



TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

THM

**CAMPUS
FRIEDBERG**

MND

Mathematik, Naturwissenschaften
und Datenverarbeitung

Konzeption, Implementierung und Evaluation eines Algorithmus zur Bestimmung der Gelenkrotationen anhand von Kinect-Daten

Studiengang Medieninformatik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

André-Michael Wißner

geb. in Gießen

durchgeführt am

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Darmstadt

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk
Korreferent der Arbeit: Dipl.-Math. Sabine Langkamm
Betreuer am IGD: Dipl.Math.-Techn., M.Sc. Holger Graf

Friedberg, 2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Bachelor-Thesis unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Cornelius Malerczyk, der mich durch seine hilfreichen Anregungen, seine Geduld und sein technisches Wissen immer wieder während meines Studiums, meiner Praktikumsphase und meiner Bachelorphase unterstützt hat und Frau Dipl.-Math. Sabine Langkamm, die mir während meines Studiums mit wegweisenden und unterstützenden Ratschlägen zu Seite stand. Danken möchte ich auch Dr. Ing. Ulrich Bockholt und Dipl. Math.-Techn. M.Sc. Holger Graf, die mich in meiner Praktikumsphase beim IGD-Fraunhofer und meiner Bachelorphase zu jeder Zeit unterstützt haben. Ein großer und besonderer Dank gebührt Frau Annke Rinn und Natalie Göpfert, die mich durch Korrekturen und Anregungen während meiner Bachelorphase tatkräftig unterstützt haben. Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir dieses Studium überhaupt erst ermöglicht haben und die mich auf meinem kompletten Weg begleitet und moralisch unterstützt haben.

Widmung

Diese Bachelor-Thesis widme ich meinen Eltern. Ohne sie wäre mein steiniger Weg durch mein Leben und somit auch mein Studium erst gar nicht möglich gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Widmung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau der Bachelorarbeit	6
1.2 Kurzfassung der Bachelorarbeit	7
2 Aktuelle Kamera- und Erfassungsmethoden	9
2.1 Erfassungstechnologien	9
2.1.1 Markerbasierte Erfassungssysteme	10
2.1.2 Markerlose Erfassungssysteme	11
2.2 Kamerasysteme zum Erfassen von Objekten und Körperbewegungen	13
2.2.1 Time-of-flight Kamerasystem	14
2.2.2 Das Kinect-System	16
3 Rotationseigenschaften	19
3.1 Berechnung der Eulerwinkel aus einer Rotationsmatrix	19
4 Entwicklung von zwei Algorithmen zur Schätzung von Rotationswinkeln	25
4.1 Schätzung der Rotationen über die Ebenenbildung an den Gelenksegmenten	25
4.1.1 Problematiken bei der Schätzung der Gelenkrotationen	25
4.1.2 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Sacroiliac-Knochen	26
4.1.3 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Kopfes	27
4.1.4 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation der Schulter	28
4.1.5 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Ellenbogens	28
4.1.6 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Hüftgelenks	29
4.1.7 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation der Kniegelenke	30

4.1.8	Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation der Fersengelenke . . .	30
4.2	Schätzung der Rotationen durch Betrachtung der orthogonalen Ansichten .	30
4.2.1	Vorgehensweise der Projektion auf die XY-Ebene	31
4.2.2	Vorgehensweise der Projektion auf die YZ-Ebene	31
4.2.3	Vorgehensweise der Projektion auf die XZ-Ebene	32
4.2.4	Mathematisches Verfahren zur Errechnung der Gelenkwinkel	32
4.3	Gegenüberstellung beider Algorithmus	34
5	Implementierung der Algorithmen	39
5.1	Entwicklung eines Regeleditors als Prototyp	41
6	Ergebnisse	45
6.1	Ergebnis der Gegenüberstellung beider Algorithmen	45
6.2	Auswertung der Gegenüberstellung	49
6.3	Evaluation der Genauigkeit bei der Erfassung von Daten mittels Kinect . .	50
7	Weitere Arbeiten	55
7.1	Zusammenfassung der Bachelorarbeit	55
7.2	Ausblicke auf mögliche weitere Arbeiten mit den Algorithmen	56
7.3	Ausblicke auf mögliche weitere Arbeiten mit dem Regeleditor	56
	Literaturverzeichnis	57

