento.

En la actualidad se desarrollan herramientas para procesos de intervención terapéutica asistidos con Kinect[®] para una gran variedad de enfermedades que presentan discapacidad física. Por ejemplo, para tratamiento del síndrome de Parkinson se han encontrado estudios del impacto de sesiones de juego con videojuegos tradicionales de Kinect como Kinect Adventures[®] en términos de impacto, facilidad de ejecución y seguridad[12], así como diseño de juegos (*exergames*) orientados a mejorar el equilibrio postural dinámico [13]. Para el caso de esclerosis múltiple en España, también se ha evaluado el impacto de juegos comerciales como Kinect Sports[®] y Kinect Adventures[®] en sesiones de 20 minutos 4 veces a la semana para el mejoramiento del control postural con evidencia de resultados prometedores en el desempeño en la Escala de Berg[4] antes y después del tratamiento[14]. De forma similar se han encontrado casos de estudio para parálisis cerebral [15], rehabilitación cognitiva [16],

¹Fundación Colombiana para la Esclerosis Múltiple FUNDEM, Bogotá D.C. (Colombia) - <http://www.fundacionfundem.com>

leucodistrofia[17] e incluso para tratamiento en rehabilitación por trastornos o accidentes que comprometen la funcionalidad del aparato neuro-motor[18, 19] .

4.2. Métodos computacionales para seguimiento de objetos en vídeo

El seguimiento de objetos o formas en vídeo constituye uno de los campos mas populares de la visión por computador [20] con aplicaciones en monitoreo, vigilancia, animación, análisis de movimiento y desarrollo de interfaces hombre-máquina (HCI).

Dependiendo de si se desea seguir la posición de regiones o puntos de interés se puede encontrar variedad de algoritmos adecuados para cada propósito. Por ejemplo, para seguimiento de regiones, un algoritmo popular debido a su buen desempeño y fácil implementación es la supresión de fondo o *background* por mezcla de gaussianas (MOG)[21]. Este método crea un modelo de gaussianas del fondo y a partir de él, destaca objetos que no estaban presentes en la escena inicialmente, sin embargo artefactos como cambios de luz, objetos que se confundan con el fondo o a movimientos bruscos de la cámara pueden introducir ruido y afectar la detección. En contraste, otros métodos no dependientes del fondo o la diferencia *frame-to-frame* como aquellos basados en histograma de objetos y desplazamiento de media [22] han sido propuestos.

Para seguimiento de puntos de interés, uno de los métodos mas ampliamente usados es el de flujo óptico[23], el cual aprovecha información *a priori* de la posición de un punto en *frames* anteriores para crear un vector director de velocidad que predice con alta confiabilidad la posición del punto en un *frame* posterior, esta operación se realiza y el vector director se ajusta en cada *frame* para crear un flujo de movimiento del punto en cuestión. Diversos algoritmos se han derivado del flujo óptico y de forma similar se encuentran variedad de implementaciones para seguimiento de objetos deformables [24], seguimiento en tiempo real[20] o seguimiento de múltiples objetos [25].

Actualmente, un algoritmo que ha destacado en procesos de seguimiento de posiciones en procesos de modelado y simulación donde se conoce la naturaleza dinámica de un objeto son los filtros de Kalman[26]. Los filtros de Kalman aprovechan el conocimiento *a priori* del comportamiento dinámico de un objeto sujetos a perturbaciones que tienen una distribución de probabilidad normal (ruido blanco) y permite estimar con alta precisión, mediante métodos de montecarlo, la posición de un punto de interés en instantes de tiempo siguientes al observado. Los filtros de Kalman han tenido resultados notables en análisis de movimiento humano[27], modelado de partículas, seguimiento de vehículos, etc.

4.3. Detección y seguimiento de esqueleto usando Kinect[®]

Dentro de las posibles aplicaciones mediante técnicas de visión por computador, la detección del esqueleto humano es un campo atractivo y recurrente ya que una correcta detección de las partes del cuerpo puede derivar en aplicaciones para animación, operación remota, HCI y análisis de movimiento en terapia física.

