

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Informàtica

Títol: Desenvolupament d'un prototip basat en la Kinect per ajudar en la rehabilitació de pacients amb Esclerosi Múltiple

Document: Memòria Treball Final de Grau

Alumne: Aitor Palomares Lozano

Directors: Arnau Oliver i Malagelada | Xavier Lladó Bardera

Departament: Arquitectura i Tecnologia de Computadors

Àrea: Arquitectura i Tecnologia de Computadors

Convocatòria (mes/any): Setembre 2016

ÍNDEX

1. Introducció	4
1.1. Definició del Treball, Motivacions i Propòsits	4
1.2. Objectius	5
1.3. Planificació del Treball	5
1.4. Marc de Treball	7
1.5. Temps de dedicació	7
2. Programari i Maquinari utilitzat	8
2.1. Kinect v2.0	8
2.1.1. SDK Kinect per Windows	11
2.2. Microsoft Visual Studio	14
2.2.1. C#	14
2.2.2. XAML	15
2.3. Unity	16
2.3.1. Mecanim	16
2.4. Requisits del Sistema	17
3. Exercicis a realitzar	18
4. Estructura de l'aplicació i Interfície	22
4.1. Estructura de l'Aplicació	22
4.2. Interfície gràfica	24
4.2.1. Escollir Avatar	24
4.2.2. Escollir Exercici	25
4.2.3. Realitzar Exercici	26
4.3. Realització dels vídeos	27
5. Obtenció i tractament de les dades	31
5.1. Adquisició de moviments mitjançant la Kinect	31
5.2. Comparació de moviments	33
6. Resultats	35
7. Conclusions	43
7.1. Conclusions	43
7.2. Dificultats trobades	44
7.3. Treball futur	44
8. Bibliografia	45
9. Annexos	46
9.1. Manual d'usuari	46

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Sensor Kinect	4
Figura 2: Rang de profunditat del sensor	2
Figura 3: Articulations de l'esquelet detectades per la Kinect	10
Figura 4: Imatge 2D i imatge 3D obtingudes amb el Kinect Studio	11
Figura 5: Imatge que s'obté de l'API Color Basic	11
Figura 6: Esquelet que s'obté de l'API Body Basics	12
Figura 7: Detecció de la mà oberta i la mà tancada sobre l'esquelet	12
Figura 8: Imatges de Depth Basics, Fusion i Infrared	13
Figura 9: Imatge en temps real amb l'esquelet dibuixat a sobre	13
Figura 10: Visual Studio	14
Figura 11: Microsoft Visual C#	14
Figura 12: XAML	15
Figura 13: Unity	16
Figura 14: Exemple Mecanim	16
Figura 15: HP Spectre Pro	17
Figura 16: Exercici 1 i 2: Flexionar genoll	18
Figura 17: Exercici 3 i 4: Aixecar cama assegut	19
Figura 18: Exercici 5 i 6: Aixecar genoll	19
Figura 19: Moure part posterior	20
Figura 20: Exercici 8 i 9: Moure cama lateralment	20
Figura 21: Exercici 10 i 11: Aixecar genoll i aguantar 5 segons	21
Figura 22: Diagrama de Cas d'ús	22
Figura 23: Diagrama de Classes	23
Figura 24: Estructura Aplicació	23
Figura 25: Pantalla per escollir avatar	24
Figura 26: Pantalla per escollir l'exercici	25
Figura 27: Pantalla per realitzar l'exercici	26
Figura 28: Creació d'avatar amb el <i>Character Generator</i>	27
Figura 29: Avatars	27
Figura 30: Escenari al <i>Unity</i>	28
Figura 31: Component <i>Animation</i> de l'avatar	28
Figura 32: Gravació de la seqüència de moviments	29
Figura 33: Imatges capturades	30
Figura 34: Creació del vídeo a partir de les imatges	30
Figura 35: Cos humà amb les articulations detectades i l'esquelet dibuixat	31
Figura 36: Fitxers amb les dades recollides	32
Figura 37: Dynamic Time Warping (DTW)	33
Figura 38: Exemple DTW	33
Figura 39: Distància euclidiana	34
Figura 40: Exemple de com l'aplicació detecta el moviment	35
Figura 41: Gràfica amb el percentatge d'encert i d'error global de l'aplicació	40
Figura 42: Realització de l'exercici amb mala detecció de les articulations	41
Figura 43: Realització de l'exercici amb bona detecció de les articulations	41

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Sensors de la Kinect	8
Taula 2: Camp de visió de la Kinect	8
Taula 3: Flux de dades de la Kinect	9
Taula 4: Sistema de seguiment de la Kinect	9
Taula 5: Resultats Persona 1	36
Taula 6: Resultats Persona 2	37
Taula 7: Resultats Persona 3	38
Taula 8: Resultats per Persona	39
Taula 9: Resultats per exercici	39
Taula 10: Resultats globals	40

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Definició del Treball, Motivacions i Propòsits

L'Esclerosi Múltiple és una malaltia crònica del sistema nerviós central que està present en tot el món i és una de les més comuns entre la població de 20 a 30 anys. Provoca símptomes com fatiga, falta d'equilibri, dolor, alteracions visuals i cognitives, dificultats en la parla, tremolors, etc. [1]. Un dels símptomes de l'Esclerosi Múltiple és els problemes de motricitat que genera en els pacients. La rehabilitació és una eina fonamental per tal de combatre i prevenir aquests símptomes. No obstant això, l'Esclerosi Múltiple és una malaltia progressiva, fluctuant i imprevisible, que fa que els símptomes siguin diferents entre pacients.

El propòsit d'aquest treball és adaptar l'ús de la tecnologia del reconeixement visual d'imatges a la rehabilitació dels pacients amb Esclerosi Múltiple. Ajudant així al metge a detectar el grau de malaltia que té el pacient i fer un millor seguiment i al pacient a fer una rehabilitació menys feixuga.

Actualment la tecnologia al camp del reconeixement visual d'imatges millora dia a dia, fins al punt que ara podem trobar diferents dispositius a preus molt assequibles. Un dels dispositius és la Kinect, un controlador de jocs lliure i d'entreteniment, creat per Alex Kipman i desenvolupat per Microsoft per a la videoconsola Xbox [Figura 1].

Aquest és un camp en el qual ja s'està investigant [2] i la Kinect és un dispositiu amb el qual s'han fet diferents projectes amb l'ús del reconeixement visual [3]. Aquest treball és fruit d'una col·laboració entre el Grup de Recerca VICOROB i metges de l'Hospital Josep Trueta i de l'Hospital Santa Caterina.



Figura 1: Sensor Kinect

1.2. Objectius

L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar un prototip basat en la Kinect que ajudi als equips multidisciplinaris a controlar la rehabilitació dels pacients amb Esclerosi Múltiple. Es pretén desenvolupar un sistema informàtic que ajudi a fer un seguiment i un control de la rehabilitació. Per fer-ho, es farà servir el sistema d'adquisició de moviment en temps real de la Kinect.

A partir d'un conjunt d'exercicis proposats pels experts mèdics, aquestes eines informàtiques permetran avaluar la similitud d'aquests exercicis amb els dels pacients, comprovant si es realitzen correctament. Els moviments que realitza el pacient és compararan amb una sèrie de moviments correctes i incorrectes que seran adquirits prèviament, buscant quina és la similitud més gran entre ells.

Per aconseguir l'objectiu, el treball tindrà diferents parts:

- Estudi de la Kinect.
- Selecció dels exercicis adients.
- Adquisició dels moviments correctes i incorrectes.
- Mostrar l'exercici a realitzar al pacient.
- Adquisició dels moviments del pacient.
- Comparació de moviments.
- Càlcul dels resultats / avaluació del prototip.

1.3. Planificació del Treball

El treball s'ha fet de forma seqüencial, dividit en diferents tasques i subtasques. Inicialment s'ha dut a terme una llarga tasca d'aprenentatge, ja que gairebé tot el programari, maquinari i llenguatges de programació utilitzats han estat una novetat per mi.

Les tasques principals han sigut:

- **Aprenentatge:** Aquesta tasca ha sigut necessària per aprendre com funciona el diferent programari i maquinari utilitzat. Concretament consta de les següents subtasques:
 - Visual Studio: Familiaritzar-se amb el programa i amb la programació en C# i XAML.
 - SDK Kinect 2.0.: Un estudi inicial exhaustiu, de moltes setmanes, de totes les possibilitats que ofereix el SDK i quines funcionalitats es poden aprofitar per al treball.
 - Unity: Aprendre el funcionament del programa.

- **Recerca:** Documentar-se sobre el funcionament específic del programari i maquinari que s'utilitzarà i cerca d'informació dels exercicis que es volen tractar en el treball. Consta de les següents subtasques:
 - Sensor Kinect: Documentació inicial, limitacions i característiques.
 - Llibreries Kinect SDK: Un cop familiaritzat amb el Visual Studio es realitza una anàlisi de les llibreries que s'utilitzaran per al funcionament de la Kinect.
 - Exercicis: Comprovar, a partir de les limitacions de la Kinect, quins dels exercicis es poden fer i com.

- **Part gràfica:** Crear els avatars. Posteriorment, amb el Unity, crear els vídeos dels moviments dels exercicis que mostrarà el programa per ensenyar al pacient com s'han de fer.

- **Implementació:** Realitzar totes les tasques de programació i implantació. Consta de les següents subtasques:
 - Donar a escollir l'avatar i l'exercici: Donar l'opció al pacient d'escollir un avatar i quin exercici vol realitzar.
 - Reproduir els vídeos de com realitzar l'exercici: Reproduir els vídeos per mostrar al pacient com s'ha de fer cada exercici.
 - Reproduir la imatge de la Kinect: Reproduir el que veu la Kinect en directe.
 - Dibuixar l'esquelet sobre la imatge: A partir dels punts de les articulacions del cos obtinguts per la Kinect, dibuixar l'esquelet sobre la imatge, en temps real.
 - Adquirir els punts: Guardar els punts de les articulacions del cos en fitxers, tant els punts 2D com els punts 3D.
 - Funcionalitat d'inici i fi: Incloure un botó per iniciar l'adquisició dels punts (amb uns segons de retard introduïts pel pacient, per donar temps de situar-se a la posició inicial) i crear un codi perquè l'aplicació pari d'adquirir els punts quan el pacient s'apropa a la Kinect.
 - Capturar els models: Capturar els models bons i dolents de cada exercici. Funcionalitat destinada per al metge.
 - Comparar els moviments del pacient amb els models: Comparar els moviments del pacient amb els models bons i dolents que tenim de l'exercici escollit.

1.4. Marc de Treball

El treball s'ha dut a terme dins del Grup de Visió per Computador i Robòtica de la Universitat de Girona. Està dirigit a una fase de proves duta a terme per un grup d'especialistes (neuròlegs i fisioterapeutes) de l'Hospital Josep Trueta i de l'Hospital Santa Caterina.

L'eina utilitzada pel desenvolupament ha estat el *Visual Studio 2015*, amb els codis C# i XAML, un entorn de programació molt utilitzat en projectes i aplicacions basats en Kinect. Per capturar les dades he utilitzat la *Kinect V.2.0* de la *Xbox*. Per generar els exercicis fets pels avatars he utilitzat el programa *Unity*. Els exercicis ens els ha proporcionat els experts mèdics dels Hospitals Josep Trueta i Santa Caterina.

1.5. Temps de dedicació

Vaig començar amb la part de recerca d'informació i aprendre com funciona la Kinect a l'Octubre del 2015, dins d'unes Estades en l'Entorn Laboral al Grup de Recerca. Un cop finalitzades, al gener del 2016, vaig iniciar el que és pròpiament el treball. L'objectiu era presentar-lo a la convocatòria del juny del 2016, però veient les dificultats per tenir-lo enllestit per llavors, vam decidir ajornar l'entrega a la convocatòria del setembre del 2016.

El temps dedicat no ha estat uniforme durant aquests mesos. He anat dedicant unes hores diferents cada dia en funció les assignatures que cursava.

2. PROGRAMARI I MAQUINARI UTILITZAT

2.1. Kinect v2.0

La Kinect és un controlador de jocs lliures i d'entreteniment que permet als usuaris controlar i interaccionar amb la consola Xbox. L'any 2011 Microsoft, desenvolupador de la Kinect, va llançar un software per a PC. A finals de 2014 va sortir la Kinect V.2.0, amb el seu software per a PC, que és la que s'ha utilitzat en aquest treball.

En les següents taules podem veure les diferents característiques que te la Kinect, així com una representació del rang de profunditat [Figura 2]:

Sensors
Lents de color i sensació de profunditat
Micròfon multi-arranjament
Ajust del sensor amb el seu motor d'inclinació

Taula 1: Sensors de la Kinect

Camp de visió	
Camp de visió horitzontal	57 graus
Camp de visió vertical	43 graus
Rang d'inclinació física	+/- 27 graus
Rang de profunditat del sensor	<p><u>Default mode:</u> 0-0'8 metres: fora de rang 0'8-4 metres: paràmetres normals 4-8 metres: recull informació, però no òptima > 8 metres: fora de rang</p> <p><u>Near mode:</u> 0-0'4 metres: fora de rang 0'4-3 metres: paràmetres normals 3-8 metres: recull informació, però no òptima > 8 metres: fora de rang</p>

Taula 2: Camp de visió de la Kinect

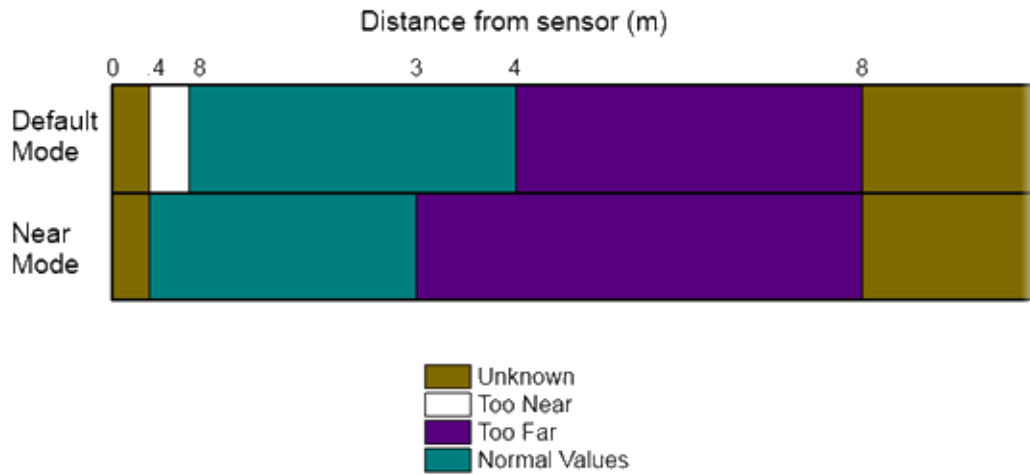


Figura 2: Rang de profunditat del sensor

Flux de dades
80x60, 320x240, 640x480 a 16 bits de profunditat @30fps
640x480 32-bits de color @30fps 1280x960 RGB @12fps Raw YUV 640x480 @15fps
Audio de 32 i 64 bits, en funció del SO

Taula 3: Flux de dades de la Kinect

Sistema de seguiment	
Rastreig	Rastreja fins a 6 persones
Articulacions	Detecta 25 articulacions
Sensors	Permet utilitzar 4 sensors a la vegada

Taula 4: Sistema de seguiment de la Kinect

El Sistema de seguiment de la Kinect és una eina molt important per a la realització d'aquest treball, ja que detecta fins a 25 articulacions del cos humà [Figura 3], que es podran comparar amb els models correctes i incorrectes per saber si el pacient realitza correctament cada exercici.