Abbildungsverzeichnis

1.1	Erfassung einer Körperpose mittels der Kinect	2
1.2	Erfassung von den gesetzten Marker/Reflektoren	3
1.3	Medizinische Mensch-Maschine-Interaktion	3
1.4	Aktives spielen des Forschungsprojekt Motivotion60+	4
1.5	Fehlermedlung beim Spielen des Forschungsprojektes Motivotion60+	5
2.1	Markerbasiertes Erfassen von zwei Sportler	11
2.2	Überlagerte Bildinformation in einem markerlosen Erfassungssystem	12
2.3	Tiefenbild eines Kamerasystem bei der Erfassung von Personen	13
2.4	Aufbau eines Time-of-flight-Kamerasystems	14
2.5	Tiefenbild einer Time-of-flight-Kamera	15
2.6	Steuerung einer Spielekosole mittels der Kinect	16
2.7	Kinect als Steuerung eines Wasserspiels	17
2.8	Sichtbares Infrarotgitternetz der Kinec	17
2.9	Schaubild zur Funktiosweise der Kinect	18
4.1	Das erfasste menschliche Skelett	27
4.2	Abbildung der Kopfrotation	28
4.3	Abbildung der Rotation um die Schulter	29
4.4	Abbildung der Rotation um den Ellenbogen	29
4.5	Abbildung der Projektion auf die XY-Ebene	31
4.6	Abbildung der Projektion auf die YZ-Ebene	32
4.7	Abbildung der ersten Pose	35
4.8	Abbildung der zweitem Pose	36
4.9	Abbildung der dritte Pose	37
4.10	Abbildung der vierte Pose	38
5.1	Abbildung des SkelettViewer	40
5.2	Abbildung der grafischen Objekte der Prototypen	40
5.3	Abbildung der grafischen Oberfläche des RegelEditors	42
5.4	Abbildung der grafischen Oberfläche der Konrollanzeige des RegelEditors	43

Tabellenverzeichnis

6.1	Resultate der ersten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen. . . .	47
6.2	Resultate der zweiten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen. . .	47
6.3	Resultate der dritten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen. . .	48
6.4	Resultate der vierten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen. . .	48
6.5	Resultate der fünften Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen. . .	49
6.6	Umrechnungstabelle der Entfernung zwischen der Kinect und dem Probanden .	51
6.7	Resultate der real gemessenen Knochenlängen zwischen den Gelenken.	52
6.8	Resultate der errechneten virtuellen Knochenlängen zwischen den Gelenken. . .	52

Kapitel 1

Einleitung

In der heutigen Zeit sitzen vermehrt viele Menschen während ihren Tätigkeiten an ihren Arbeitsplätzen, in der Schule oder auch im Studium über lange Zeiträume hinweg jeden Tag am Computer und bekommen dadurch immer weniger Bewegung. Um der Tendenz zum Bewegungsmangel entgegen zu wirken, besteht die Möglichkeit, dass diese Menschen eine Computeranwendung benutzen, die ihnen hilft sich von zu Hause aus, ohne sich beispielsweise in ein Fitnessstudio begeben zu müssen, fit halten zu können. Diese Art des Fitnessstrainings spielt nicht nur für junge Menschen, sondern gerade auch besonders für die älteren Generation, die, auf Grund des medizinischen Fortschrittes, immer älter werden, eine große Rolle.

Es gibt nun verschiedene Einrichtungen und Forschungsgruppen die sich mit diesem Thema auseinandersetzen und Anwendungen zum körperlichen Fit-Halten für den Heimgebrauch oder für den betreuten Gebrauch entwickeln oder entwickelt haben. Eine solche Computeranwendung in diesem Bereich ist das Forschungsprojekt Motivation60+¹, entwickelt vom Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung² in Darmstadt.

Dieses Projekt wurde dafür entwickelt, dass sich ältere Menschen in betreuten Einrichtungen oder in betreuten Gruppen fit halten können. Der Benutzer dieser Software soll sich durch das Spielen der Anwendung körperlich und geistig fit halten können. Dabei wurde das Projekt so aufgebaut, dass der Anwender spielerisch eine Weltreise erlebt. Auf diese Reise gibt es verschiedene Etappen die wiederum verschiedene Anforderungen an den Benutzer stellt. Diese Anforderungen bestehen in dieser Anwendung aus verschiedenen Spielen, die von dem Benutzer erledigt werden sollen. Dabei sind die Aufgaben innerhalb dieser Spiele unter anderem das Fliegen eines Flugzeuges, das Ausweichen von Tauben, die am Boden dem Spieler entgegen laufen oder ein Wagenrennen im alt römischen Stil. Das besondere bei diesem Projekt ist, dass die Steuerung der Anwendung und somit der Spiele durch entsprechend geforderte Körperbewegungen vor einem Kamerasystem geschehen soll.