Para Kinect[®], la generación de modelos de esqueleto es un campo académico y de desarrollo activo en la actualidad debido a su amplio uso en diferentes aplicaciones. Particularmente destacan el esqueleto de OpenNITE[11] de PrimeSense, y el de Kinect SDK[8] provisto por Microsoft. Ambos modelos de esqueleto fueron contruidos sobre una amplia base de datos formada por imágenes de un extenso número de personas en diferentes posiciones donde un clasificador *Random Forest* identifica los principales regiones corporales; luego, un algoritmo basado en desplazamiento de media [22] encuentra los centroides de cada región que corresponden a las articulaciones particulares de cada esqueleto. La diferencia entre ambos modelos de esqueleto básicamente radica en el número y tipo de articulaciones detectadas; Por un lado OpenNI ofrece 15 articulaciones que pueden ser observadas en la Figura 1 (izquierda), mientras que Kinect SDK incluye 20 articulaciones que se muestran en la figura 1 (derecha).

Aún cuando estos esqueletos se han convertido en el estándar actual para detección y análisis de movimiento, es importante tener en cuenta que estos modelos están orientas a reconocimiento de gestos corporales, particularmente para videjuegos. Es por eso que dentro de la comunidad académica también hay desarrollos para modelos de esqueleto ajustados para propósitos específicos; entre algunos ejemplos se menciona una aplicación con filtro de Kalman para el suavizados de trayectorias corporales usando Kinect[®][28], el uso conjunto de Kinect[®] y sensores de inercia para seguimiento de esqueleto[29], extracción de siluetas mediante *graph-cuts* [30, 31].

5. Justificación

Debido a la notable prevalencia de discapacidad física en Colombia y el impacto que tienen estas en la calidad de vida de la personas que la presentan, este proyecto plantea convertirse en una herramienta de apoyo tanto para la población afectada (pacientes) como para el personal médico responsable del seguimiento de la enfermedad (fisioterapeutas, fisiatras, enfermeras, etc). Para los médicos, el poder obtener información objetiva