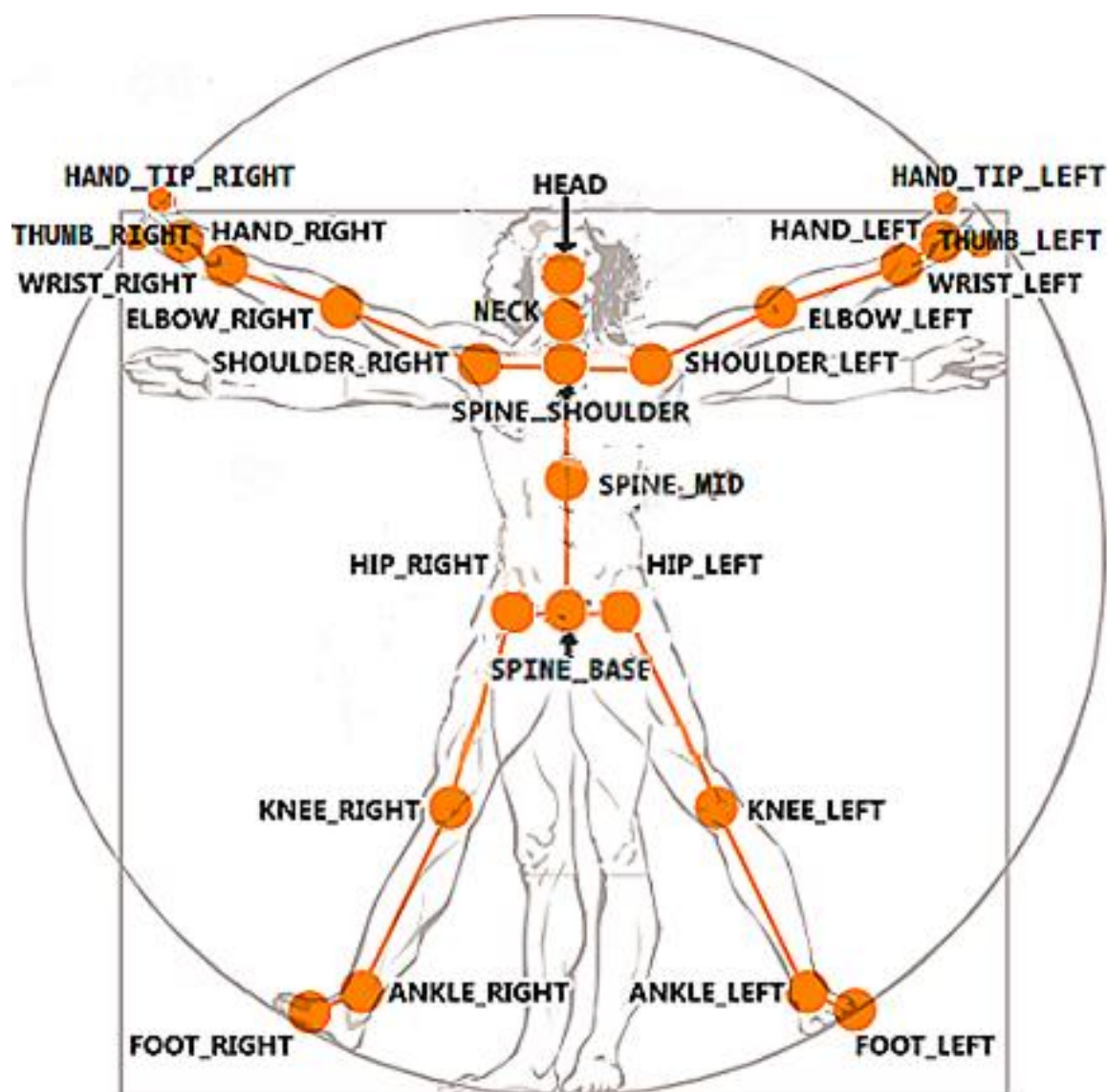


Figura 3: Articulacions de l'esquelet detectades per la Kinect

2.1.1. SDK Kinect per Windows

El SDK de Kinect per a Windows inclou *drivers* pel dispositiu, *APIs* i interfícies, documentació tècnica, d'instal·lació i de configuració i codis d'exemple [4].

Algunes de les APIs que conté són les següents:

Kinect Studio

Aplicació dins del SDK que ens permet obtenir imatges 2D i 3D [Figura 4]:

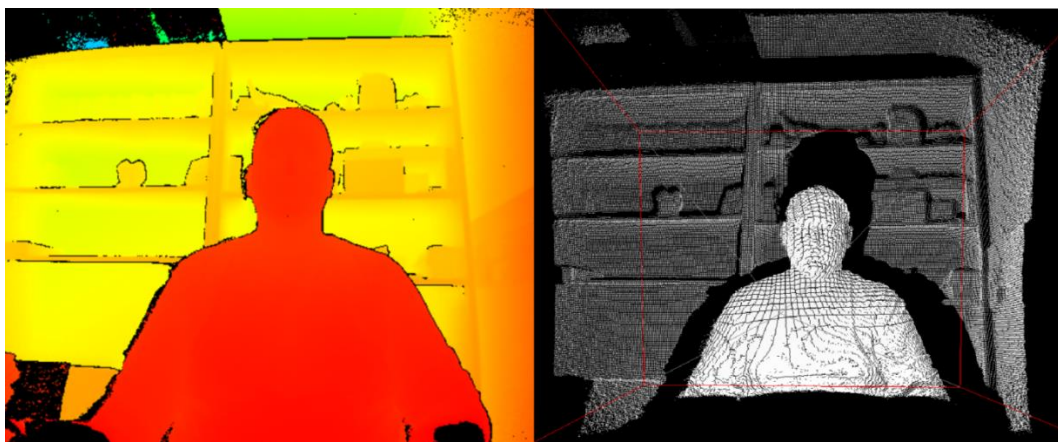


Figura 4: Imatge 2D (esquerra) i imatge 3D (dreta) obtingudes amb el Kinect Studio

Color Basic

Funcionalitat que mostra la imatge en color, com una càmera convencional [Figura 5]:

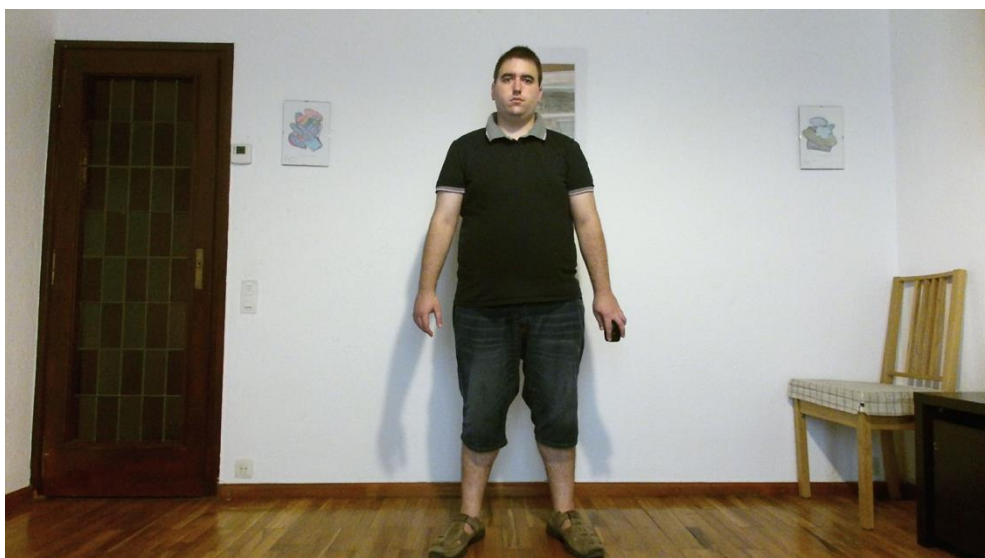


Figura 5: Imatge que s'obté de l'API *Color Basic*

Body Basics

Funcionalitat que ens mostra l'esquelet, unit per les 25 articulacions que pot detectar la Kinect [Figura 6]:

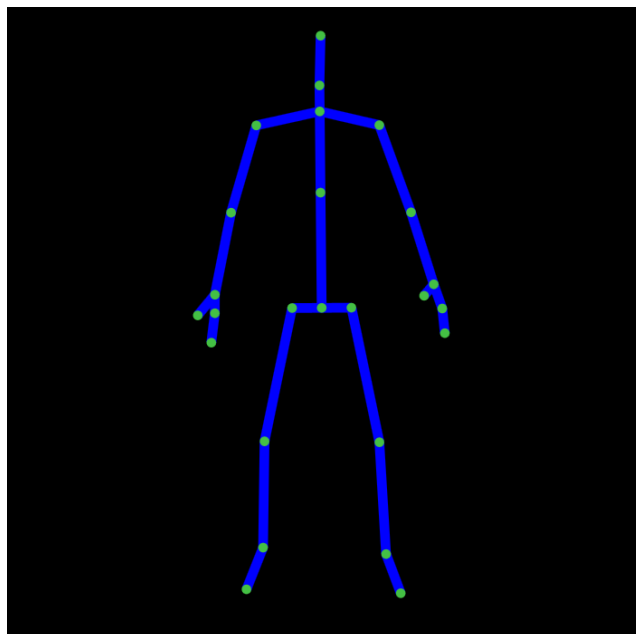


Figura 6: Esquelet que s'obté de l'API *Body Basics*

Una altra funcionalitat que té la Kinect és que pot detectar si la mà està tancada o oberta. En la següent figura [Figura 7] podem veure com senyalitza la mà oberta amb un cercle verd i la mà tancada amb un cercle vermell:

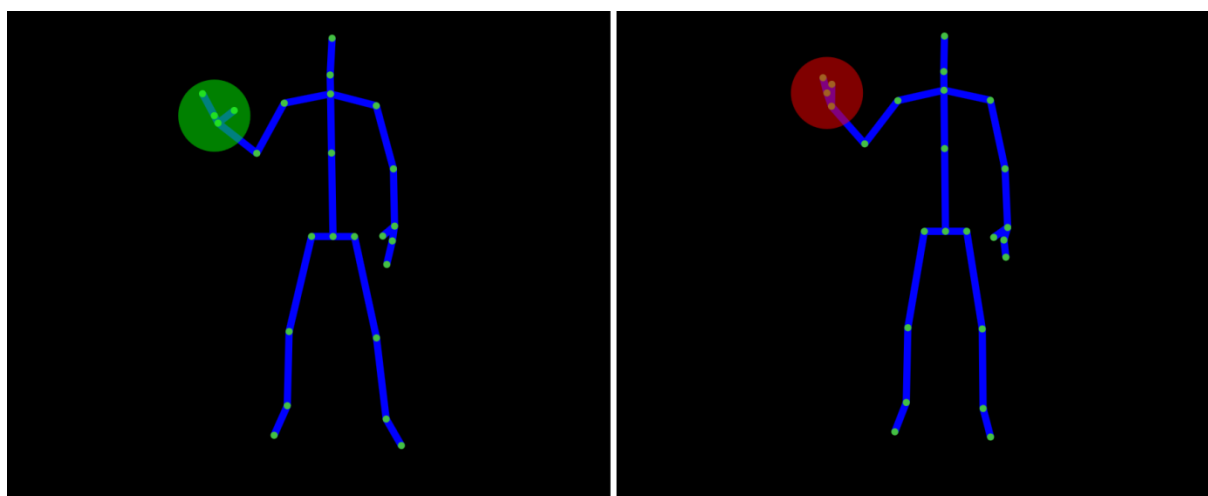


Figura 7: Detecció de la mà oberta (esquerra) i la mà tancada (dreta) sobre l'esquelet

El SDK té altres funcionalitats, com el *Depth Basics*, el *Fusion* i el *Infrared*, que ens mostra les imatges amb diferents filtres [Figura 8].

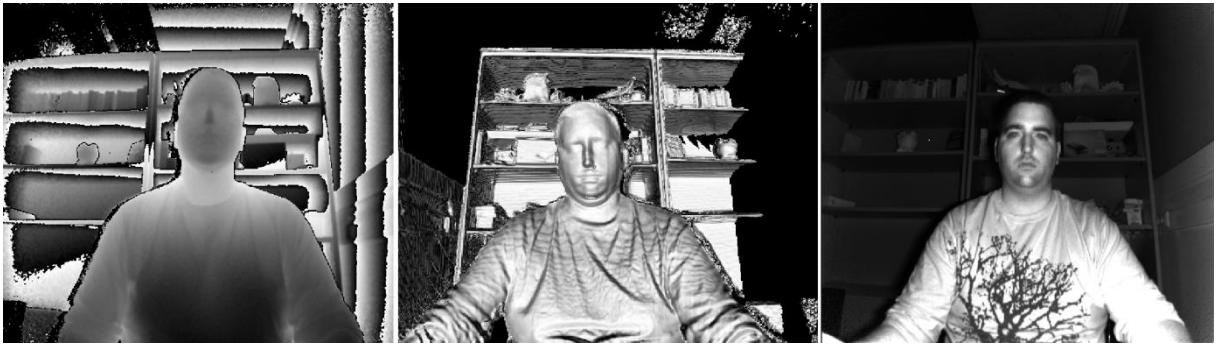


Figura 8: D'esquerra a dreta, imatges de *Depth Basics*, *Fusion* i *Infrared*

Per fer l'aplicació d'aquest treball s'ha fet servir el *Color Basics* i el *Body Basics*, mostrant la imatge en temps real i dibuixant a sobre d'ella les articulacions i l'esquelet [Figura9].

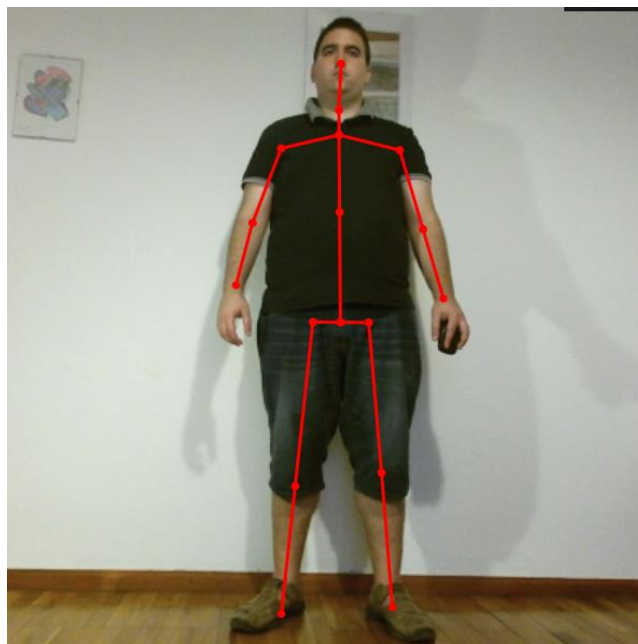


Figura 9: Imatge en temps real amb l'esquelet dibuixat a sobre

Com es pot veure a la Figura 9, no es mostren les 25 articulacions. En cada exercici es dibuixa l'esquelet de les articulacions actives en l'exercici. Entre aquestes articulacions sempre estan les tres que corresponen a la columna.

2.2. Microsoft Visual Studio

El Microsoft Visual Studio [Figura 10] és un entorn de desenvolupament integrat (IDE) per sistemes operatius Windows. Suporta els llenguatges de programació C++, C#, VisualBasic .NET, F#, Java, Python, Ruby i PHP, així com entorns de desenvolupament web com ASP.NET MVC, Django, etc.

Permet als desenvolupadors crear aplicacions per Microsoft Windows, aplicacions web i serveis web en qualsevol entorn que suporti la plataforma .NET (a partir de la versió 2002).



Figura 10: Visual Studio

El llenguatge amb el qual s'ha treballat sobre Microsoft Visual Studio 2015 és el C#. Aquesta decisió ha sigut presa pel fet que dins dels llenguatges de programació possibles a utilitzar (C++, C# i Java) per interactuar amb les llibreries de *Kinect for Windows V.2.0*, la part destinada a C# és la més actualitzada i que presenta més funcionalitats, a més de tenir una comunitat més gran de desenvolupadors d'entre les 3 mencionades.

També, el C#, és un llenguatge de programació que no he tocat durant la carrera, a diferència del C++ i el Java, i he cregut que era una bona oportunitat per aprendre.

Per realitzar la interfície d'usuari de l'aplicació he utilitzat el llenguatge XAML, que permet mostrar totes les dades visuals rellevants, així com interactuar amb l'usuari.

2.2.1. C#

El C# (C Sharp) [Figura 11] és un llenguatge de programació orientat a objectes desenvolupat i estandarditzat per Microsoft com a part de la seva plataforma .NET, que va ser aprovat com estàndard per la ECMA (ECMA-334) i ISO (ISO/IEC 23270). C# és un dels llenguatges de programació dissenyat per a la infraestructura de llenguatge comú.



Figura 11: Microsoft Visual C#

La seva sintaxi bàsica deriva de C/C++ i utilitza el model d'objectes de la plataforma .NET, similar a la de Java, encara que inclou millores derivades d'altres llenguatges.

Encara que forma part de la plataforma .NET, aquesta última és una API, mentre que C# és un llenguatge de programació independent dissenyat per generar programes sobre aquesta plataforma, la qual utilitzarà com a capa d'abstracció.

2.2.2. XAML

XAML (acrònim de *eXtensible Application Markup Language*) [Figura 12] és el llenguatge de format per a la interfície d'usuari per la WPF (*Windows Presentation Foundation*), el qual és un dels pilars de les interfícies de programació d'aplicacions .NET a la versió 3.0.

XAML és un llenguatge declaratiu basat en XML (*eXtensible Markup Language*), optimitzat per descriure gràficament interfícies d'usuaris visuals riques, des del punt de vista gràfic, tals com les creades utilitzant Adobe Flash.