¹<http://www.igd.fraunhofer.de/Institut/Abteilungen/Virtuelle-und-Erweiterte-Realität/Projekte/Motivotion-60>

²<http://www.igd.fraunhofer.de>

1. EINLEITUNG

Anders als bei herkömmlichen Konsolen oder Computerspielen ist das Besondere hierbei, dass die Interaktion mit der Anwendung bzw. mit dem Spiel ganz ohne technische Hilfsmittel wie Maus, Tastatur, Joystick oder anderen Geräten erfolgt, die sonst zur Steuerung von Anwendungen oder Spielen genutzt wurden. Hierbei soll die Interaktion allein durch die Bewegungen des menschlichen Körpers vor einem Kamerasystem stattfinden.

Für solch eine Art der Interaktion zwischen einem Computer und einer Person, wurde das

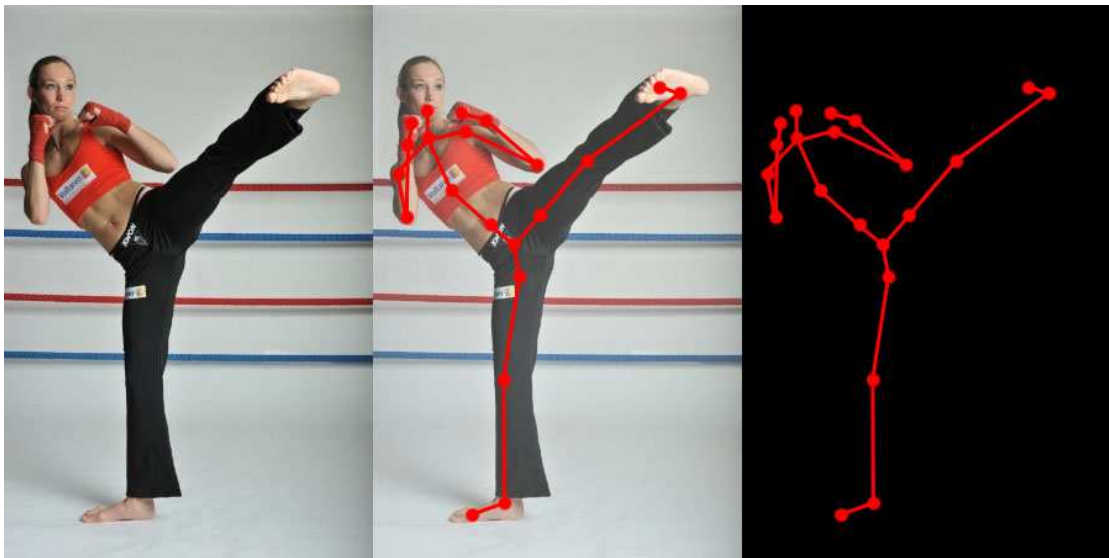


Abbildung 1.1: Erfassung einer Körperpose mittels Kinect und die Darstellung eines virtuellen Skeletts.

Foto(links/mitte): Voltaren/Uwe Fischer³

Kamerasystem Kinect von Microsoft entwickelt. Mit diesem Kamerasystem ist es möglich, die Körperposen und die Körperbewegungen zu erfassen. Die erfassten Posens und Bewegungen werden durch ein virtuelles Skelett am Computer repräsentiert. (Abbildung 1.1) Die gesammelten Informationen der erfassten Körperbewegung können dann beispielsweise für das Projekt Motivotion60+ verwendet werden, um die verschiedenen genannten Spiele auf der Weltreise steuern zu können.