KINECT Skeletons Joints

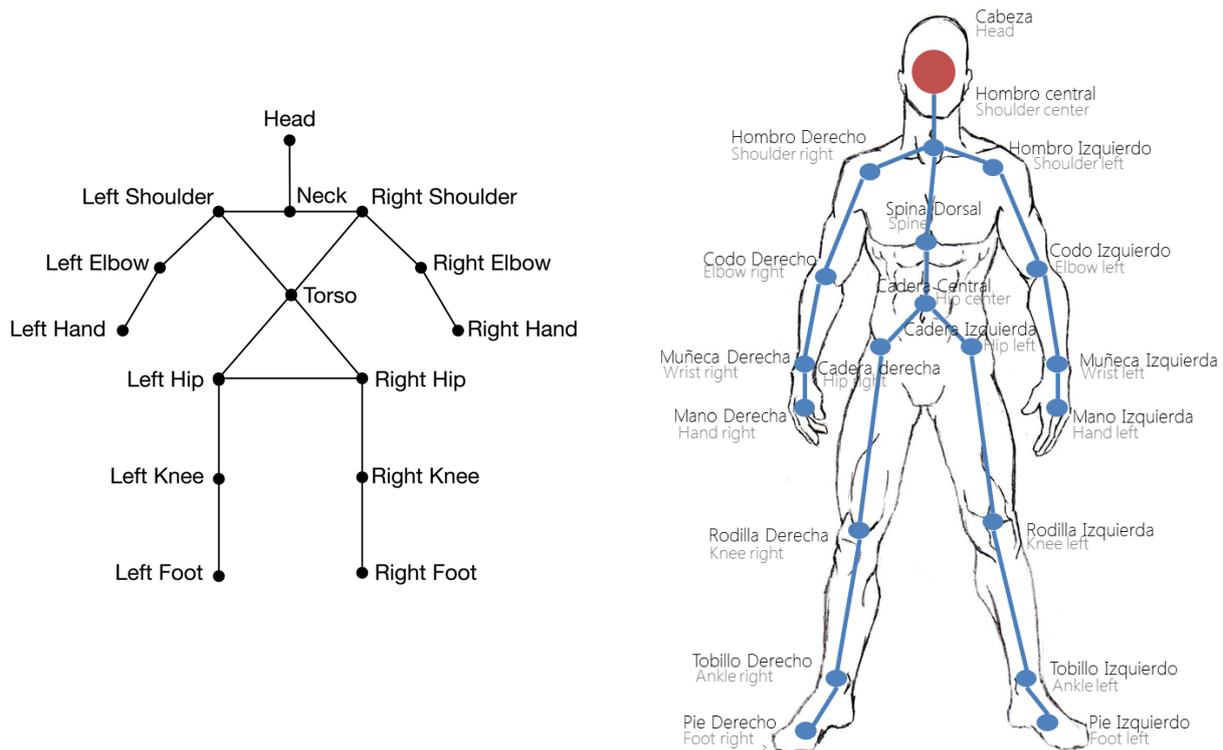


Figura 1: Articulaciones para los diferentes modelos de esqueleto ofrecidos por OpenNI de PrimeSense y Kinect SDK de Microsoft

y medible relacionada con el movimiento y/o posición del paciente representa un apoyo para la valoración de la enfermedad y su seguimiento. Así mismo, un mayor grado de conocimiento del estado de la enfermedad y de las zonas afectadas permite al especialista generar un esquema de ejercicios adecuado y personalizado para cada caso lo que se traduce en bienestar y calidad de vida del paciente.

Respecto al objetivo central del proyecto, la herramienta de análisis de movimiento propuesta pretende ofrecer mayor precisión, en las medidas asociadas a posición y movimiento del cuerpo humano durante la realización de sesiones de rehabilitación o test de valoración, respecto a lo que pueden ofrecer prototipos comerciales como Kinect SDK[8]. Tal precisión se entiende como el hecho de que los datos de movimiento y/o posición proporcionados por la herramienta tengan una estrecha relación con la fisiología articular del cuerpo humano. Aunque es posible imaginar que tal objetivo constituye un desafío (considerando el tiempo de ejecución y el hecho de que Kinect SDK tiene el respaldo de un equipo como lo es Microsoft), se hace factible si se tiene en cuenta que el proyecto está enmarcado para funcionar con una lista seleccionada de ejercicios de rehabilitación y valoración diagnóstica en ambientes controlados y con un solo paciente a la vez; mientras que Kinect SDK está diseñado para ser robusto en diferentes escenarios, registrando hasta 4 personas a la vez en tiempo real (La configuración ideal para videojuegos interactivos).

Finalmente, este proyecto busca poder ser reproducible y de fácil implementación en cualquier espacio de rehabilitación, por tanto la fase final de desarrollo involucra el desarrollo de una interfaz de usuario fácil de usar por personal médico y que proporciona toda información relevante respecto a posición y movimiento del paciente. A su vez, aprovechando el uso de tecnología, también se considera la implementación de una pantalla de visualización para el paciente que cree una interacción de ambiente de realidad virtual que incorpora el factor de retroalimentación visual o *feedback* considerado un elemento importante que mejora la efectividad de las sesiones de rehabilitación [6].

De comprobar el buen desempeño de la herramienta para seguimiento de datos de movimiento y/o posición en comparación con modelos de esqueleto actuales en un laboratorio de marcha, así como la fácil implementación y uso en un escenario médico real (como la clínica FUNDEM) y la aceptación por parte de los pacientes, este proyecto podría constituir un valioso aporte tanto para especialistas y pacientes al proveer información útil al médico para formular una terapia personalizada que contribuya a un mayor bienestar del paciente a largo plazo

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Diseñar, implementar y validar una herramienta computacional para un modelo articulado del esqueleto humano, que mediante técnicas de visión por computador y datos generados en un laboratorio de marcha, proporcione datos de seguimiento y análisis de movimiento precisos como soporte a procesos de rehabilitación motora por medio de la adquisición de imágenes usando Microsoft Kinect[®].