Figura 12: XAML

En el seu ús típic, els arxius de tipus XAML són produïts per una eina de disseny visual, com la utilitzada en aquest treball (Microsoft Visual Studio). El XAML resultant és interpretat instantàniament per un subsistema de Windows, que reemplaça al GDI (*Graphic Device Interface*) de les versions anteriors de Windows. Els elements de XAML s'interconnecten amb objectes del "Entorn comú d'execució per llenguatges". Els atributs es connecten amb propietats o esdeveniments d'aquests objectes.

XAML va ser dissenyat per suportar classes i mètodes de la plataforma .NET que tenen relació amb la interacció amb l'usuari, en especial al desplegament en pantalla.

En aquest treball he utilitzat el Visual Studio, amb C# i XAML, per crear l'aplicació, ja que és el més idoni per utilitzar amb la Kinect.

2.3. Unity

El Unity [Figura 13] és un motor de videojoc multi plataforma creat per *Unity Technologies*. Està disponible com plataforma de desenvolupament per a Microsoft Windows, OS i Linux. La plataforma pot compilar en diferents tipus de plataformes. Té dues versions: *Unity Professional (pro)* i *Unity Personal* (el que es farà servir en aquest treball). El motor gràfic que utilitza a Windows és el *Direct3D*. Té el *Nvidia* com a suport integrat i el *PhysX* com a motor físic.



Figura 13: Unity

El script es basa en *Mono*, la implementació de codi obert de *.Net Framework*. També es pot utilitzar el *UnityScript* (un llenguatge personalitzat inspirat en la sintaxi *ECMAScript*), *C#* o *Boo* (que té una sintaxi inspirada en *Python*).

2.3.1. Mecanim

Mecanim és la tecnologia d'animació de Unity, que ha estat en desenvolupament durant anys. La tecnologia està dissenyada per portar el moviment fluid i natural dels personatges amb una interfície eficient. Mecanim inclou eines per la creació de màquines d'estats, arbres de mescla, manipulació de coneixements nadius i retargeting automàtic d'animacions [Figura 14], des de l'editor de Unity.

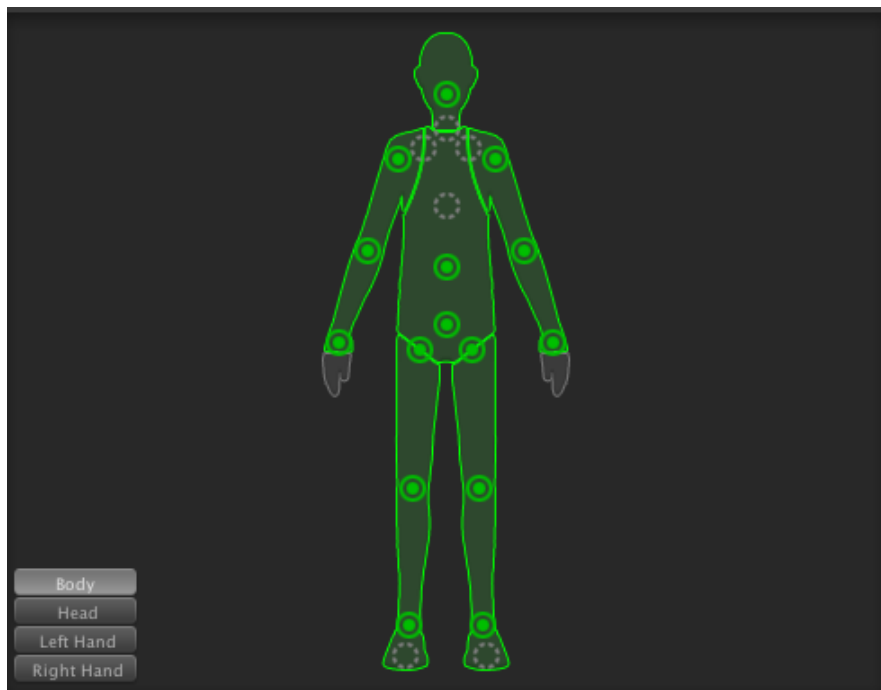


Figura 14: Exemple Mecanim

En el treball s'ha fet servir el Unity per realitzar els vídeos amb els avatars que mostraran al pacient com s'han de fer els exercicis.

2.4. Requisits del Sistema

Unity

Per desenvolupar amb *Unity* es requereix com a mínim el Sistema Operatiu Windows 7 i una targeta gràfica amb DirectX 9 (model shader 3.0) o DirectX 11 amb capacitats de funcions de nivell 9.3.

Visual Studio 2015

Per desenvolupar amb *Visual Studio 2015* es requereix Windows Server, Windows 7, Windows 8 o Windows 10. També es requereix com a mínim un processador de 1'6 GHz, 1 GB de RAM i una targeta de vídeo compatible amb DirectX 9 que funcioni amb una resolució de pantalla de 1024x768 o superior.

Kinect V.2.0

Del programari i maquinari que fem servir la Kinect és el que més requisits té. Requereix com a Sistema Operatiu el Windows 8 o superior, amb un processadors de dual-core 3'1 GHz. També requereix un port USB 3.0 i una targeta gràfica DirectX 11. La maquina ha de ser de 64 bits.

Maquinari utilitzat

Amb tots els requisits que necessitem, l'aplicació l'he realitzat amb el *HP Spectre Pro*, amb el Sistema Operatiu Windows 10, i7 4500u, amb 8Gb de RAM i una resolució +2K de 2560x1440px [Figura 15].



Figura 15: HP Spectre Pro

3. EXERCICIS A REALITZAR

Després de diferents reunions amb els experts mèdics, ens van proposar un seguit d'exercicis motors i d'equilibri que poden fer els pacients per tal de detectar el grau de malaltia que tenen i per fer un seguiment. D'aquests exercicis es van agafar els que es podien fer amb la Kinect, tenint en compte les limitacions que té.

La Kinect pot detectar 25 articulacions del cos, però té algunes limitacions. No pot detectar les articulacions si hi ha altres parts del cos que estan al davant. Per exemple, si el pacient està lateralment a la Kinect, detecta les articulacions corresponents al braç i a la cama més properes a la Kinect, però no les de l'altra costat de cos. No hi ha cap exercici dels seleccionats en què s'analitzi el moviment dels dos braços i/o les dues cames i el pacient hagi d'estar lateralment a la Kinect.

Els exercicis escollits i inclosos dins l'aplicació són els següents:

Exercici 1 i 2: Flexionar genoll

[Figura 16] Inicialment el pacient se situa lateralment a la Kinect. Flexiona el genoll cap endarrere, a 90° respecte a la posició inicial. L'exercici 1 correspon al genoll dret i l'exercici 2 correspon al genoll esquerre.

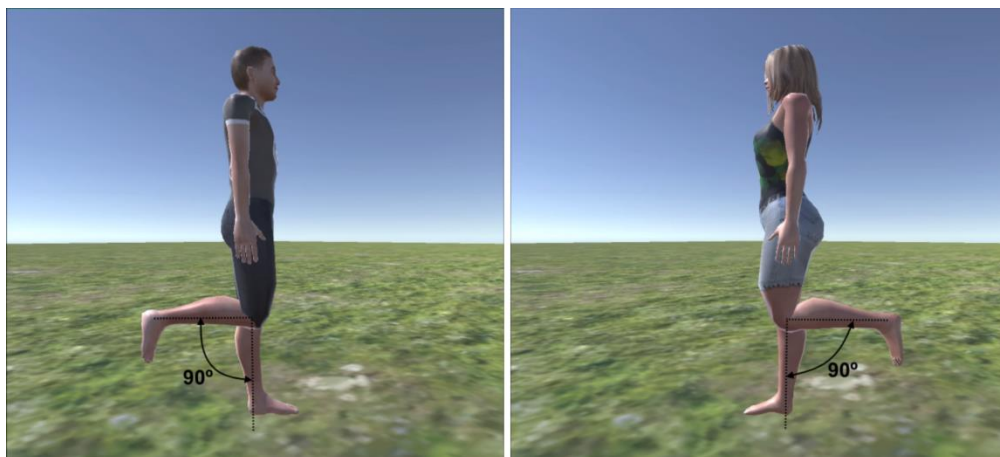


Figura 16: Exercici 1 i 2: Flexionar genoll

Exercici 3 i 4: Aixecar cama assegut

[Figura 17] Inicialment el pacient se situa assegut, lateralment a la Kinect. Aixeca la cama 90° respecte a la posició inicial. L'exercici 3 correspon a la cama dreta i l'exercici 4 correspon a la cama esquerra.

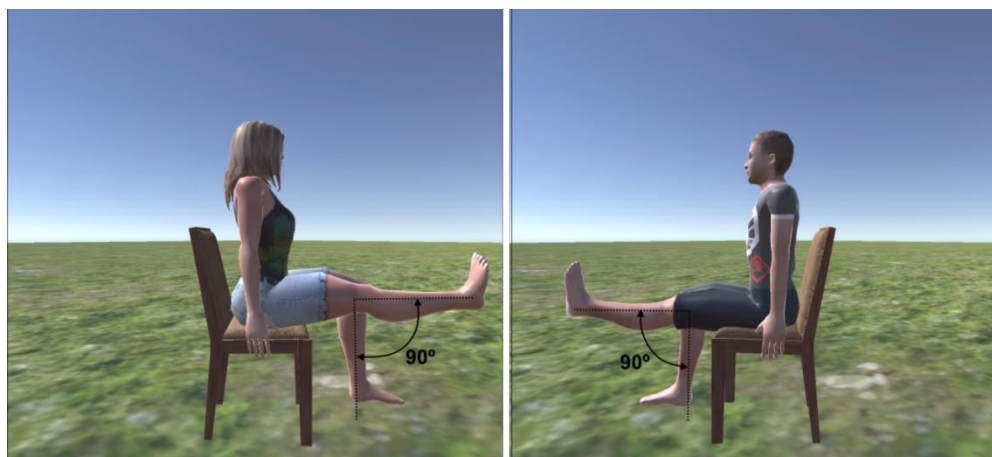


Figura 17: Exercici 3 i 4: Aixecar cama assegut

Exercici 5 i 6: Aixecar genoll

[Figura 18] Inicialment el pacient se situa lateralment a la Kinect. Aixeca el genoll formant un angle de 90° . L'exercici 5 correspon al genoll dret i l'exercici 6 correspon al genoll esquerre.

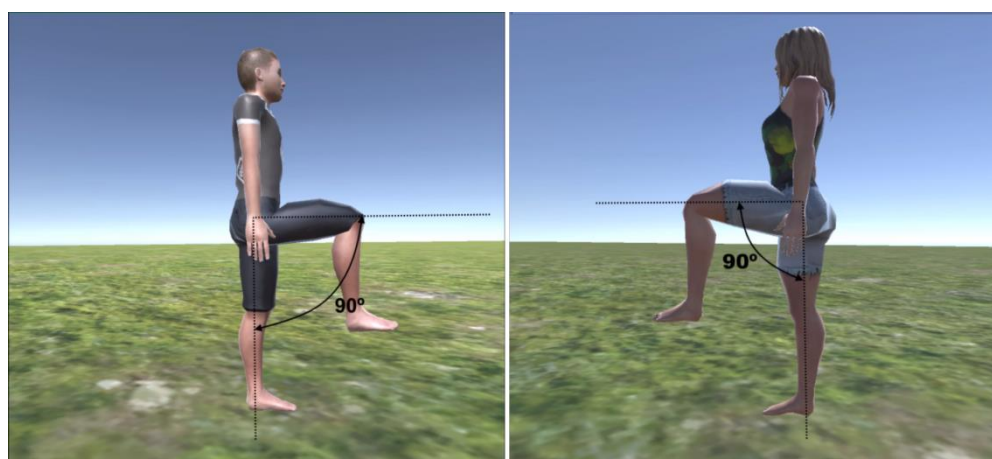


Figura 18: Exercici 5 i 6: Aixecar genoll

Exercici 7: Moure part posterior

[Figura 19] Inicialment el pacient se situa de cara a la Kinect, amb les mans a la cintura. S'inclina 30° a la dreta, torna a la posició inicial, s'inclina 30° a l'esquerra i torna a la posició inicial.

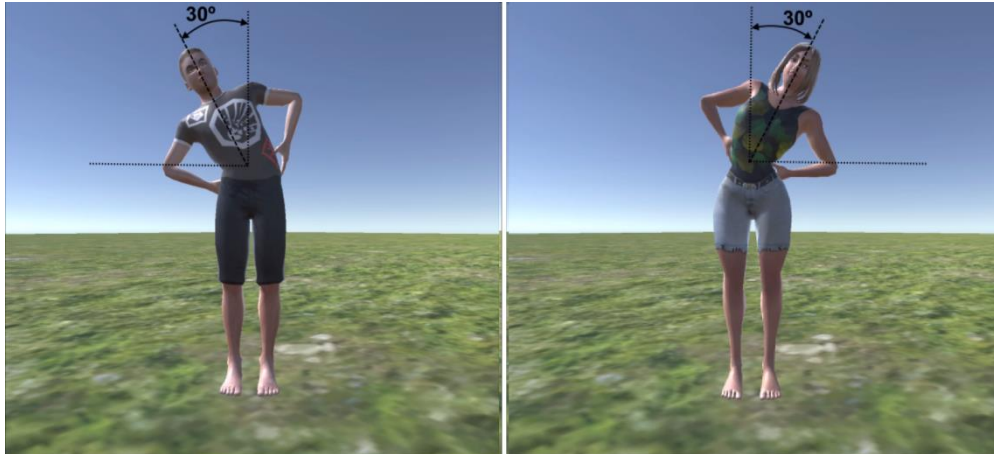


Figura 19: Exercici 7: Moure part posterior

Exercici 8 i 9: Moure cama lateralment

[Figura 20] Inicialment el pacient se situa de cara a la Kinect, amb les mans a la cintura. Aixeca la cama lateralment 50° respecte a la posició inicial. L'exercici 8 correspon a la cama dreta i l'exercici 9 correspon a la cama esquerra.

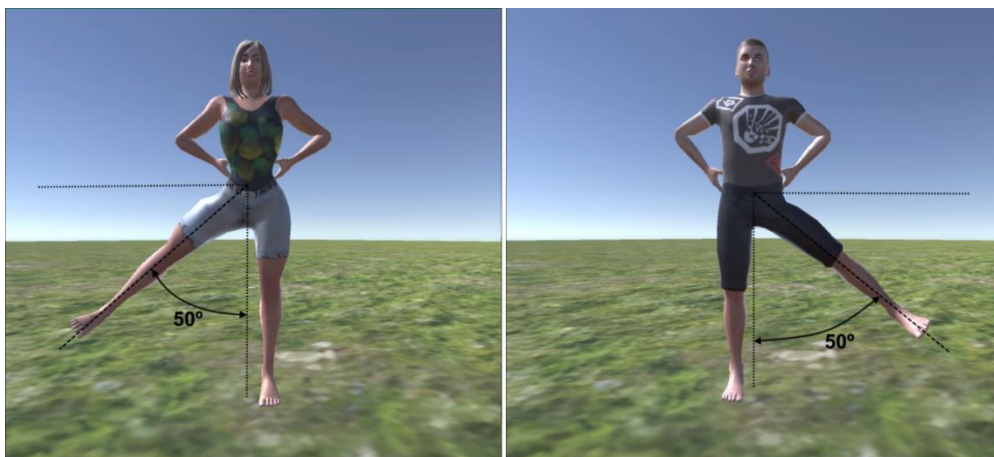


Figura 20: Exercici 8 i 9: Moure cama lateralment

Exercici 10 i 11: Aixecar genoll i aguantar 5 segons

[Figura 21] Inicialment el pacient se situa lateralment a la Kinect. Aixeca el genoll formant un angle de 90° i el manté aixecat durant 5 segons, abans de baixar-lo per tornar a la posició inicial. L'exercici 10 correspon al genoll dret i l'exercici 11 correspon al genoll esquerre.