Dabei ordnet man dieses Kamerasystem Kinect als Markerloses System ein. Dies bedeutet, man braucht an den Gelenken oder an den relevanten Stellen des Körpers keine Markierungen anzubringen. Diese Markierungen, wie sie in anderen Systemen verwendet werden, nennt man Marker oder man spricht auch von künstlichen Landmarken. Marker können kleine aufgeklebte schwarz/weiße Felder, reflektierende kleine Schilder oder auch aktive Leuchtquellen sein. Man nennt solche Systeme im Allgemeinen auch (engl.) Motion Capture. (Abbildung 2.1) Dadurch, dass man keine Zusatzgeräte oder Marker braucht, ist diese Kameratechnik



Abbildung 1.2: Erfassung einer Körperpose mittels Marker/Reflektoren.
Foto: New Line Productions, Inc.<http://www.newline.com>

nicht nur für die Unterhaltungsbranche interessant, sondern auch für die Wirtschaft und die Medizin. In der Medizin beispielsweise können benötigte Röntgenbilder während einer laufenden Operation durch Gesten oder Bewegungen der Hand gewechselt werden. Die folgenden Abbildungen zeigen eine solche Verwendung des Kamerasystems.[Cam12] (Abbildung 1.3)



Abbildung 1.3: Interaktion zwischen der Kinect und dem Computer.
Foto(Links): BGR - <http://www.de.bgr.com/2012/05/18/dr-kinect-bitte-in-den-op-saal/>
Foto(rechts): [Cam12]

Die Tendenzen für diese Art der Mensch-Maschine-Interaktion gehen immer mehr in die hier beschriebene Richtung. Dadurch, dass die Kameratechnik und somit die Erfassung von Körperposen, Bewegungen und Gesten immer genauer wird, werden immer mehr Branchen auf diese Technik aufmerksam.

1. EINLEITUNG

Damit nun Spiele oder Anwendungen, wie auch das Forschungsprojekt Motivotion60+, wissen wie sie auf Bewegungen zu reagieren haben, ist es erforderlich, Spiel- oder Anwendungsregeln zu definieren. Diese Regeln beschreiben, wie weit man beispielsweise eine Bewegung zur Steuerung eines Flugzeuges im Spiel ausüben muss. Dies dient dazu, die Bewegungen, wie z.B. die einer Kniebeuge oder das Ausbreiten der Arme so auszuüben, dass man sich von Zuhause aus ohne ärztlichen Rat und ohne Bedenken, sich durch falsche Ausführungen der Übungen eventuell schaden zu können, fit halten kann. (Abbildung 1.4)



Abbildung 1.4: Aktive Spielen des Forschungsprojektes Motivotion60+.
Foto: Forschungsprojekt Motivotion60+ des Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung

So ist es auch für die Anwendung Motivotion60+ zwingend erforderlich, solche Regeln zu erstellen. Diese Regeln beschreiben, in wie weit eine Bewegung ausgeübt werden soll, damit die Anwendung diese Bewegung als richtig erkennt und somit dem Benutzer beispielsweise das Steuern eines Flugzeuges erlaubt.

Als Beispiel für so eine Spielregel, soll aus der Anwendung Motivotion60+ ein Flugzeug durch Körperbewegungen gesteuert werden. Dazu könnte eine erstellte Regel wie folgt lauten.

Sie sollen auf ihrer Reise um die Welt, zwischen jeder neuen Etappe ein Flugzeug lenken. Dazu sollen Ihre Arme wie die Flügel eines Flugzeuges ausgebreitet bzw. hochgehalten werden. Dazu heben Sie die Arme in etwa in einem Winkel von 90° hoch. Dabei stehen die Beine und Füße parallel und schulterbreit auseinander. Die Knie haben dabei einen Öffnungswinkel von mindestens 170° , dies entspricht einer Körperhaltung im Stehen. Um das Flugzeug nun steuern zu können, müssen Sie mit ausgestreckten Armen eine seitliche Beugung des Oberkörpers von etwa 35° ausüben. Sollte nun eine dieser Bedingungen in der definierten Regel nicht mehr erfüllt sein, bekommt der Spieler einen Warnhinweis und das Spiel könnte angehalten werden, bis der Spieler wieder alle Bedingungen erfüllt hat.

Die Abbildung 1.5 zeigt eine Simulation des Flugzeugspiels aus dem Projekt Motivation60+ mit der zuvor beschriebenen Regel. Hier stimmt die Körperhaltung nicht mit der Regel überein und der Spieler bekommt die nötigen Informationen, die zur Korrektur der Körperhaltung notwendig sind.