6.2. Objetivo Específicos

- Determinar articulaciones corporales y variables de movimiento de interés para el desarrollo de la herramienta
- Seleccionar modelos articulados de esqueleto estándar (comerciales y libres) como línea base para medición de variables de interés
- Generar datos de movimiento en el laboratorio de marcha de la Universidad Central que puedan ser registrados con Kinect[®]
- Implementar un modelo articulado de esqueleto humano con base en datos generados en el laboratorio de marcha y aplicación de diferentes técnicas de visión por computador
- Evaluar y validar el desempeño del modelo de esqueleto para medición de variables de interés en contraste con los modelos de esqueleto de la línea base.
- Desarrollar una interfaz de usuario que facilite el uso de la herramienta por personal médico y estimule la realización de terapias de rehabilitación en los pacientes por medio de retroalimentación visual.
- Evaluar la aceptación y funcionalidad de la herramienta en un contexto clínico. Particularmente los pacientes con esclerosis múltiple de la clínica FUNDEM

7. Metodología

7.1. Tipo de investigación

Según la naturaleza de los objetivos a alcanzar, este proyecto se considera como investigación exploratoria de tipo aplicado, cuantitativo, con un componente central de modelado matemático (aplicado a la Biomecánica), y recolección y validación de nueva información a través de diseño experimental propuesto.

En este proyecto se propone extender las aproximaciones actuales a la evaluación diagnóstica en pacientes con deterioro motor debido a patologías del sistema neuro-motor mediante de un sistema de Visión por Computador y Realidad Virtual desarrollado con base en sensor Kinect[®], para evaluar de manera objetiva el progreso de la enfermedad en pacientes. La evaluación de resultados se llevará a cabo mediante la medida de variables de interés de movimiento y/o posición usando la herramienta propuesta y otros modelos de esqueleto estándar como Kinect SDK [8] y OpenNI[11] en comparación con los datos suministrados por el sistema de seguimiento biomecánico (BTS) del laboratorio de marcha de la Universidad Central considerados como *ground-truth*.

7.2. Descripción de la población de estudio

El proyecto también plantea convertirse en una herramienta de apoyo a rehabilitación para pacientes y personal médico, sin embargo la labor de estos últimos es asistir el bienestar del paciente y contribuir a una mejor calidad de vida. Por tanto se consideraría que la población de estudio para la determinación de variables de interés de movimiento y/o posición son todo aquellas personas que sufren algún tipo de discapacidad física producto de una enfermedad o trastorno neuro-motor. No obstante, debido a que la naturaleza de los ejercicios que se pueden realizar frente a Kinect[®] son de naturaleza autónoma sin asistencia de terceros, no se incluiría a pacientes con un grado de discapacidad severo que requieran asistencia de terceros, prótesis u otros aparatos ortopédicos.

7.2.1. Muestra

Para determinar el desempeño de la herramienta en un contexto clínico real, la Fundación para la Esclerosis Múltiple (FUNDEM) en cabeza de su director, el fisioterapeuta Herney Cuartas, ha provisto de un conjunto inicial de 10 pacientes con consentimiento informado diagnosticados con esclerosis múltiple de diversos tipos y

grados de evolución. Dichos pacientes conforman el grupo experimental (GE) y cumplen los siguientes criterios de inclusión

Criterios de inclusión: Pacientes con diagnóstico de esclerosis múltiple validado por el personal clínico de la Fundación FUNDEM, mayores de edad, con capacidad de mantenerse bipedestación, sin deterioro cognitivo severo ni alteraciones sensoriales (visión, audición) producto de su condición.

Criterios de exclusión: Menores de edad; pacientes con alteraciones serias del control postural que les impidan sostener la bipedestación en periodos de tiempo cortos; pacientes con deterioro cognitivo observable que dificulte la comprensión de los protocolos de las actividades; pacientes con alteraciones sensoriales que impidan su interacción con el sistema de soporte a la evaluación diagnóstica.

7.3. Diseño metodológico

7.3.1. Elaboración del estado del arte

Se desarrollará una amplia revisión bibliográfica de artículos y tesis relacionadas con el objetivo del proyecto de investigación. Debido a que el proyecto tiene dos componentes disciplinares importantes (biomédica e ingenieril) se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- Trabajos sobre impacto y relevancia de enfermedades neuro-motoras que involucren discapacidad física.
- Uso de Kinect[®] como tecnología de rehabilitación y soporte terapéutico.
- Diseño de modelos computacionales de seguimiento de esqueleto.
- Algoritmos para seguimiento de objetos en vídeo. Especialmente segmentos corporales.

7.3.2. Caracterización de enfermedades neuro-motoras y determinación de variables de interés

Dada la variedad de síntomas de discapacidad física asociados a diferentes enfermedades neuro-motoras, se seleccionará un conjunto de patologías donde los esquemas de intervención terapéuticas que pueden ofrecerse con Kinect[®] representen un impacto positivo en la rehabilitación y calidad de vida del paciente..