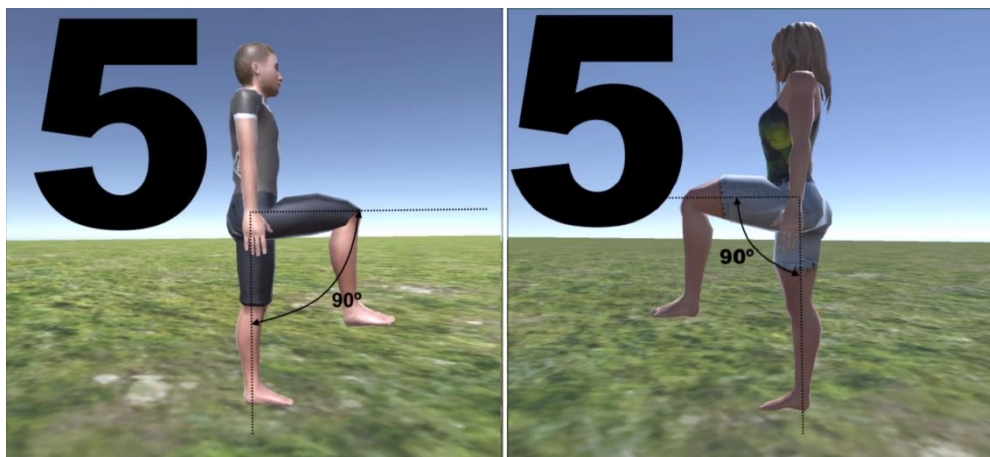


Figura 21: Exercici 10 i 11: Aixecar genoll i aguantar 5 segons

4. ESTRUCTURA DE L'APLICACIÓ I INTERFÍCIE

4.1. Estructura de l'Aplicació

Primer de tot s'ha d'estructurar l'aplicació. Ha de ser senzilla, per facilitar el seu ús. El pacient podrà escollir l'avatar que vol utilitzar, escollir l'exercici i realitzar l'exercici. Per realitzar-lo haurà d'introduir el seu nom i els segons de retard que vol que passin d'ençà que prem el botó de començar fins que l'aplicació comença a capturar els moviments. També, si vol, podrà tornar a reproduir el vídeo que mostra com ha de fer l'exercici seleccionat. El metge podrà fer tot el que fa el pacient però, a més, pot adquirir nous models per un exercici. [Figura 22]

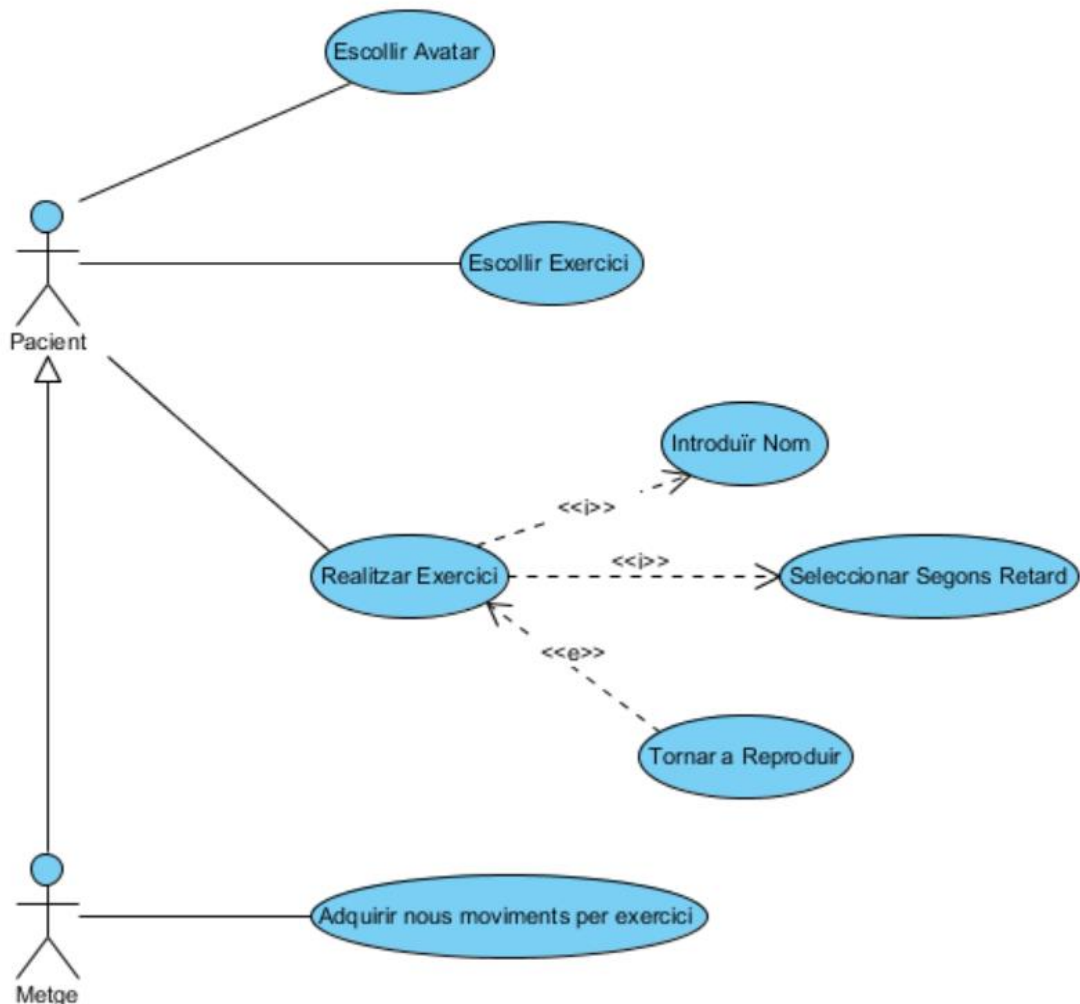


Figura 22: Diagrama de Cas d'ús

Un cop definit quins actors hi ha i que poden fer s'ha de definir l'estructura interna de l'aplicació. Cada pacient realitza un exercici, que està format per una sèrie d'articulacions del cos (*BodyJoints*). Tota la informació d'un exercici es guarda a la base de dades, a la que s'accedirà mitjançant a classe *Connexió Base de Dades*. El que realment avaluarà l'aplicació no és l'exercici, sinó les articulacions, ja que comparará les posicions de les articulacions del pacient amb les dels models. Cada avaluació es farà respecte a una sèrie de *BodyJoints*. [Figura 23]

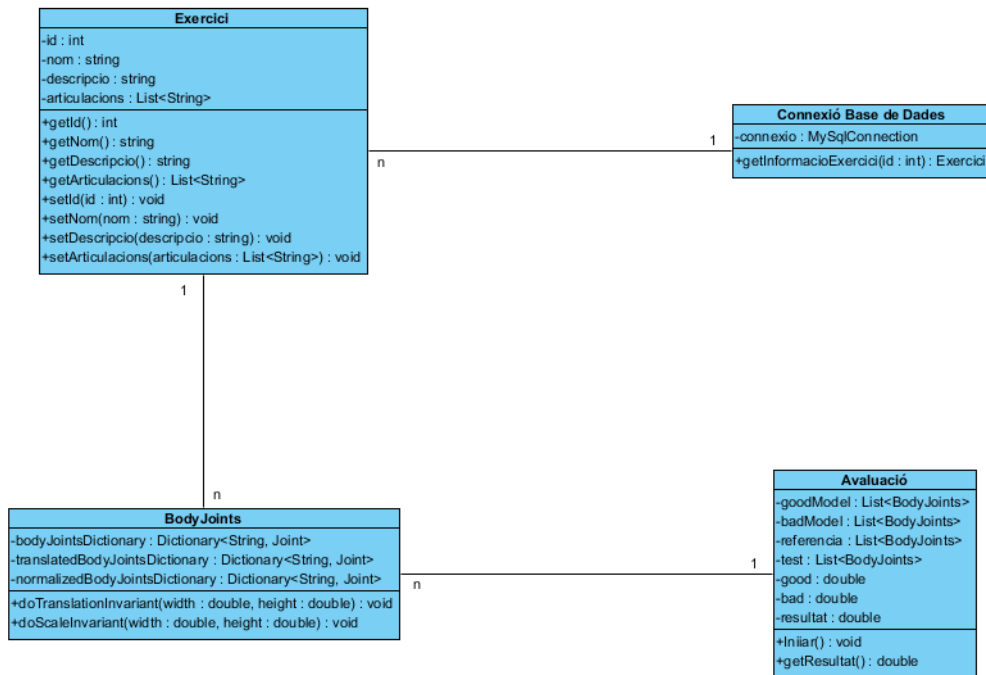


Figura 23: Diagrama de Classes

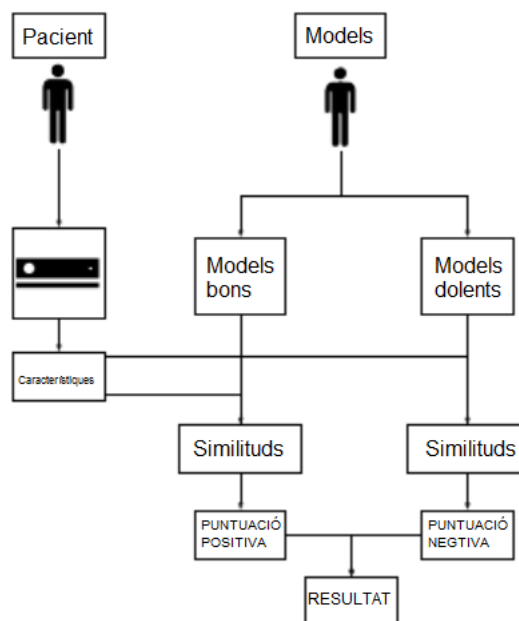


Figura 24: Estructura Aplicació

4.2. Interfície Gràfica

L'aplicació té una interfície gràfica simple, amb tres tipus de pantalla, que permet al pacient o al metge seleccionar un dels avatars, escollir l'exercici que vol realitzar i veure en què consisteix l'exercici, abans de realitzar-lo.

4.2.1. Escollir Avatar

Aquesta pantalla [Figura 25] permet al pacient escollir quin avatar vol. Hi ha dues opcions, un noi i una noia.



Figura 25: Pantalla per escollir avatar

4.2.2. Escollir Exercici

Aquesta pantalla [Figura 26] permet al pacient escollir quin exercici vol fer. També té un botó (a baix a la dreta) que permet canviar d'avatar. En les imatges dels exercicis l'avatar que apareix és el seleccionat anteriorment pel pacient.



Figura 26: Pantalla per escollir l'exercici

4.3.3. Realitzar Exercici

Aquesta pantalla [Figura 27] és la principal de l'aplicació. A la banda superior, a la dreta, hi ha dos vídeos on es veu a l'avatar escollit pel pacient realitzant l'exercici. Hi ha dos vídeos, un es veu des d'una càmera frontal a l'avatar i l'altre des d'una càmera lateral. A sota els vídeos podem veure tres botons, un és per canviar l'avatar (mantenint el mateix exercici), l'altre per canviar l'exercici (mantenint el mateix avatar) i l'altre per tornar a reproduir els dos vídeos.

A la part esquerra podem veure la imatge que reproduïx la Kinect, en directe, amb les articulacions i l'esquelet dibuixats a sobre el cos. A sota podem veure el nom de l'exercici i una descripció de com s'ha de fer. Sota d'aquesta descripció, un cop es finalitza l'exercici, es mostrarà el missatge "Molt bé!!" si s'ha realitzat correctament, o el missatge "S'ha de millorar" si no s'ha realitzat correctament. Ja que es tracta d'una aplicació per ajudar a persones malaltes, s'evita utilitzar la paraula "malament", amb l'objectiu que no hi hagi cap efecte negatiu, en forma de desmotivació.

A la part central, a baix, hi ha el botó per iniciar l'exercici. Com que el pacient pot estar sol en el moment de realitzar l'exercici hi ha un retard des que es prem el botó d'inici fins que s'inicia la captura dels moviments. La mobilitat de cada pacient és diferent i hi ha que poden requerir més temps per arribar a la posició inicial que d'altres, des que premen el botó de començar, per aquest motiu s'introdueix una casella on el pacient indica els segons de retard necessaris per arribar a la posició inicial. El temps de retard per defecte és de 5 segons. Per indicar que comença l'exercici, l'esquelet canvia a color verd. El pacient també ha d'introduir el seu nom, que serà part dels noms dels fitxers on es guarden les coordenades, tant 2D (en la imatge) com 3D (respecte de la Kinect), de les articulacions. Just a sota hi ha una casella de selecció inicialment seleccionada. Amb aquesta casella s'indica que es vol comprovar si s'ha realitzat correctament l'exercici. No es comprovarà quan el metge vulgui captura nous models per l'exercici.



Figura 27: Pantalla per realitzar l'exercici

4.3. Realització dels vídeos

Per mostrar al pacient com s'han de fer els exercicis l'aplicació mostra dos vídeos, un des d'una perspectiva frontal a l'avatar i l'altre des d'una perspectiva lateral. Aquests vídeos s'han realitzat amb el *Unity*.

Abans de crear els vídeos ha estat necessari crear els avatars. Per crear els dos avatars, tant el noi com la noia, s'ha fet servir el programa en línia *Character Generator*. Un programa senzill on pots crear avatars escollint el gènere, els trets facials, el cabell, la roba i altres aspectes físics [Figura 28].

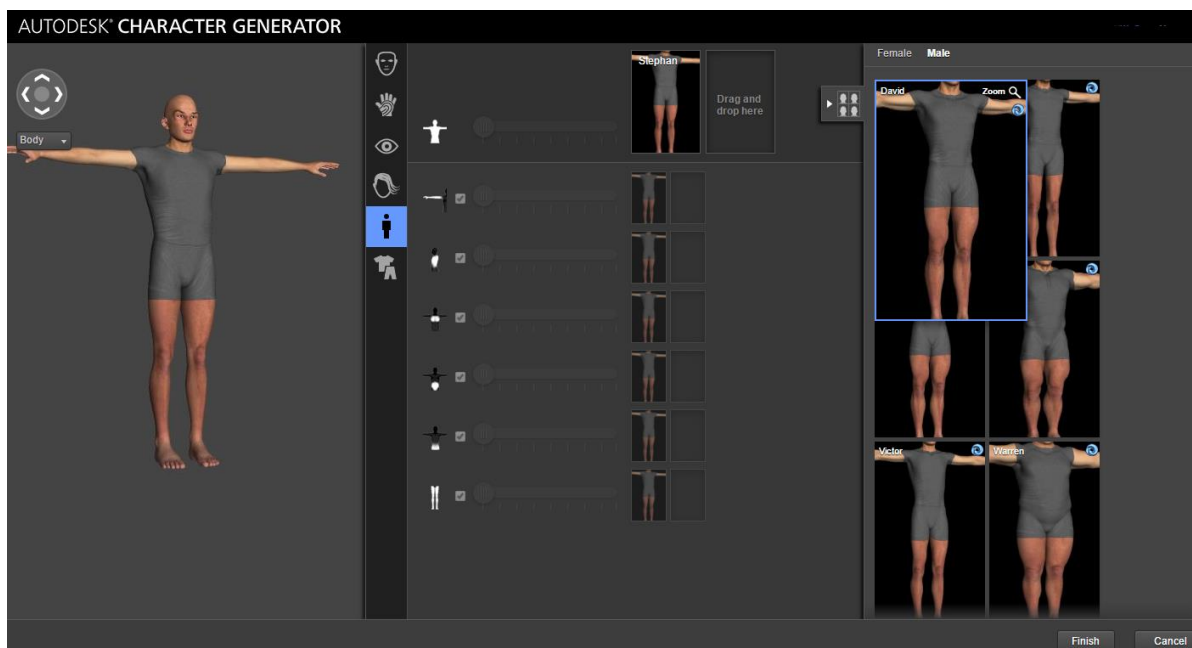


Figura 28: Creació d'avatar amb el *Character Generator*

Amb el *Character Generator* es crea els dos avatars que es faran servir, un d'un noi i un d'una noia [Figura 29].



Figura 29: Avatars

Un cop tenim els avatars ja podem crear el vídeo amb el *Unity*, per això ha requerit unes quantes setmanes de fer tot tipus de proves per veure com es podia fer i que quedés de la millor manera possible, amb l'ajuda del Manual de *Unity* [5].

S'utilitzarà la seva tecnologia d'animació, el *Mecanim*. Abans, però, s'ha de crear l'escenari dins del *Unity*. Afegim un terreny, l'avatar, un punt de llum i les dues càmeres que capturaran els moviments, una davant de l'avatar i l'altre a un costat [Figura 30].



Figura 30: Escenari al Unity

Per crear l'animació seleccionem l'avatar i afegim el component *Animation*. Seleccionem l'articulació que volem que l'avatar mogui. Per exemple, si estem creant el moviment per a l'exercici 7, moure la part posterior, seleccionem l'articulació *SpineBase* [Figura 31].