Abbildung 1.5: Hier stimmt die Körperhaltung nicht mit der vordefinierten Regel überein und der Spieler bekommt die nötigen Informationen, die zur Korrektur der Körperhaltung notwendig sind.

Foto:

Bei der Erstellung solcher Regeln, in denen man verschiedene Gelenkwinkel angeben kann, die zur Überprüfung von Körperposen benutzt werden, stößt man bei dem Kamerasystem

Kinect auf ein Problem. Die Kinect liefert bei der Erfassung des menschlichen Skeletts und somit bei der Erfassung der Körperposen und Körperbewegungen nur die Koordinaten der einzelnen Gelenke. Dies bedeutet, dass bei der Erfassung nur die Positionen der Gelenke im Raum bestimmt werden. Somit erhält man für jedes Gelenk am menschlichen Skelett jeweils die X, Y und die Z-Koordinate.

Um nun aus den erfassten Gelenkkoordinaten Winkel bestimmen zu können, werden Vorgehensweisen benötigt, die aus den Gelenkpositionen Rotationswinkel schätzen bzw. errechnen können. Bei der Umrechnung der Gelenkpositionen zu Rotationswinkeln mittels der Mathematik, ist die Schätzung eines Rotationswinkels als Ergebnis nicht eindeutig, da es zu mehreren Ergebnissen kommen kann. Man ist mit dieser Vorgehensweise jedoch in der Lage für jedes Gelenk eigene passende Winkel zu ermitteln. Dazu werden in den kommenden Kapiteln zwei mögliche Varianten einer solchen Vorgehensweise vorgestellt.

Für solche Anwendungen wie Motivotion60+, die von Personen unter Betreuung genutzt werden können, sollen die Betreuer wie etwa das Fachpersonal, die Ärzte oder die Sportmediziner, für vorhandene Spiele wie z.B. das Fliegen des Flugzeuges Regeln erstellen oder ändern. Dazu soll dem Betreuer einer Gruppe von älteren Menschen bei der Benutzung einer solchen Anwendung wie Motivotion60+ ein Regeleditor zur Verfügung gestellt werden, mit dessen Hilfe es möglich sein soll, durch eine grafische Oberfläche neue oder schon bereits vorhandene Regeln erstellen oder ändern zu können.

1.1 Aufbau der Bachelorarbeit

Die Bachelorarbeit setzt sich nach dem einleitenden Kapitel aus folgenden Kapiteln zusammen.

Dem Kapitel Aktuelle Kamera und Erfassungstechnologien (Kapitel 2), in dem zwei Kamerasysteme vorgestellt werden und erläutert wird, welche erfolgreichen Erfassungstechnologien sich durchgesetzt haben. Nach diesem Kapitel folgt das Kapitel der Rotationseigenschaften (Kapitel 3). In diesem Kapitel wird speziell auf die Umrechnung von Rotationsmatrizen zu Eulerwinkeln eingegangen.

In den darauffolgenden Problematiken und Vorgehensweisen der Algorithmen (Kapitel 4) befindet sich der Schwerpunkt dieser Arbeit. Hier werden die Problematiken beider Algorithmen bei der Schätzung von Rotationswinkel bzw. die Ermittlung von Gelenkwinkel erläutert. Zudem erfolgt eine Gegenüberstellung beider Algorithmen in einem direkten Vergleich durch vorgegebene Körperposen. Hierbei soll ermittelt werden, wie genau die Ermittlung der Winkel beider Algorithmen ist und ob beide in etwa gleiche Werte oder ganz verschiedene Werte liefern.

Im Kapitel Implementierung der Algorithmen (Kapitel 5) geht es darum, die Algorithmen in eine vorhandene Anwendung einzubinden, durch Definition von Posen zu evaluieren und

einen der beiden Algorithmen zu visualisieren. In diesem Kapitel wird ebenfalls die Umsetzung eines Regeleditors als Prototyp behandelt.

Das darauffolgende Ergebniskapitel (Kapitel 6) befasst sich mit den Ergebnissen der Gegenüberstellung beider Algorithmen mit den zuvor in Kapitel 5 definierten Posen, und einer ersten Auswertung der Resultate aus der Gegenüberstellung. In diesem Kapitel folgt außerdem eine Evaluation der Kinect anhand von Messungen der Knochenlängen der Probanden. Dabei werden die real gemessenen Werte, mit den virtuell errechneten Werten verglichen.