Determinado tal conjunto de enfermedades, se determinará con un grupo de especialistas cuales son las variables de interés movimiento y/o posición que facilitarían el proceso de valoración y seguimiento de evolución de la enfermedad para el diseño de sesiones de terapia personalizadas a cada caso.

7.3.3. Diseño de herramienta de adquisición usando sensor Kinect[®]

El diseño de una herramienta de adquisición busca explotar de manera eficiente los datos que puede suministrar el hardware de Kinect[®], que puedan ser aprovechados para el seguimiento y análisis de movimiento y/o posición de un paciente. Específicamente, Kinect[®] ofrece dos tipos de visualización (Cámara de color RGB y sensor de profundidad) los cuales proporcionan información relevante de la posición en tres dimensiones de los objetos incluidos en la escena.

Usando estos tipos de visualización, se desarrollará una herramienta de anotación de segmentos corporales, donde tal anotación será facilitada por los datos de posición suministrados por el sistema BTS del laboratorio de marcha de la Universidad Central.

7.3.4. Generación de datos de movimiento y/o posición en laboratorio de marcha

Durante esta fase se desarrollarán esquemas de ejercicios en el laboratorio de marcha que puedan ser registrados de manera simultánea por el sistema BTS y Usando la herramienta de adquisición con Kinect[®]. El objetivo es generar secuencias de imágenes (en RGB y profundidad) de diferentes posturas del cuerpo humano donde se marca la posición de los principales segmentos corporales gracias a la detección suministrada por BTS.

7.3.5. Diseño de algoritmo de seguimiento de segmentos corporales

Con el conjunto de datos anotados obtenidos en la fase anterior, se plantea generar un modelo generalizado de seguimiento de articulaciones que sin el apoyo del sistema BTS permita estimar la posición de los principales segmentos corporales para nuevas realizaciones de ejercicios fuera del laboratorio de marcha.

7.3.6. Implementación de modelo de esqueleto humanos para medida de variables de interés

Una vez comprobado el correcto desempeño de la herramienta para seguimiento de segmentos corporales, se añadirán módulos computacionales que permitan el cálculo de las variables de interés terapéutico definidas en la fase inicial del proyecto.

7.3.7. Evaluación del desempeño del modelo en laboratorio de marcha

La evaluación de desempeño de la herramienta se realizará mediante la comparación de medidas de diferentes variables usando la herramienta propuesta, y otros modelos de esqueleto estándar como Kinect SDK y OpenNI. Todas las medidas se contrastarán contra las reportadas por BTS para el mismo esquema de ejercicios en términos de precisión y error absoluto, donde los datos de BTS son considerados como *ground-truth*.

7.3.8. Diseño de interfaz de usuario para pacientes y personal médico

Para cumplir con el objetivo de la herramienta de poder ser utilizada en contextos clínicos reales, se desarrollará una interfaz gráfica en C++ para funcionar inicialmente en sistemas operativos LINUX donde los requisitos funcionales de la interfaz son:

- Fácil uso e instalación por parte de personal médico.
- Presentación de resultados en forma gráfica y de reporte para personal médico.
- Visualización interactiva para pacientes a modo de ambiente realidad virtual.
- Retroalimentación visual para pacientes que estimule la adherencia a las sesiones de rehabilitación.

Aunque se sabe que un sistema operativo LINUX no es la elección mas popular entre la comunidad promedio que usa un computador, esta plataforma facilita el desarrollo de herramientas de Software gracias a su estabilidad, su carácter de software libre y fácil integración de diferentes lenguajes de programación. Como trabajo futuro, se puede plantear una migración del modelo de seguimiento de segmentos corporales a sistemas Windows, una vez comprobado el buen desempeño de la herramienta en el contexto definido dentro de esta metodología.

7.3.9. Evaluación de funcionalidad de la herramienta en escenario clínico real (FUNDEM)

La fase final del proyecto propone usar la herramienta de seguimiento y análisis de datos de movimiento y/o posición en un escenario clínico como la clínica FUNDEM. La evaluación de la funcionalidad de la herramienta se hará de forma subjetiva a través de testimonios y encuestas en torno a las siguientes cuestiones centrales:

- Facilidad de instalación de la herramienta (personal médico)
- Facilidad de uso de la herramienta (personal médico)
- Utilidad y relevancia de los resultados presentados por la herramienta (personal médico)
- Comodidad e interés en el uso de la herramienta durante ejercicios (pacientes)
- Voluntad de seguir con el programa de rehabilitación usando la herramienta con Kinect usando la herramienta (pacientes).