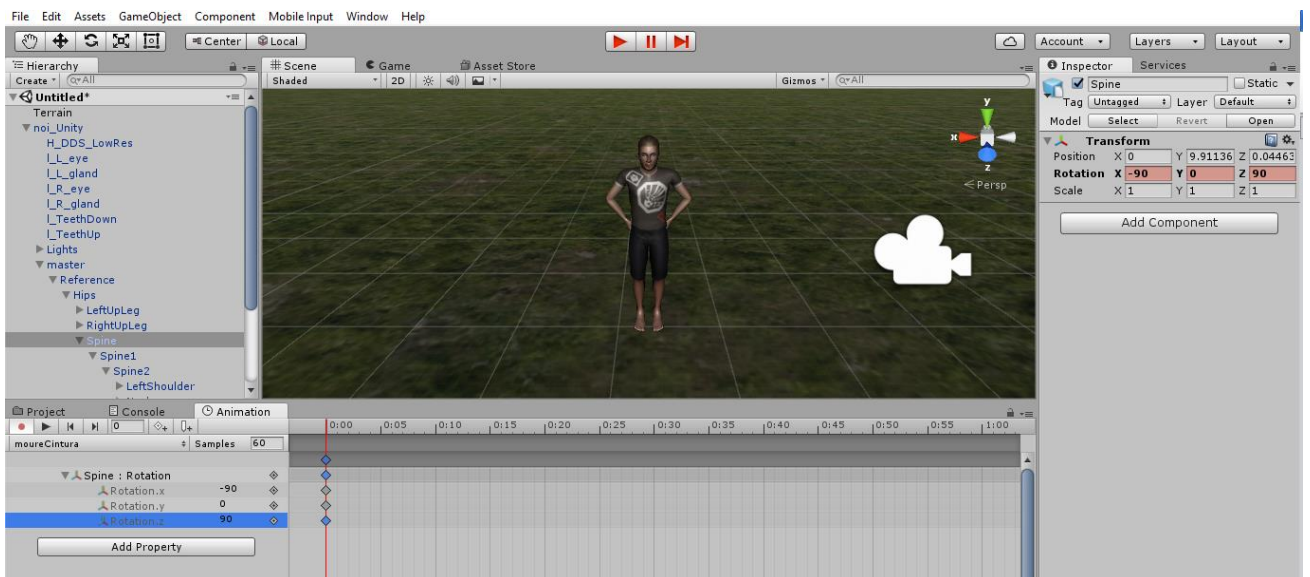


Figura 31: Component *Animation* de l'avatar

Determinem la posició de les variables x, y i z en rotació en els frames que indiquem. No cal introduir les posicions de les variables frame a frame, però perquè el moviment es faci amb una velocitat constant, sense cap acceleració ni desacceleració, hem de fer que el número de frames que recorre l'avatar des d'una posició inicial fins a una final, sigui igual en tots els moviments dins d'un mateix exercici. Gravem els moviments [Figura 32].

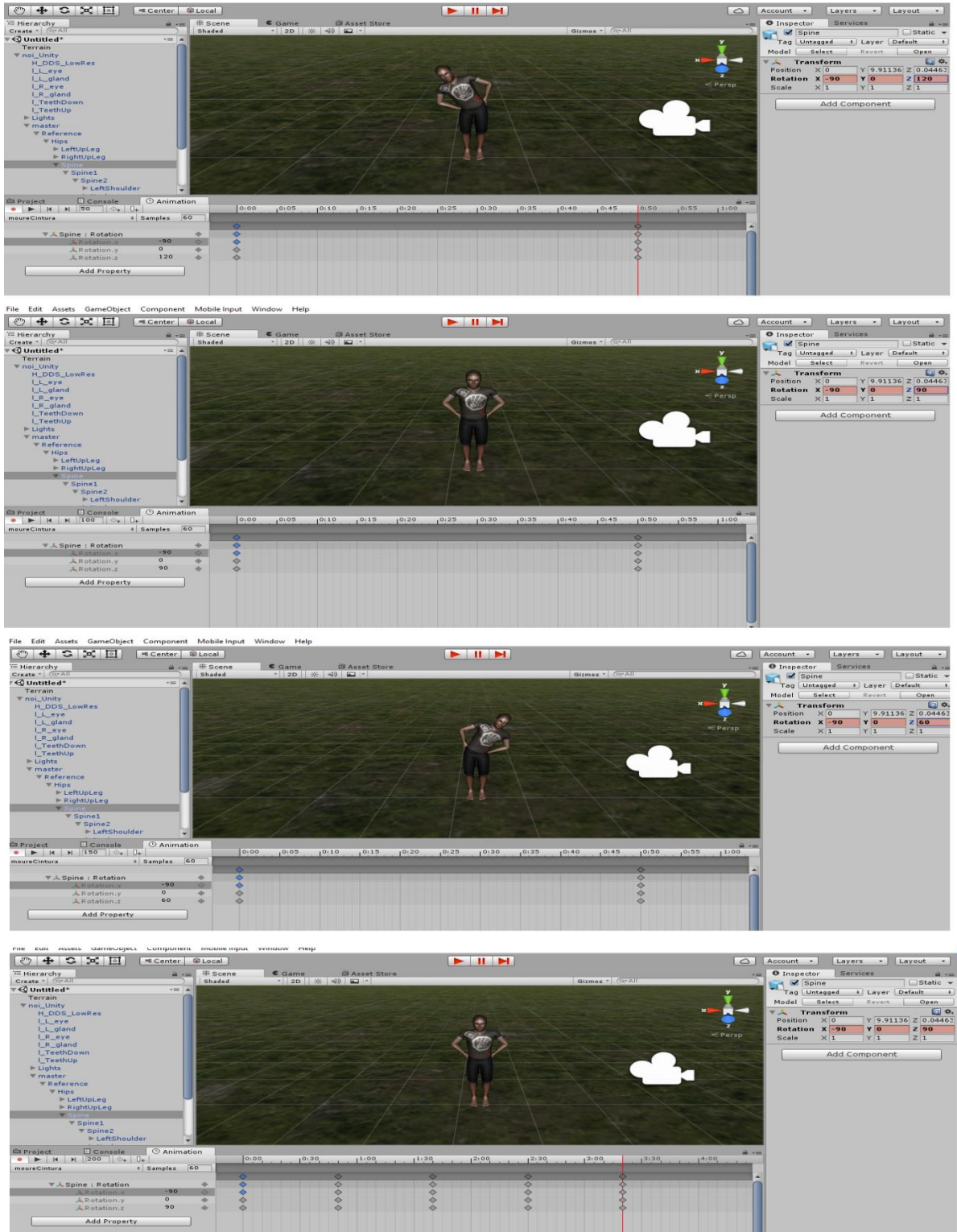


Figura 32: Gravació de la seqüència de moviments

Un cop tenim el moviment de l'avatar, s'ha de gravar aquest. Per fer-ho modifiquem el script de les dues càmeres, per tal que guardin un seguit d'imatges mentre l'avatar realitza el moviment [Figura 33]. Per cada avatar guarda entre 40 i 50 imatges, depenent de l'exercici. En el cas de l'exercici 7, moure la cintura, arriba fins a les 100 imatges.

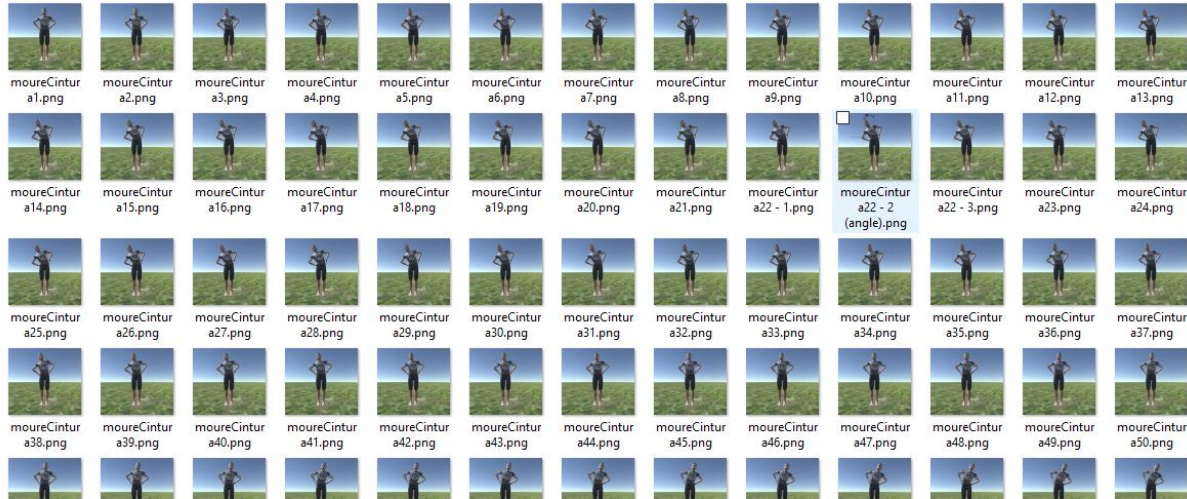


Figura 33: Imatges capturades

Un cop tenim les imatges hem de construir el vídeo a partir d'elles. Per això utilitzarem el *Windows Media Maker*, un editor de vídeo gratuït de *Microsoft*, que permet crear i editar vídeos. Se seleccionen totes les imatges i s'indica el temps de transició entre una imatge i l'altra, en aquest cas 0'1 segons [Figura 34]. Amb un programa editor d'imatge he dibuixat sobre les imatges adients les línies que indiquen els graus que s'ha d'inclinar el pacient.

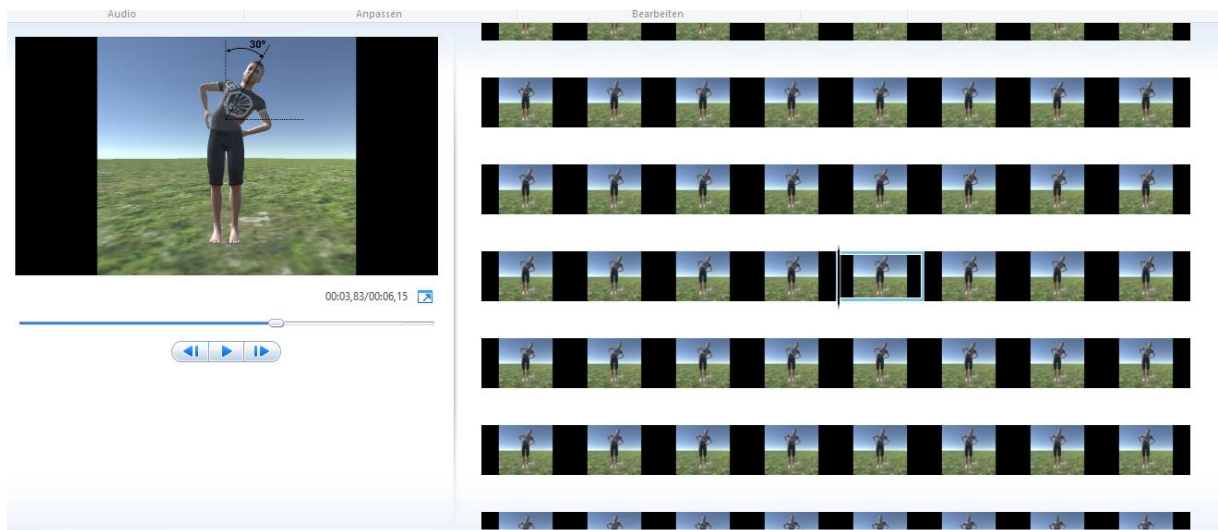


Figura 34: Creació del vídeo a partir de les imatges

5. OBTENCIÓ I TRACTAMENT DE LES DADES

Aquesta part de l'aplicació correspon a la tercera pantalla de les que hem vist anteriorment. És la part que té més pes dins l'aplicació, ja que és l'encarregada de capturar els moviments del pacient i comparar-los per tal de determinar si el pacient fa el moviment correctament o incorrectament.

5.1. Adquisició de moviments mitjançant la Kinect

El primer pas és adquirir els moviments del pacient. El mateix pacient decideix el moment en el qual vol començar l'exercici, prem el botó d'inici. La captura de moviments començarà un cop transcorreguts els segons que el pacient indiqui. Un cop el pacient realitza l'exercici, per indicar que l'ha acabat, ha d'apropar alguna part del cos cap a la Kinect, a menys de 1'3 metres del sensor. Només que detecti que una de les articulacions està més a prop d'aquesta distància ja acabarà, això està fet així pensant en què hi ha pacients que poden tenir problemes de mobilitat només en alguna extremitat concreta o alguna extremitat amb menor afectació que a d'altres i així pot apropar al sensor alguna extremitat que tingui una bona o millor mobilitat. Si s'està adquirint els moviments o no s'indicarà mitjançant el color de l'esquelet (vermell si no s'està capturant i verd si s'està capturant). La posició ideal per fer els exercicis és entre 1'8 i 2 metres respecte a la Kinect.

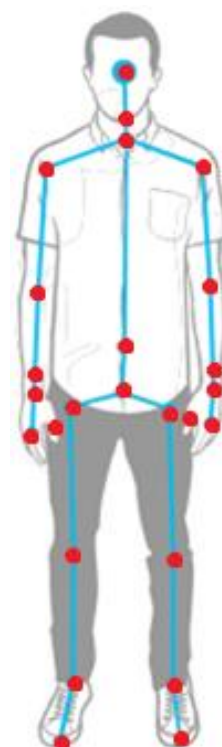


Figura 35: Cos humà amb les articulacions que detecta la Kinect (vermell) i l'esquelet dibuixat (blau)

La Kinect detecta 25 articulacions del cos [Figura 35]. Cada articulació conté informació molt útil per, posteriorment, comparar els moviments. Cada articulació conté: el nom de l'articulació, les coordenades x i y en un pla 2D i les coordenades 3D x , y i z de l'articulació respecte a la Kinect.

Aquesta informació que capta la Kinect es guardarà en dos fitxers diferents, que tindran com a nom el nom del pacient, seguit del número d'exercici que realitza. Aquests dos fitxers es guarden en dos directoris diferents. En un dels fitxers, per cada línia, es guarda el nom de l'articulació, seguit de la coordenada x i de la coordenada y del pla 2D. En l'altre, també per cada línia, es guarda el nom seguit de les coordenades 3D x , y i z respecte a la Kinect. En ambdós casos es guarda també, en la mateixa línia, el número de frame [Figura 36].

La Kinect capta de mitjana 30 frames per segon. Per tant, per cada segon, es guardaran a cada fitxer unes 750 línies de dades. Per aquest motiu és guarda també el frame en el que s'ha obtingut cada una de les coordenades, així es pot saber quina coordenada del pla 2D correspon a cada coordenada 3D respecte a la Kinect i també facilita la comparació posterior.

Ítem	Part	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
1	1 SpineBase	361,2349	190,126	
2	1 SpineMid	360,9796	120,1833	
3	1 Neck	360,6707	54,15054	
4	1 Head	361,3661	23,76702	
5	1 ShoulderLeft	318,6697	76,50048	
6	1 ElbowLeft	286,384	115,1337	
7	1 WristLeft	301,1706	157,7985	
8	1 HandLeft	309,7356	167,1102	
9	1 ShoulderRight	404,5493	77,78288	
10	1 ElbowRight	440,851	113,3239	
11	1 WristRight	423,7956	155,1741	
12	1 HandRight	415,9161	158,5133	
13	1 HipLeft	342,6992	190,3996	
14	1 KneeLeft	337,7862	278,6422	
15	1 AnkleLeft	339,6676	349,141	
16	1 FootLeft	336,1973	376,0382	
17	1 HipRight	380,2685	189,8442	
18	1 KneeRight	385,8468	276,5907	
19	1 AnkleRight	383,7785	349,7229	
20	1 FootRight	389,8877	375,7431	
21	1 SpineShoulder	360,7572	70,31863	
22	1 HandTipLeft	319,4933	183,0707	
23	1 ThumbLeft	319,3531	155,1892	
24	1 HandTipRight	406,8079	173,3047	
25	1 ThumbRight	405,575	151,0456	
26	2 SpineBase	361,261	190,1466	
27	2 SpineMid	360,9477	120,1788	
28	2 Neck	360,4896	54,12871	
29	2 Head	361,2207	23,75316	
30	2 ShoulderLeft	318,61	76,58608	
31	2 ElbowLeft	286,2886	115,2048	
32	2 WristLeft	300,9942	157,787	
33	2 HandLeft	309,6939	166,9776	
34	2 ShoulderRight	404,4695	77,84077	
35	2 ElbowRight	440,7296	113,3636	
36	2 WristRight	423,8682	155,1577	
37	2 HandRight	415,6159	158,6658	
38	2 HipLeft	342,7343	190,4314	
39	2 KneeLeft	337,7976	278,659	
40	2 AnkleLeft	339,6492	349,3383	
41	2 FootLeft	336,2189	376,0846	
42	2 HipRight	380,2857	189,8557	
43	2 KneeRight	385,8642	276,6008	
44	2 AnkleRight	383,7819	349,7149	
45	2 FootRight	389,9015	375,7258	
46	2 SpineShoulder	360,618	70,29978	