Das letzte Kapitel (Kapitel 7) enthält die Zusammenfassung der Bachelorarbeit. Zudem wird es einen Ausblick auf die weitere Forschung und Evaluation der Algorithmen geben. Auch werden in diesem Kapitel Themen benannt, die im Rahmen der zeitlichen Möglichkeit in dieser Arbeit nicht behandelt werden können. Zusammenfassung

1.2 Kurzfassung der Bachelorarbeit

In dieser Bachelorarbeit werden Verfahren gezeigt, die durch Schätzungen Rotationswinkel ermitteln. Hierbei werden zwei alternative Algorithmen präsentiert, die sich mit der Ermittlung von Gelenkrotationen befassen.

Durch das Markerlose-Erfassungssystem Kinect von Microsoft, ist man in der Lage die Positionen der Gelenke zu ermitteln. Da die Kinect nur die Positionen ermitteln kann, wird ein Algorithmus gebraucht, der aus diesen Positionen Gelenkwinkel ermitteln kann. Die entwickelten Algorithmen können beispielsweise in das vorhandene Forschungsprojekt Motivation60+, entwickelt vom Forschungsprojekt Motivation60+ des Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung, in Darmstadt, eingebunden werden.

Das Projekt Motivation60+ befasst sich mit dem spielerischen fit Halten, von älteren Menschen ab 60 Jahren, das durch verschiedene Spiele in dem Projekt ermöglicht werden soll. Diese Spiele erfordern verschiedene Körperbewegungen, die vom Benutzer ausgeübt werden sollen. Dabei werden die Körperbewegungen mittels der Kinect erfasst und erlauben dadurch dem Spieler die Steuerung des Projektes.

Durch die Verwendung der Algorithmen ist man in der Lage Gelenkwinkel zu ermitteln. Diese Winkel können dann zur Überprüfung von Körperposen mit erstellten Spielregeln benutzt werden. Um Spielregeln zu erstellen oder vorhandene Regeln ändern zu können, soll in dieser Arbeit ein Regeleditor als Prototyp entwickelt werden mit dessen Hilfe das Erstellen oder Ändern solcher Regeln möglich gemacht wird. Neben der Implementierung der Algorithmen in vorhandenen Prototypen, werden die beiden Varianten durch eine Evaluation durch vordefinierte Posen verglichen. Dabei wird unter anderem auch die Genauigkeit der Kinect durch eine Evaluation getestet. Die Evaluation wird an Hand von zwei Probanden erfolgen.

Kapitel 2

Aktuelle Kamera- und Erfassungsmethoden

2.1 Erfassungstechnologien

Aktuell gibt es viele Forschungsprojekte oder Abschlussarbeiten, die sich mit der Erfassung des menschlichen Körpers befassen. Dabei gibt es verschiedene Arten, die aktuell für die Erkennung einer Körperbewegung oder einer Körperpose verwendet werden.

Zum einen gibt es die Erfassungsmethoden, die über Marker versuchen, aus den aufgenommen Bildern einer Kamera Bildinformationen zu sammeln. Eine andere Erfassungsmethode, versucht über die reine Bildverarbeitung und ohne Marker, Objekte und Personen zu erkennen. Dabei lautet der Oberbegriff für diese bildverarbeitende Methode Computer Vision.

Das bedeutet, dass man einen Algorithmus entwickelt, der die besten Eigenschaften des Gehirnes imitieren soll. Eine der besten Fähigkeiten des Gehirns ist die Eigenschaft Bilder aus der realen Welt aufzunehmen und zu interpretieren. Anders formuliert bedeutet es, dass die beste Eigenschaft des Gehirnes das räumliche Sehen ist.

Mit dieser Fähigkeit ist es möglich, Entfernungen zu schätzen. Nicht nur die Entfernung von Objekten zu uns, sondern auch die Schätzung von Entfernungen von Objekten zu Objekten. Wir sind auch in der Lage, Formen, Farben und Texturen zu erkennen und diese auch entsprechend wiederzugeben.