8. Actividades - Cronograma

9. Resultados y Productos Esperados

- Una (1) patente de modelo de utilidad del sistema prototipo para la evaluación diagnóstica y seguimiento del desempeño en equilibrio dinámico.
- Una (1) ponencia en conferencia reconocida en el área con los avances preliminares del proyecto alrededor de la extensión, mediante medidas objetivas de tests diagnósticos en enfermedades asociadas a discapacidad física.
- Un (1) artículo en revista indexada A1 o A2 con los resultados finales del proyecto y la evaluación del prototipo.
- Una (1) Tesis de Maestría en Modelado y Simulación.

Etapa	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Elaboración del estado del arte	■	■										
Caracterización de enfermedades neuro-motoras y determinación de variables de interés		■										
Diseño de herramienta de adquisición usando sensor Kinect			■									
Generación de datos de movimiento y/o posición en laboratorio de marcha				■	■							
Diseño de algoritmo de seguimiento de segmentos corporales						■	■	■				
Implementación de modelo de esqueleto humanos para medida de variables de interés								■	■			
Evaluación del desempeño del modelo en laboratorio de marcha										■		
Diseño de interfaz de usuario para pacientes y personal médico											■	
Evaluación de funcionalidad de la herramienta en escenario clínico real (FUNDEM)												■

Figura 2: Cronograma de actividades

Bibliografía

- [1] World Health Organization et al. World report on disability 2011. 2011.
- [2] Luz Helena Lugo Agudelo and Vanessa Seijas. La discapacidad en Colombia: una mirada global. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 22(2):164–179, 2012.
- [3] Gustavo Pradilla, Boris E Vesga, Fidias E León-Sarmiento, and G Geneco. Estudio neuroepidemiológico nacional (epineuro) colombiano. *Rev. Panamericana de la Salud*, 14(2):104–111, 2003.
- [4] Karen W Hayes and Marjorie E Johnson. Measures of adult general performance tests: The Berg Balance Scale, Dynamic Gait Index (DGI), Gait Velocity, Physical Performance Test (PPT), Timed Chair Stand Test, Timed Up and Go, and Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment (POMA). *Arthritis Care & Research*, 49(S5):S28–S42, 2003.
- [5] Richard W Bohannon. Sit-to-stand test for measuring performance of lower extremity muscles. *Perceptual and motor skills*, 80(1):163–166, 1995.
- [6] Cynthia C Norkin and D Joyce White. *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*. FA Davis, 2009.
- [7] RIVA Giuseppe. A virtual reality platform for assessment and rehabilitation of neglect using a Kinect. *Medicine Meets Virtual Reality 21: NextMed/MMVR21*, 196:66, 2014.
- [8] Abhijit Jana. *Kinect for Windows SDK Programming Guide*. Packt Publishing Ltd, 2012.
- [9] Vilayanur S Ramachandran and Eric L Altschuler. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(7):1693–1710, 2009.
- [10] Christian Schönauer, Thomas Pintaric, and Hannes Kaufmann. Full body interaction for serious games in motor rehabilitation. In *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference*, page 4. ACM, 2011.
- [11] OpenNI organization. *OpenNI User Guide*, November 2010. Last viewed 19-01-2011 11:32.