Ítem	Part	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
1	1 SpineBase	-0,02995735	0,07482029	1,837343
2	1 SpineMid	-0,02779531	0,4033647	1,862093
3	1 Neck	-0,02617709	0,7154191	1,874081
4	1 Head	-0,02177951	0,8508514	1,860823
5	1 ShoulderLeft	-0,2230395	0,6061873	1,853764
6	1 ElbowLeft	-0,3813941	0,4362488	1,888483
7	1 WristLeft	-0,3023839	0,2234159	1,80902
8	1 HandLeft	-0,2617244	0,1788719	1,790964
9	1 ShoulderRight	0,1762855	0,5950851	1,850153
10	1 ElbowRight	0,3471058	0,4327197	1,867226
11	1 WristRight	0,2517889	0,2271843	1,786079
12	1 HandRight	0,2166889	0,2128357	1,788559
13	1 HipLeft	-0,1143635	0,07274298	1,797766
14	1 KneeLeft	-0,1411563	-0,3298494	1,81404
15	1 AnkleLeft	-0,136699	-0,6603538	1,839093
16	1 FootLeft	-0,1474232	-0,7335761	1,720744
17	1 HipRight	0,05569957	0,07372132	1,798066
18	1 KneeRight	0,07860629	-0,3226452	1,816201
19	1 AnkleRight	0,0680366	-0,6680691	1,848996
20	1 FootRight	0,08573212	-0,7381718	1,73084
21	1 SpineShoulder	-0,02649859	0,6395535	1,873174
22	1 HandTipLeft	-0,2160387	0,1049425	1,764839
23	1 ThumbLeft	-0,2161482	0,229827	1,772563
24	1 HandTipRight	0,1713413	0,1442366	1,75849
25	1 ThumbRight	0,1732298	0,249869	1,810383
26	2 SpineBase	-0,02984075	0,07471434	1,837111
27	2 SpineMid	-0,02794434	0,403389	1,862103
28	2 Neck	-0,02702076	0,7157341	1,874617
29	2 Head	-0,02245094	0,8511009	1,861214
30	2 ShoulderLeft	-0,2233141	0,6057662	1,85368
31	2 ElbowLeft	-0,3817704	0,4358099	1,888023
32	2 WristLeft	-0,302967	0,2232796	1,807434
33	2 HandLeft	-0,261853	0,1794254	1,790506
34	2 ShoulderRight	0,1759411	0,5948954	1,850383
35	2 ElbowRight	0,3468167	0,4328444	1,868539
36	2 WristRight	0,252189	0,2273095	1,786512
37	2 HandRight	0,2156337	0,2123995	1,790557
38	2 HipLeft	-0,1141936	0,07258335	1,797413
39	2 KneeLeft	-0,1410953	-0,3298903	1,81384
40	2 AnkleLeft	-0,1367774	-0,6611433	1,838761
41	2 FootLeft	-0,1473265	-0,7337388	1,720657

Figura 36: Fitxers amb les dades recollides

Aquestes dades s'utilitzaran posteriorment per comprovar si l'exercici s'ha realitzat correctament. També les dades quedaran guardades per poder accedir sempre que es requereixi.

5.2. Comparació de moviments

Un cop el pacient realitza el moviment i s'apropa a la Kinect per indicar que ha acabat, l'aplicació comença a comparar els moviments del pacient amb els models correctes i incorrectes que té, prèviament adquirits.

Per comparar els moviments es farà servir l'algoritme *Dynamic Time Warping (DTW)* [Figura 37], un algoritme que mesura la similitud entre dues seqüències que poden variar en la velocitat.

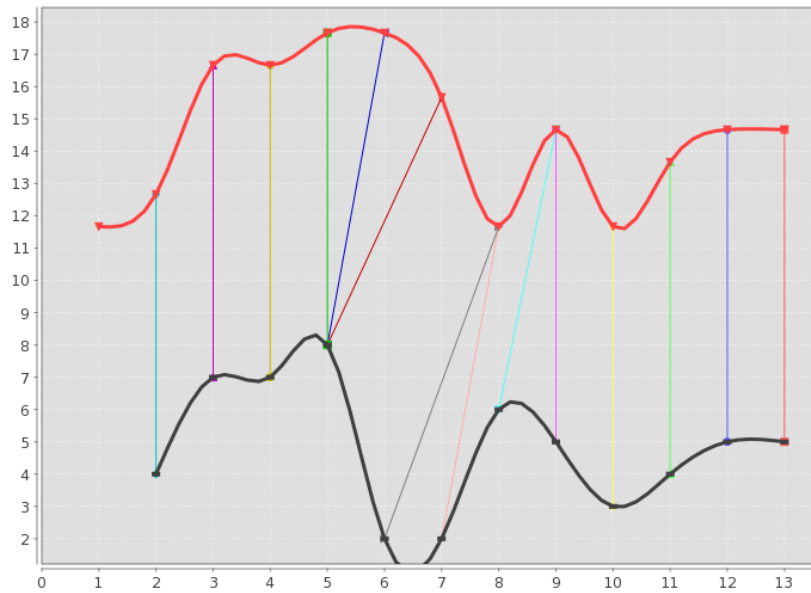


Figura 37: Dynamic Time Warping (DTW)

Aquest algoritme el que fa és construir una matriu $m \times n$ on m i n són la mida de les dues seqüències (en el nostre cas, una llista d'articulacions). Cada casella $[i,j]$ tindrà com a valor la distància entre el valor de les caselles de i i j . Un cop omplerta la matriu, s'assigna el valor 0 a la casella $[0,0]$. Posteriorment, recorre la matriu i modifica el valor de cada casella per la suma del seu cost (veurem després com es calcula) i del valor més petit de les 3 caselles anteriors ($[i-1,j]$, $[i-1,j-1]$, $[i, j-1]$). Finalment, a la casella $[n,m]$, queda el resultat d'aplicar l'algoritme [Figura 38].

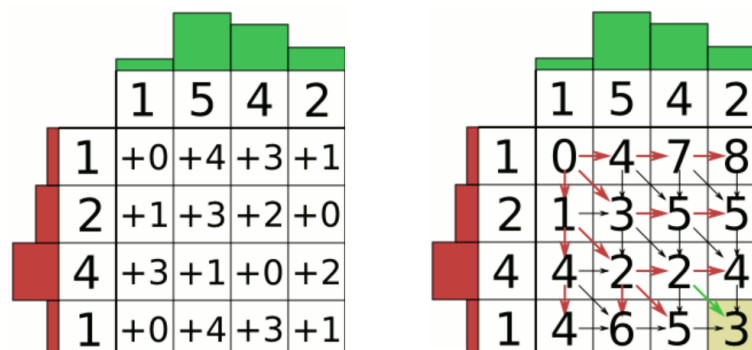


Figura 38: Exemple DTW

Un cop tenim l'algoritme s'ha de decidir com, dins d'ell, es calcula el cost. Per fer-ho s'utilitza la distància euclidiana [Figura 39].

La distància euclidiana és la distància ordinària entre dos punts, i ve donada per la fórmula o teorema de Pitàgores. Utilitzant aquesta distància, l'espai esdevé mètric.

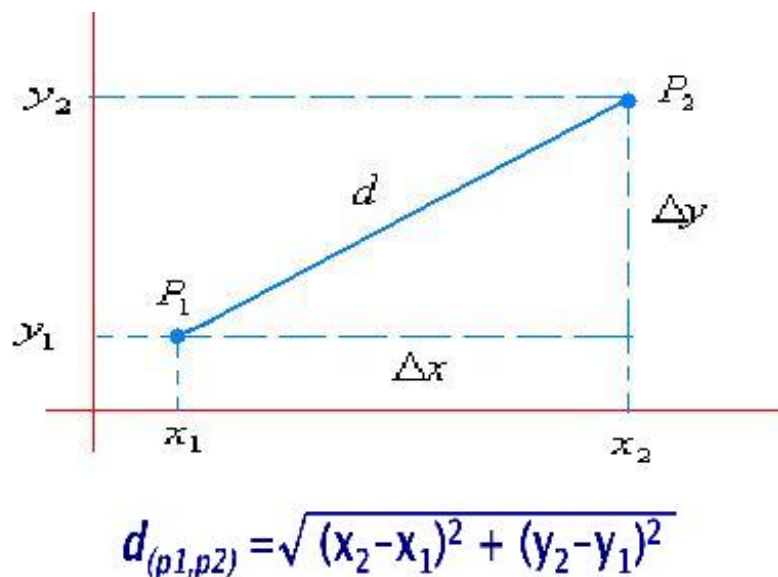


Figura 39: Distància euclidiana

La Kinect arriba a un camp de visió molt ampli i, per tant, la posició del pacient en realitzar l'exercici i del metge en adquirir nous models no serà la mateixa pel que fa a les coordenades, tot i que l'exercici pot realitzar-se correctament. També l'alçada del metge i del pacient poden ser diferents. Per aquest motiu no es pot comparar directament les articulacions del moviment del pacient amb les dels models correctes i incorrectes.

Prèviament a comparar els moviments aplicant l'algoritme *DTW*, és "normalitza" les coordenades de les articulacions. Prenent com a referència l'articulació *SpineMid*, el centre de la columna vertebral, i tenint en compte l'alçada i l'amplada de la pantalla per on es mostra la imatge de la Kinect, es recalculen les coordenades de totes les articulacions per tal que ocupin el mateix lloc de referència.

Amb aquesta normalització de les coordenades feta ja es pot comparar els moviments, ja que totes les coordenades estan centrades a la mateixa referència.

L'aplicació compararà el moviment del pacient amb tots els models correctes i incorrectes i buscarà la similitud més gran entre ells. Si un cop comparat el moviment del pacient amb tots els models la similitud és major amb els models correctes mostrarà el missatge que s'ha realitzat correctament ("Molt bé!!"). Si, en canvi, la similitud més gran del moviment del pacient és amb els models incorrectes, mostrarà el missatge que s'ha realitzat incorrectament ("S'ha de millorar").

6. RESULTATS

A partir d'un conjunt d'exercicis proposats pels experts mèdics, es volia fer una aplicació basada amb la Kinect que permetés avaluar la similitud d'aquests models amb els exercicis realitzats pel pacient, comprovant si es realitzen correctament o no.

Com s'ha pogut veure en els dos punts anteriors de la memòria (punt 4 i punt 5), s'ha pogut integrar tot dins d'un sol prototip d'aplicació, que permet al pacient realitzar un exercici, havent vist prèviament un vídeo de com realitzar-lo, i veure si ho ha fet correctament o no. També permet al metge realitzar models d'exercicis correctes i incorrectes.

Tanmateix s'ha aconseguit que l'aplicació reconegui correctament els moviments del pacient i dibuixi l'esquelet sobre la imatge en temps real. En la Figura 40 es poden veure quatre moments del moviment del cos humà amb l'esquelet dibuixat correctament a sobre. Com es veu, les articulacions dibuixades estan sobre les articulacions reals de la persona.

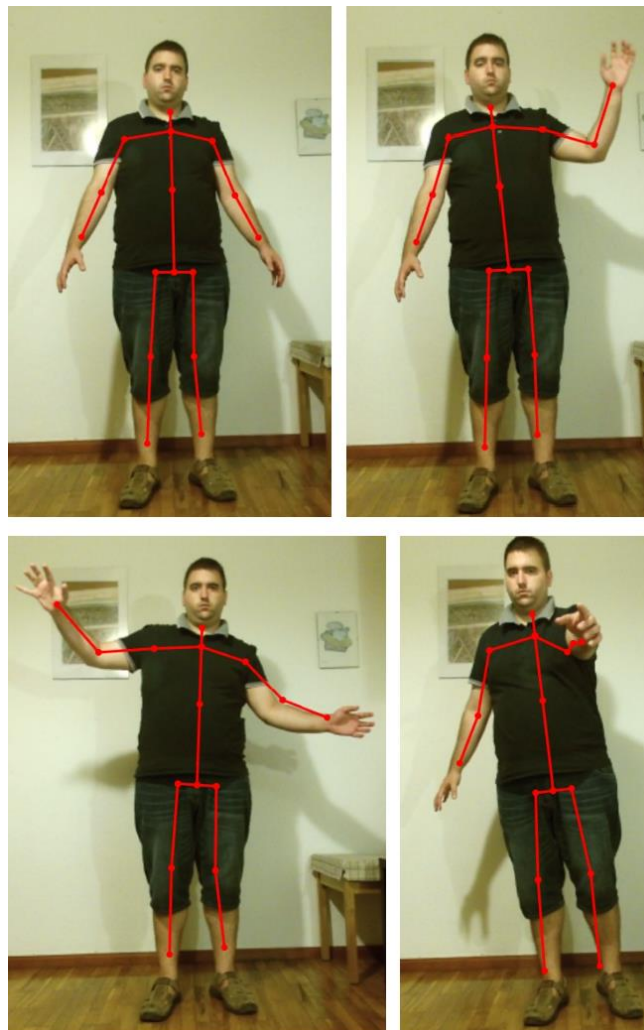


Figura 40: Exemple de com l'aplicació detecta el moviment

En els resultats s'avaluarà també l'eficàcia de l'aplicació per detectar si un pacient realitza els exercicis correctament o incorrectament. Per fer això s'ha agafat a 3 persones. Com que no s'ha pogut, de moment, fer la prova amb pacients ni trobar tres persones amb dificultats de mobilitat que em poguessin ajudar, he optat per buscar tres persones de diferents edats. Així doncs els resultats s'han obtingut amb una persona de 7 anys (Persona 1), una persona de 42 anys (Persona 2) i una persona de 76 anys (Persona 3). S'ha provat amb elles l'aplicació, fent realitzar a cada persona fins a 3 cops el mateix exercici. Veiem si el fan correctament o incorrectament i que detecta l'aplicació i ho anotem [Taula 5, Taula 6 i Taula 7].

Avaluació Persona 1			
Exercici	Realització	Aplicació	Comentaris
1	Incorrecta	Incorrecta	
1	Correcta	Correcta	
1	Correcta	Correcta	
2	Correcta	Correcta	
2	Incorrecta	Correcta	Aixecar poc la cama
2	Correcta	Correcta	
3	Correcta	Correcta	
3	Correcta	Correcta	
3	Correcta	Incorrecta	Error posició inicial per alçada
4	Correcta	Incorrecta	Error posició inicial per alçada
4	Correcta	Incorrecta	Error posició inicial per alçada
4	Correcta	Incorrecta	Error posició inicial per alçada
5	Correcta	Correcta	
5	Correcta	Correcta	
5	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
8	Correcta	Correcta	
8	Incorrecta	Incorrecta	
8	Incorrecta	Correcta	Aixeca massa la cama
9	Correcta	Correcta	
9	Incorrecta	Incorrecta	
9	Correcta	Correcta	
10	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
10	Incorrecta	Incorrecta	
10	Correcta	Incorrecta	No detecta la cama
11	Correcta	Correcta	
11	Correcta	Incorrecta	No detecta la cama
11	Correcta	Correcta	

Taula 5: Resultats Persona 1

Avaluació Persona 2			
Exercici	Realització	Aplicació	Comentaris
1	Incorrecta	Correcta	Aixecat massa la cama
1	Correcta	Correcta	
1	Correcta	Correcta	
2	Incorrecta	Correcta	No ha aixecat prou la cama
2	Correcta	Correcta	
2	Incorrecta	Incorrecta	
3	Incorrecta	Incorrecta	
3	Correcta	Correcta	
3	Correcta	Correcta	
4	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
4	Incorrecta	Incorrecta	
4	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
5	Correcta	Correcta	
5	Correcta	Correcta	
5	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
6	Incorrecta	Correcta	No arriba a l'angle correcte
7	Incorrecta	Incorrecta	
7	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
8	Correcta	Correcta	
8	Correcta	Correcta	
8	Incorrecta	Incorrecta	
9	Correcta	Correcta	
9	Correcta	Correcta	
9	Correcta	Correcta	
10	Incorrecta	Incorrecta	
10	Correcta	Correcta	
10	Correcta	Correcta	
11	Incorrecta	Incorrecta	
11	Incorrecta	Incorrecta	
11	Incorrecta	Incorrecta	

Taula 6: Resultats Persona 2

Avaluació Persona 3			
Exercici	Realització	Aplicació	Comentaris
1	Correcta	Correcta	
1	Correcta	Correcta	
1	Correcta	Correcta	
2	Correcta	Correcta	
2	Correcta	Correcta	
2	Correcta	Correcta	
3	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
3	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
3	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
4	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
4	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
4	Correcta	Incorrecta	No detecta bé la cama
5	Correcta	Correcta	
5	Correcta	Correcta	
5	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
6	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
7	Correcta	Correcta	
8	Correcta	Correcta	
8	Correcta	Correcta	
8	Correcta	Correcta	
9	Correcta	Correcta	
9	Correcta	Correcta	
9	Correcta	Correcta	
10	Correcta	Correcta	
10	Correcta	Correcta	
10	Correcta	Correcta	
11	Incorrecta	Incorrecta	
11	Correcta	Correcta	
11	Correcta	Correcta	

Taula 7: Resultats Persona 3

Un cop es té les tres taules amb les dades obtingudes es procedeix a analitzar-les. Es farà tres anàlisis diferents: primer per cada una de les persones, després per cada un dels exercicis i, finalment, una anàlisi global.