Nun könnte man diese Fähigkeit des Gehirns nutzen, um diese mit aktuellen Technologien und verschiedene Kamerasystemen zu imitieren. Weitere Details der 2D/3D Computer Vision Anwendungen geben [\[MG01\]](#) und [\[Gav99\]](#).

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, Körperbewegungen bzw. Körperposen erfassen zu können.

2.1.1 Markerbasierte Erfassungssysteme

Markerbasierte Erfassungssysteme erfassen die Körperbewegungen bzw. Körperposen über künstliche Landmarken. Bei der Erfassung werden ausschließlich die Marker erfasst und nicht der menschliche Körper. Dabei bestimmt man nicht nur die Positionen, sondern auch die Ausrichtung eines Objektes zur Kamera und der Person, welche das System verwendet. Diese Eigenschaften sind wichtig um aufgenommene Objekte mit virtuellen Informationen zu versehen.

Je nachdem wie genau man die erfassten Daten benötigt, werden zusätzlich im Gesicht und an der Hand Marker angebracht. Es gibt nun verschiedene Markersysteme, die zur Erkennung eines Objektes oder einer Person zum Einsatz kommen können. Zum einen gibt es aktive Lichtquellen, die bei der Erkennung genutzt werden, ein anderes System verwendet reflektierende Marker.

Beim Ablauf zur Erfassung eines Körpers gibt es einiges zu beachten. Es sollten unter anderem die Umgebungsverhältnisse geprüft werden. Welche Störfaktoren gibt es, gibt es Objekte, die stark reflektieren? Es spielt auch eine große Rolle, wie groß der Aktionsradius des Protagonisten ist.

Bei der Erfassung der Marker muss man eventuell die Marker nachträglich manuell am Computer setzen. Die Anpassung der Marker können durch Glättung oder Filterung der Daten geschehen.[BB06] Aufgenommene Bewegungen können manuell durch am Computer durch Keyframe Reduktion oder durch Verschmelzungen mehrerer Bewegungen nach gebessert werden. Dabei ist es nicht zwingend notwendig bei der Verwendung der bisher genannten Erfassungsmethode eine spezielle Kamera zu verwenden.

Diese Technologien werden immer öfter in der Film- und Computerspieleindustrie verwendet. Auf der folgenden Abbildung 2.1 sehen sie links einen Sportler, an dessen Körper Leuchtquellen angebracht wurden. Daneben ist das erfasste rekonstruierte virtuelle Skelett. Bei der Erfassung von Tiger Woods als Spielfigur für ein Golfspiel von EA¹, wurden ebenfalls aktive Lichtquellen verwendet.

Es gibt auch Marker die aus dem Bereich der erweiterten Realität kommen. Dabei erhält man über die erfassten Marker Zusatzinformationen. Diese Informationen können dazu verwendet werden, um aufgenommene Bilder mit Zusatzinformation zu versehen.[MBRS11][WS07][WS02]

¹<http://www.easports.com/games/tigerwoods2004/>



Abbildung 2.1: Die Abbildung zeigt die markerbasierte Erfassung von zwei Sportler. Hierbei werden die Bewegungen direkt am Coputer gespeichert.

Foto(links/mitte): MPG, <http://www.mpg.de/417325/zoom.jpeg>

Foto(mitte): Stuttgarter-Zeitung, <http://content.stuttgarter-zeitung.de>

Foto(rechts): EA Sports, <http://www.easports.com/tiger-wood>

2.1.2 Markerlose Erfassungssysteme

Die andere Erfassungsmethode arbeitet im Gegensatz zur markerbasierten Erfassungsmethode ohne künstliche Marken. Hierbei muss man keine Marker, Lichtsensoren, aktiven Lichtquellen, Reflektoren oder ähnliches an dem Körper anbringen.[CC03]

Das Verfahren arbeitet bildbasierend und versucht ausschließlich, die Positionsänderung und Posen von Körper oder auch Objekten über Bildverarbeitungs- und Computer Vision-Techniken zu bestimmen.[MBRS11][Gav99][Sze10] Dabei wird versucht, aus jedem aufgenommenen Bild die nötigen Bewegungsinformationen zu erkennen.