- [12] J E Pompeu, L A Arduini, A R Botelho, M B F Fonseca, SMAA Pompeu, C Torriani-Pasin, and J E Deutsch. Feasibility, safety and outcomes of playing Kinect Adventures!TM for people with Parkinson's disease: a pilot study. *Physiotherapy*, 100(2):162–168, 2014.
- [13] Brook Galna, Dan Jackson, Guy Schofield, Roisin McNaney, Mary Webster, Gillian Barry, Dadirayi Mhiripiri, Madeline Balaam, Patrick Olivier, and Lynn Rochester. Retraining function in people with Parkinson's disease using the Microsoft kinect: game design and pilot testing. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(1):60, 2014.
- [14] Rosa Ortiz-Gutiérrez, Roberto Cano-de-la Cuerda, Fernando Galán-del Río, Isabel María Alguacil-Diego, Domingo Palacios-Ceña, and Juan Carlos Miangolarra-Page. A telerehabilitation program improves postural control in multiple sclerosis patients: a Spanish preliminary study. *International journal of environmental research and public health*, 10(11):5697–5710, 2013.
- [15] Yao-Jen Chang, Wen-Ying Han, and Yu-Chi Tsai. A Kinect-based upper limb rehabilitation system to assist people with cerebral palsy. *Research in developmental disabilities*, 34(11):3654–3659, 2013.
- [16] D González-Ortega, F J Díaz-Pernas, Mario Martínez-Zarzuela, and Miriam Antón-Rodríguez. A Kinect-based system for cognitive rehabilitation exercises monitoring. *Computer methods and programs in biomedicine*, 113(2):620–631, 2014.
- [17] Alper Murat Ula, Utku Türkmen, Hasan Tokta, and Özlem Solak. The complementary role of the Kinect virtual reality game training in a patient with metachromatic leukodystrophy. *PM&R*, 6(6):564–567, 2014.
- [18] Jessica Cheung, Melissa Maron, Sandy Tatla, and Tal Jarus. Virtual reality as balance rehabilitation for children with brain injury: A case study. *Technology and Disability*, 25(3):207–219, 2013.
- [19] Jessica M Paavola, Kory E Oliver, and Ksenia I Ustinova. Use of X-box Kinect gaming console for rehabilitation of an individual with traumatic brain injury: A case report. *Journal of Novel Physiotherapies*, 3:129, 2013.
- [20] Jeongho Shin, Sangjin Kim, Sangkyu Kang, Seong-Won Lee, Joonki Paik, Bisma Abidi, and Mongi Abidi. Optical flow-based real-time object tracking using non-prior training active feature model. *Real-Time Imaging*, 11(3):204–218, 2005.
- [21] Chris Stauffer and W Eric L Grimson. Adaptive background mixture models for real-time tracking. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1999. IEEE Computer Society Conference on.*, volume 2. IEEE, 1999.
- [22] Dorin Comaniciu, Visvanathan Ramesh, and Peter Meer. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on*, volume 2, pages 142–149. IEEE, 2000.
- [23] Berthold K Horn and Brian G Schunck. Determining optical flow. In *1981 Technical symposium east*, pages 319–331. International Society for Optics and Photonics, 1981.
- [24] A Hilsmann and P Eisert. Deformable object tracking using optical flow constraints. In *Visual Media Production, 2007. IETCVMP. 4th European Conference on*, pages 1–8. IET, 2007.
- [25] Marek Schikora, Wolfgang Koch, and Daniel Cremers. Multi-object tracking via high accuracy optical flow and finite set statistics. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1409–1412. IEEE, 2011.
- [26] Nasser H Ali and Ghassan M Hassan. Kalman Filter Tracking. *International Journal of Computer Applications*, 89(9), 2014.
- [27] Lei Zhu and Kin-Hong Wong. Human tracking and counting using the KINECT range sensor based on Adaboost and Kalman filter. In *Advances in Visual Computing*, pages 582–591. Springer, 2013.
- [28] Jody Shu, Fumio Hamano, and John Angus. Application of extended Kalman filter for improving the accuracy and smoothness of Kinect skeleton-joint estimates. *Journal of Engineering Mathematics*, 88(1):161–175, 2014.
- [29] François Destelle, Amin Ahmadi, Noel E O'Connor, Kieran Moran, Anargyros Chatzitofis, Dimitrios Zarpalas, and Petros Daras. Low-cost accurate skeleton tracking based on fusion of kinect and wearable inertial sensors. In *Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2013 Proceedings of the 22nd European*, pages 371–375. IEEE, 2014.

- [30] Daniel Chen, Simon Denman, Clinton Fookes, and Sridha Sridharan. Accurate silhouettes for surveillance-improved motion segmentation using graph cuts. In *Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 2010 International Conference on*, pages 369–374. IEEE, 2010.
- [31] Kristian Haga Karstensen. Silhouette Extraction using Graphics Processing Units. 2012.