Per cada una de les anàlisis es podrà donar un percentatge d'encert de l'aplicació i un percentatge d'error i, juntament amb els comentaris que s'han anotat a la taula quan l'aplicació ha errat en la detecció, es podrà obtenir uns resultats sobre l'eficàcia de l'aplicació i es podran buscar solucions per millorar.

Anàlisi per persona

Cada persona ha realitzat 3 cops cada un dels exercicis, per tant ha realitzat un total de 33 exercicis. En la següent taula [Taula 8] mostrem els encerts (cops que l'aplicació encerta) i els errors (cops que l'aplicació no encerta) i calculem el percentatge.

Persona	Encerts	Errors	Percentatge Encerts	Percentatge Errors
Persona 1	24	9	72'73%	27'27%
Persona 2	28	5	84'85%	15'15%
Persona 3	27	6	81'82%	18'18%

Taula 8: Resultats per persona

Anàlisi per exercici

Cada persona ha realitzat 3 cops cada exercici, per tant cada exercici s'haurà fet 9 cops. Com s'ha fet anteriorment, mostrem els encerts i els errors i calculem els percentatges per cada un d'ells [Taula 9].

Exercici	Encerts	Errors	Percentatge Encerts	Percentatge Errors
Exercici 1	8	1	88'89%	11'11%
Exercici 2	7	2	77'78%	22'22%
Exercici 3	5	4	55'56%	44'44%
Exercici 4	1	8	11'11%	88'89%
Exercici 5	9	0	100%	0%
Exercici 6	8	1	88'89%	11'11%
Exercici 7	9	0	100%	0%
Exercici 8	8	1	88'89%	11'11%
Exercici 9	9	0	100%	0%
Exercici 10	7	2	77'78%	22'22%
Exercici 11	8	1	88'89%	11'11%

Taula 9: Resultats per exercici

Anàlisi global dels resultats

En total s'han realitzat 99 exercicis. S'analitza els encerts i els errors de l'aplicació per detectar si l'exercici s'ha fet correctament o incorrectament.

Encerts	Erroros	Percentatge Encerts	Percentatge Erroros
79	20	79'80%	20'20%

Taula 10: Resultats globals

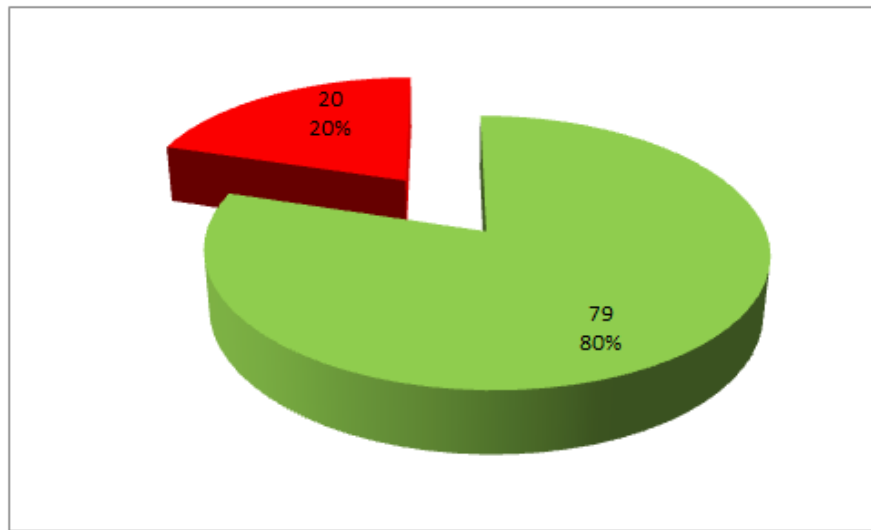


Figura 41: Gràfica amb el percentatge d'encert i d'error global de l'aplicació

Un cop fets els càlculs podem veure que la fiabilitat de l'aplicació és molt alta (superior al 80%).

El que podem veure, però, és que en dos exercicis la fiabilitat disminueix molt, en els exercicis 3 i 4. Aquests dos exercicis són en els que el pacient ha d'aixecar la cama, mentre està assegut en una cadira. El supòsit de per què el percentatge de fiabilitat disminueix en els exercicis 3 i 4 és la falta de llum.

Es vol comprovar si el supòsit de la llum pot ser real. Per això es tornarà a fer l'exercici. Aquest cop el realitzaré jo. Busco un lloc amb un fons molt clar, per poder diferenciar bé les parts del cos.

Realitzo l'exercici [Figura 42] i el que es pot veure és que inicialment sí que detecta totes les articulacions, tot i que la del peu no està exactament al lloc, però s'apropa molt (imatge de l'esquerra). Però un cop comença l'exercici deixa de detectar l'articulació del peu i detecta la pota de la cadira en el seu lloc (imatge de la dreta). Com que no detecta l'articulació del peu correctament, l'aplicació donarà l'exercici per erroni, encara que es realitzi bé, com ha passat en molts dels casos realitzats anteriorment, perquè creurà que el pacient no ha aixecat la cama en cap moment i la semblança del moviment serà més elevada amb un dels models incorrectes.



Figura 42: Realització de l'exercici amb mala detecció de les articulacions

Després de fer la prova en un lloc amb força llum veiem que segueix passant el mateix. Inicialment detecta bastant bé l'articulació, però després, quan es comença a moure la cama, deixa de detectar-la. Un supòsit, seguint amb el de la llum, és que en haver-hi la cadira genera una ombra a la part més baixa, just on hi ha el peu. Per això pot ser que deixi de detectar-lo i, en el seu lloc, detecti la pota de la cama, que rep directament la llum i no té cap ombra.

Es baixa la posició de la Kinect per tal que només es vegi la paret blanca de fons i es torna a realitzar l'exercici [Figura 43].

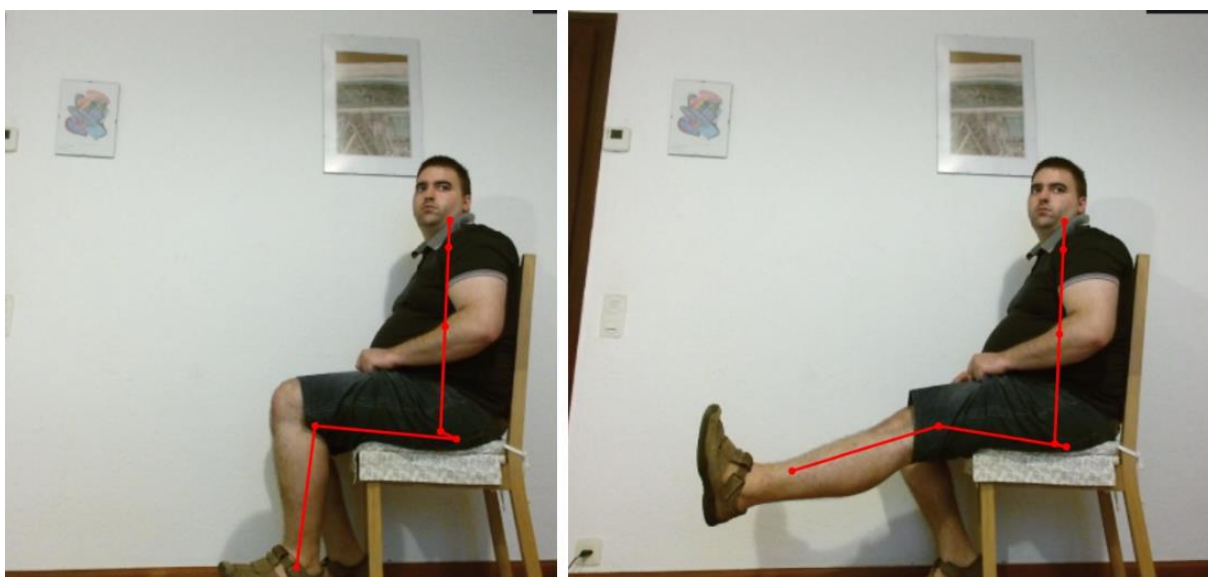


Figura 43: Realització de l'exercici amb bona detecció de les articulacions

Ara podem veure com detecta l'articulació del peu a l'inici, tot i que el peu està al límit de la pantalla (imatge de l'esquerra). També podem veure que, un cop comença l'exercici, segueix detectant l'articulació del peu (imatge de la dreta), encara que l'articulació no la detecti en el lloc exacte, però la trajectòria serà la mateixa.

Un cop realitzat l'exercici amb la Kinect situada en llocs diferents veiem que els errors de l'aplicació en detectar si l'exercici es feia correctament o no podrien haver estat provocats per falta de llum o per falta de claror darrera de la persona que els realitzava. Com es pot veure, amb llum i amb un fons completament blanc s'ha pogut detectar bastant bé la posició [Figura 43], cosa que no ha passat quan una part del fons era fosca [Figura 42].

A part del tema de llum, hi ha una altra causa que ha pogut fer que l'aplicació hagi errat en els exercicis realitzats per la Persona 1. Com s'ha dit anteriorment, la Persona 1 és una persona de només 7 anys, el que fa que lògicament la seva alçada sigui inferior a una persona adulta. Aquesta diferència d'alçada ha fet que la Kinect tingui alguns problemes per detectar algunes articulacions, sobretot les de la part inferior del cos, que són les que més es fan servir en els exercicis realitzats. Tanmateix, la persona de 7 anys és un exemple força extrem pel que fa a termes d'escala i molt rarament algú d'aquesta alçada haurà de realitzar els exercicis.

Els altres errors que es veuen són errors en què el pacient fa l'exercici malament, perquè aixeca massa la cama o no l'aixeca el suficient, però l'aplicació li dona per bo. Això es pot solucionar adquirint més moviments amb els quals comparar, o adquirir uns moviments erronis diferents dels adquirits anteriorment.

7. CONCLUSIONS

7.1. Conclusions

L'objectiu d'aquest treball era desenvolupar un prototip basat en la Kinect que ajudi als equips multidisciplinaris a controlar la rehabilitació dels pacients amb Esclerosi Múltiple. Es pretenia desenvolupar un sistema informàtic per ajudar a fer un seguiment i un control de la rehabilitació, a partir d'un conjunt d'exercicis proposats pels experts mèdics.

Per arribar a l'objectiu s'havia de realitzar diferents tasques:

- Estudi de la Kinect.
- Selecció dels exercicis adients.
- Adquisició dels moviments correctes i incorrectes.
- Mostrar l'exercici a realitzar al pacient.
- Adquisició dels moviments del pacient.
- Comparació de moviments.
- Càlcul dels resultats / avaluació del prototip.

Veient l'objectiu que tenia el treball i les tasques que s'havien de realitzar per arribar i que s'han fet, es pot concloure que s'ha aconseguit complir aquest objectiu de manera satisfactòria.

Ha requerit molt estudi previ i molt treball per comprendre els diferents programes i llibreries utilitzats, però han ajudat molt a simplificar el treball.

Ha sigut un treball molt interessant que m'ha permès aprendre nous conceptes respecte als dispositius de visió per computador. També m'ha permès conèixer nous llenguatges i nous programes, ja que fins ara no havia utilitzat res del que he fet servir, ni llenguatges ni programes (C#, XAML, Unity...).

Una altra cosa positiva que m'emporto del treball ha estat l'oportunitat de realitzar-lo dins del Grup de Visió per Computador i Robòtica de la Universitat de Girona i ser el primer dins del grup de recerca que ha treballat amb la Kinect.V.2.0. Posteriorment es van incorporar dos estudiants de màster per fer el seu treball també amb la Kinect i sobre la captura de moviments, fet que m'ha servit per aprendre coses noves.

7.2. Dificultats trobades

Duran la realització del treball s'han trobat alguns problemes, que s'han pogut solucionar:

- Els exercicis en què el pacient estava lateralment a la Kinect provocaven molts problemes per detectar les articulacions, per això es van haver de descartar i agafar els exercicis que es poguessin fer amb el pacient estant de cara a la Kinect o estant lateralment, però movent només la cama o el braç més proper al sensor.
- Va costar molt trobar informació de com crear, i bé, els vídeos per mostrar al pacient com havia de realitzar l'exercici. Van ser moltes setmanes de buscar informació, fer proves i, sobretot, intentar entendre el manual de Unity per fer-lo funcionar. I un cop ja se sabia fer funcionar el Unity, esbrinar com gravar els vídeos o capturar imatges per després generar el vídeo.
- Un cop l'aplicació ja anava prenent forma va haver-hi un problema molt important pel que fa a la velocitat, ja que a la vegada havia de mostrar la imatge en temps real, dibuixar l'esquelet a sobre del cos humà, escriure les coordenades en el fitxer o calcular-les... i això provocava que la imatge es parés i/o que en prémer a un dels botons de l'aplicació trigués molt a respondre a l'acció. Per solucionar això el que es va fer va ser crear subprocessos que realitzessin algunes accions, concretament el compte enrere d'ençà que prems el botó d'inici fins que comença a capturar moviments i també el càlcul del resultat.
- L'altre problema que s'ha tingut i que s'ha vist en els resultats [apartat 6], ha estat la llum de l'espai on es realitza l'exercici. No és fàcil trobar la llum adequada ni el lloc òptim per realitzar els exercicis.

7.3. Treball futur

L'aplicació té una sèrie de possibles millores que es podrien realitzar en un futur:

- Guardar l'usuari a la base de dades i crear rols de pacient i metge.
- Guardar tots el moviment a la base de dades, tant els models de referència com els exercicis realitzats pel pacient.
- Fer que l'aplicació, a partir de com realitza uns exercicis el pacient i tenint en compte els paràmetres que indiqui el metge, sigui capaç de recomanar uns exercicis o uns altres al pacient.
- Generar informes per al metge sobre el pacient.
- Guardar tota l'evolució del pacient a la base de dades i de forma molt accessible.
- Poder reproduir els exercicis que ha fet el pacient al costat dels models correctes i comparar-los visualment.

8. BIBLIOGRAFIA

1. *Esclerosi Múltiple España*: Entitat sense ànim de lucre amb la finalitat de promocionar tota classe d'accions i activitats assistencials, sanitàries i científiques per millorar la qualitat de vida de les persones amb Esclerosi Múltiple [Internet]. Disponible a <http://www.esclerosismultiple.com/>
2. *Innovación&Investigación. Fundación Esclerosi Múltiple Eugenia Epalza Fundazioa, Esclerosi Múltiple Euskadi*: Entitat sense ànim de lucre amb la finalitat de millorar la qualitat de vida de les persones amb Esclerosi Múltiple a Euskadi [Internet]. Disponible a: <http://www.esclerosismultipleeuskadi.org/category/actualidad-y-publicaciones/innovacion-investigacion/>
3. *Code and data. Dr.Sergio Escalera*: Professor de la Universitat de Barcelona. Codis i Dades de projectes fets amb Kinect [Internet]. Disponible a: <http://sergioescalera.com/code-and-data/>
4. *Kinect para Windows*: Web de Microsoft amb el SDK de Kinect i amb informació i dades per programar amb la Kinect [Internet]. Disponible a: <https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect>
5. *Manual de Unity*: Manual sobre l'ús del Unity i els seus serveis associats [Internet]. Disponible a: <http://docs.unity3d.com/es/current/Manual/index.html>
6. *Kinect for Windows 2. Color, Depth and Infrared Streams. Vangos Pterneas*: CEO i Co-fundador de LightBuzz, agència software que crea aplicacions potents per a Kinect, dispositius mòbils i webs. Projectes realitzats amb la Kinect [Internet]. Disponible a: <http://pterneas.com/2014/02/20/kinect-for-windows-version-2-color-depth-and-infrared-streams/>
7. *Primera prueba con Kinect SDK. Davamix*: Com fer funcionar la Kinect amb Windows [Internet]. Disponible a: <https://davamix.wordpress.com/2011/06/22/primera-prueba-con-kinect-sdk/>
8. *Kinect for Developers*: Blog sobre la Kinect per a programadors [Internet]. Disponible a: <http://www.kinectfordevelopers.com/>
9. *Manual de lenguaje C#*: Manual sobre el llenguatge C#, creat per Microsoft [Internet]. Disponible a: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/zkxk2fwf\(v=vs.90\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/zkxk2fwf(v=vs.90).aspx)
10. *JointType Enumeration*: Classe que conté les diferents articulacions que detecta la Kinect i la seva numeració [Internet]. Disponible a: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtype.aspx>
11. Méndez Corral, Asier. *Correcció postural utilitzant un sensor Kinect* [PFG]. Girona: Universitat de Girona; 2014.

9. ANNEXOS

9.1. Manual d'usuari

Instal·lació

- Col·locar el sensor sobre una taula o superfície plana on no pugui caure durant el seu ús. I on l'usuari disposi d'espai suficient per realitzar els exercicis.
- Connectar el sensor Kinect a través d'un port USB 3.0. a l'ordinador personal.
- Executar l'arxiu binari MSRAPP.EXE

Requisits mínims

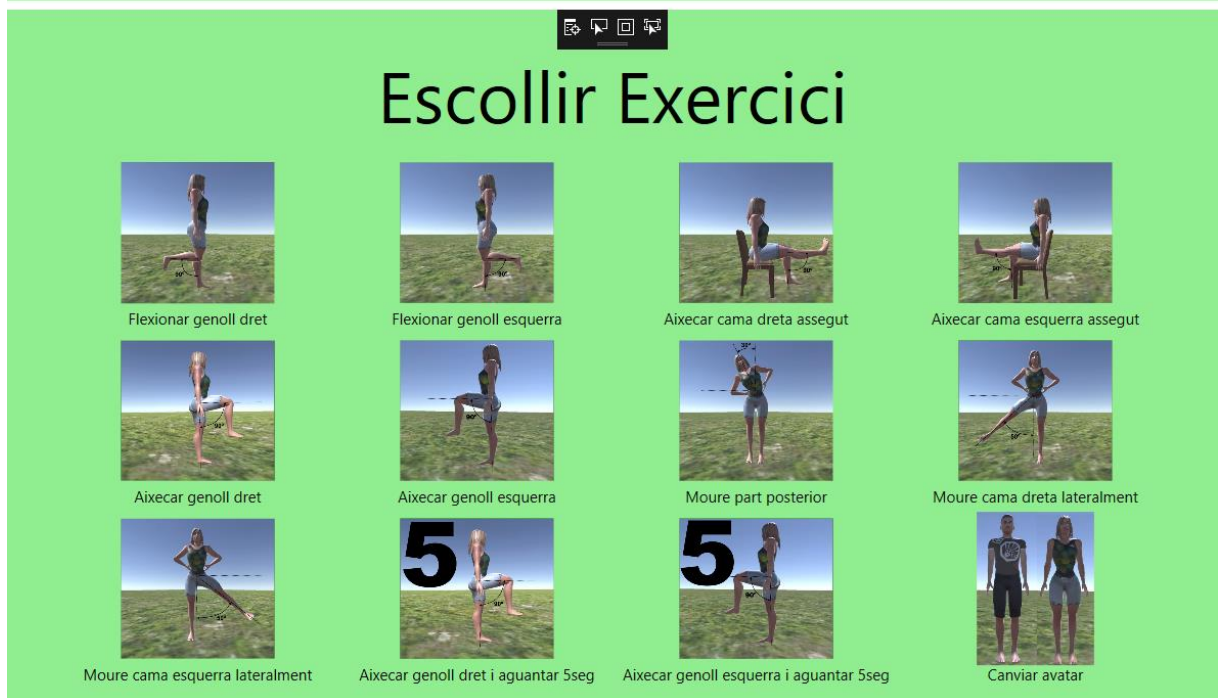
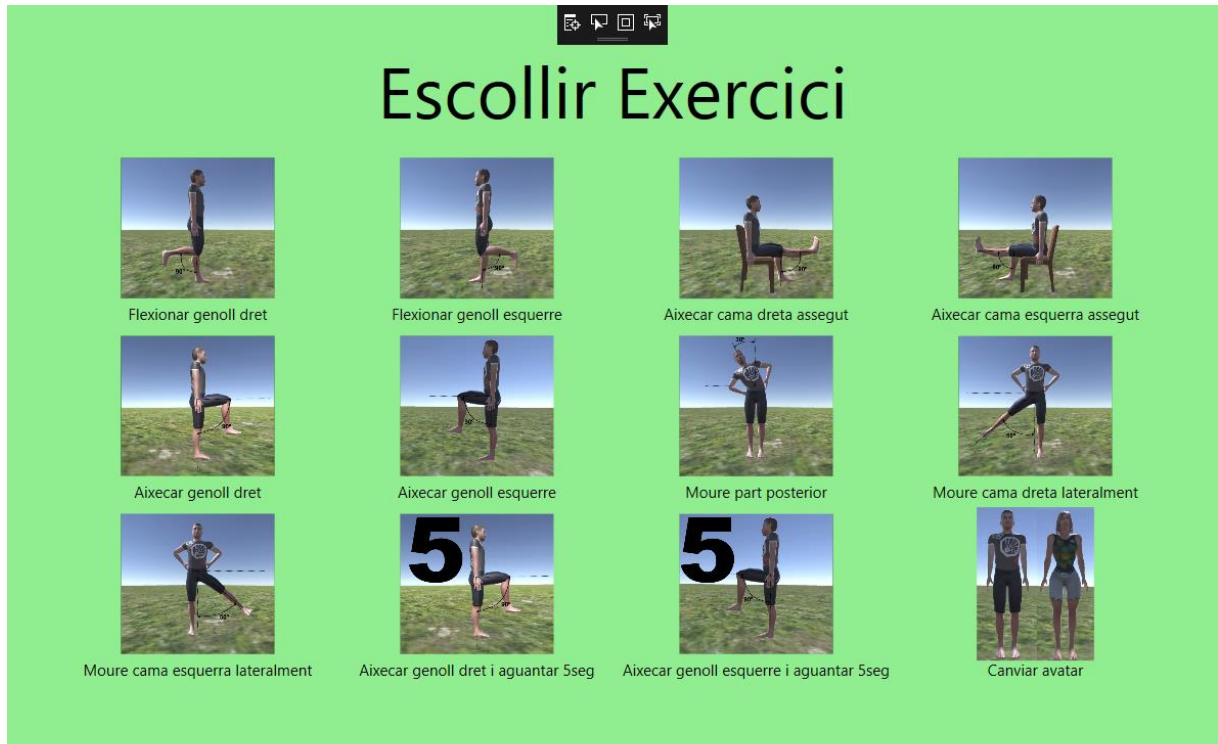
- Sistema Operatiu Windows 8 o superior
- Processador dual-core 3'1 GHz
- Port USB 3.0.
- Targeta gràfica DirectX11
- 64 bits

Funcionament de l'aplicació

Primer de tot haurà d'escollir quin avatar vol. Hi ha dues opcions, un noi i una noia. L'escollirà en la pantalla que es veu a continuació:

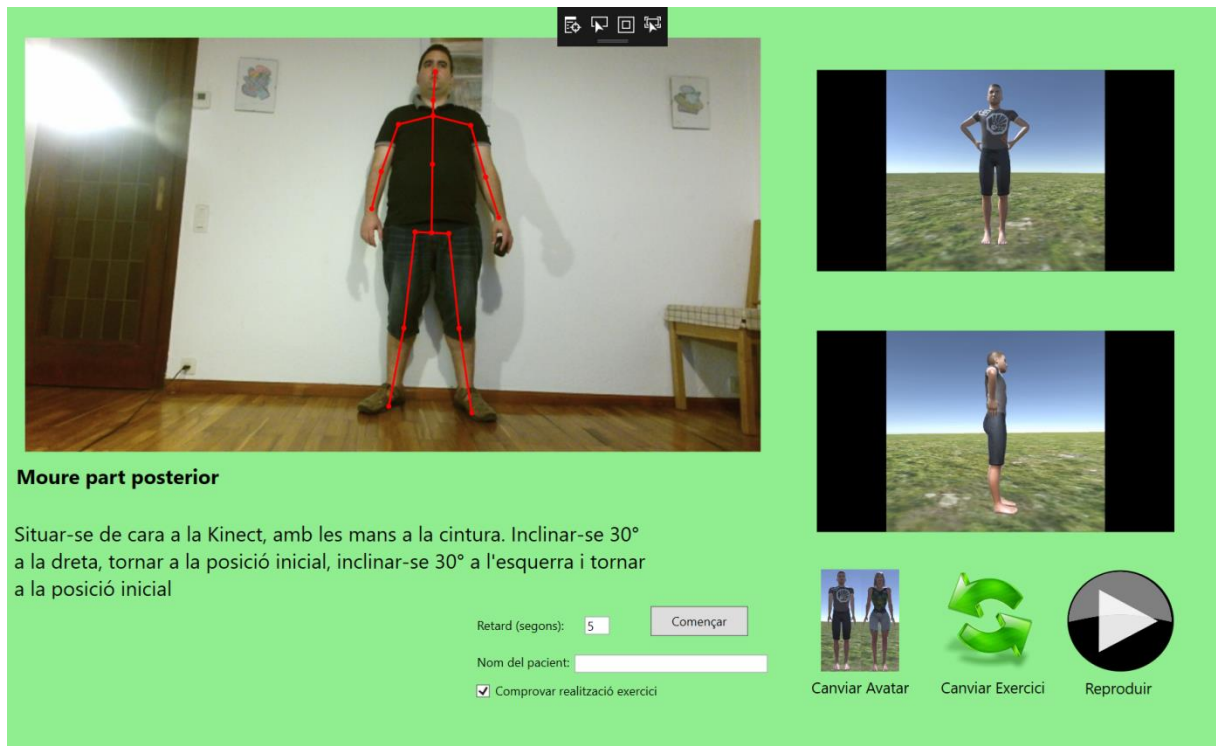


Un cop escollit l'avatar haurà d'escollir l'exercici. La pantalla per escollir l'exercici varia en funció de quin avatar hagi escollit. La pantalla serà una de les següents:



En la pantalla apareixen els botons dels 11 exercicis que es poden realitzar. El botó de baix a la dreta és per si es vol canviar l'avatar.

Un cop escollits l'avatar i l'exercici l'aplicació li mostrarà la pantalla on realitzar l'exercici:



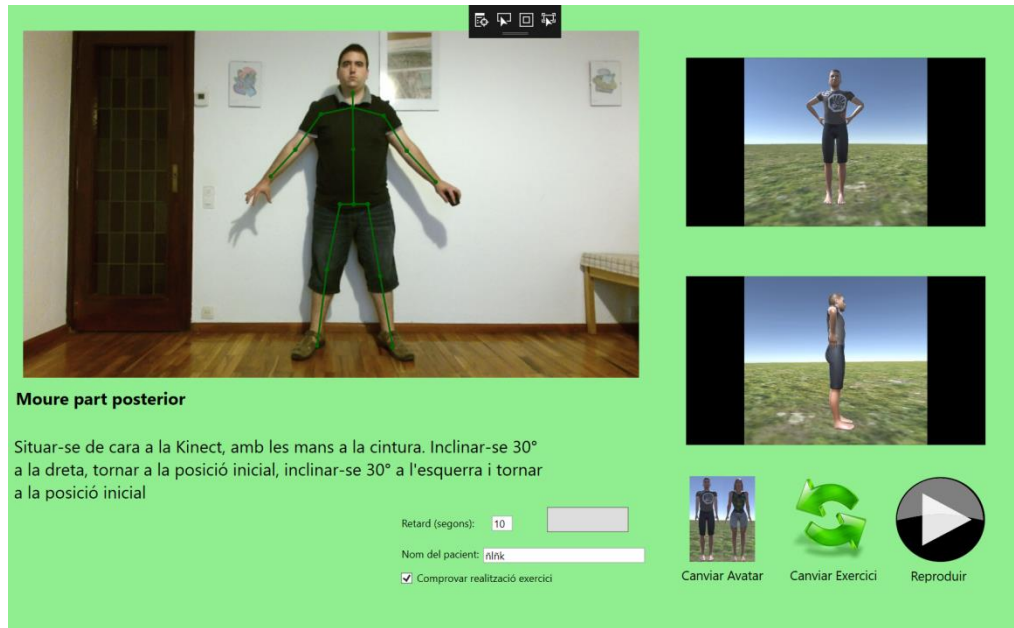
A la banda superior, a la dreta, hi ha dos vídeos on es veu a l'avatar que ha escollit realitzant l'exercici. Sota els vídeos hi ha tres botons, un és per canviar l'avatar (mantenint el mateix exercici), l'altre per canviar l'exercici (mantenint el mateix avatar) i l'altre per tornar a reproduir els vídeos.

A la part esquerra hi ha la imatge que reproduïx la Kinect, en directe, amb les articulacions i l'esquelet dibuixats a sobre el cos, de color vermell. Es veuen dibuixades només les articulacions que s'utilitzen en l'exercici seleccionat. A sota hi ha el nom de l'exercici i una descripció de com l'ha de fer.

Un cop sap com es fa l'exercici, haurà d'introduir el nom a la casella indicada amb *Nom del pacient*. També haurà d'indicar els segons de retard d'ençà que prem el botó d'inici fins que es comença a realitzar l'exercici, així podrà col·locar-se a la posició inicial. Aquesta casella s'indica amb el nom de *Retard (segons)*. Si no indica temps, aquest serà per defecte de 5 segons.

Un cop hagi entrat el nom i els segons de retard prem el botó *Començar*. Un cop el premi el text que apareix al botó desapareixerà, per indicar-li que l'has premut. Té els segons que has introduït per col·locar-se a la posició inicial per realitzar l'exercici.

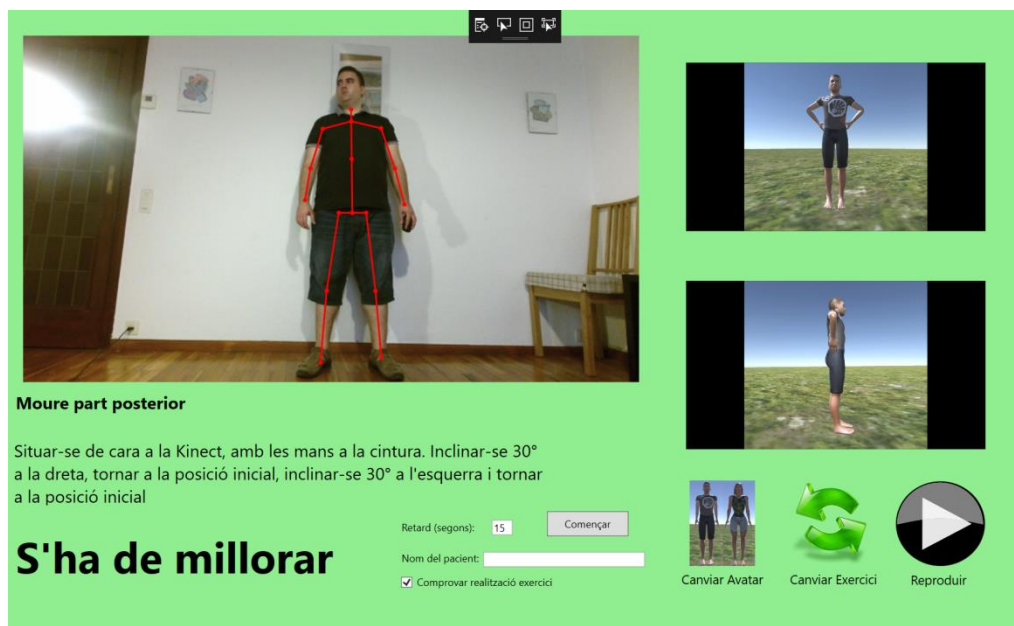
La distància òptima entre vostè i el sensor és d'entre 1'8m i 2m.



L'esquelet es tornarà de color verd per indicar que pot començar l'exercici. Fes l'exercici el millor que puguis.

Un cop hagi completat l'exercici, aproxima't al sensor, fins que l'esquelet torni a ser de color vermell. No cal aproximar tot el cos, només amb una part d'ell ja n'hi ha prou.

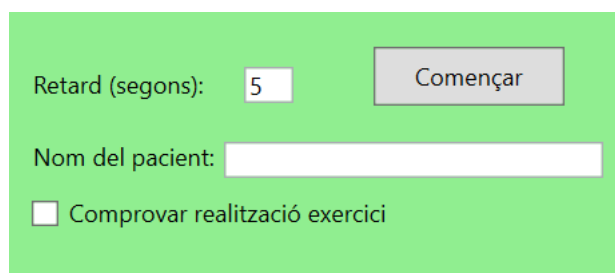
Un cop detecti que ha acabat l'exercici comprovarà si l'ha realitzat correctament o no i mostrarà un missatge a la part inferior esquerra, just a sota de la descripció de l'exercici.



Si ha realitzat correctament mostrarà el missatge "Molt bé!!". Si no ha realitzat correctament mostrarà el missatge "S'ha de millorar".

En cas de ser metge

En cas de ser metge i desitjar adquirir nous models de moviments correctes i/o incorrectes el que ha de fer és, abans de prémer el botó *Començar*, desmarcar la casella de selecció *Comprovar exercici realitzat*.



Retard (segons):

Nom del pacient:

Comprovar realització exercici

Desmarcant aquesta casella l'aplicació guardarà els teus moviments, seguint els passos vists anteriorment, però un cop finalitzi l'exercici no el comparà amb els models correctes i incorrectes existents.