Ein Beispiel für eine Erfassung geben Dr.-Ing. Roman Calow und Prof. Bernd Michaelis. Hierbei wird versucht, die Körperbewegung über Tiefenbilder und Silhouetten zu erkennen. Dabei werden die erfassten Daten verwendet, um eine Analyse eines Ganges vorzunehmen.[DIRC08]

Ein weiteres Beispiel ist die Erkennung von Körperregionen. Dabei versucht man, die Körperregionen zu erkennen und mit zusätzlichen Informationen zu überlagern. Auf der Abbildung 2.2 sieht man, wie versucht wird, den Protagonisten und dessen Bewegungen zu erfassen.

Weitere Arbeiten in diesem Bereich geben Fabrice Caillette und Toby Howard, in dem sie versuchen, über gleichzeitig aufgenommene Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln einen menschlichen Körper zu erfassen und zu rekonstruieren.[WSnt]

Beide Erkennungsmethoden zum Erfassen von Körperbewegungen, Körperposen oder ganzen Objekten verwenden dabei die Computer Vision-Techniken. [MBRS11][Gav99][Sze10] Dieser Bereich behandelt die Erfassung und Erkennung von Personen, Objekten, Mustern und auch

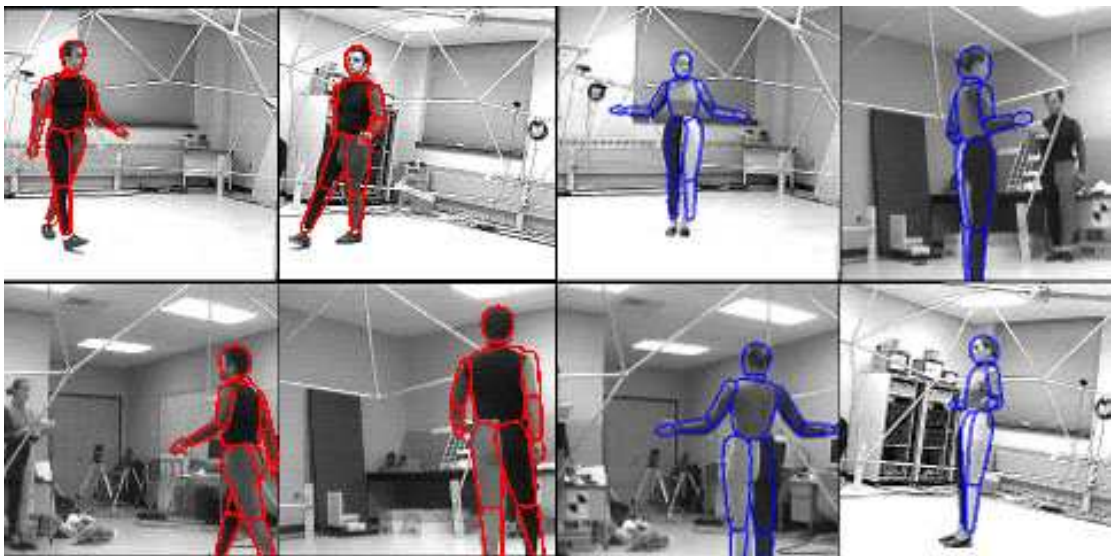


Abbildung 2.2: Bei dieser Abbildung, wird das aufgenommene Bild mit zusätzl. Informationen überlagert.

Foto: Arnold Baca, <http://homepage.univie.ac.at/Arnold.Baca/Scarlata.htm>

Kanten in aufgenommenen Bildern. Dabei macht es keinen Unterschied, ob man nur Objekte erfassen möchte oder ganze Räumlichkeiten in 3D Szenen rekonstruieren möchte. Die Computer Vision repräsentiert also das Fundament, mit dessen Hilfe man weitere Techniken aufbauen kann. Jede Interaktion, sei es die Gesichtserkennung oder die Bewegungserkennung, baut auf der Computer Vision auf.

Neben den beiden Bereichen gibt es noch den medizinischen Bereich. Dieser Bereich verwendet im übertragenen Sinne die Computer Vision und die Mensch-Maschine-Interaktion. Dabei kann man Bewegungen erfassen, analysieren und ggf. medizinische Schritte einleiten. [DIRC08]

Eine weitere aktuelle Technik, die sowohl die Computer Vision als bildverarbeitende-Technik verwendet und als markerloses System gilt, ist die Erkennung von Objekten oder menschlichen Körperposen über Tiefenbilder (engl. Depth Image). Dabei gibt es zwei Verfahren, wie diese Tiefenbilder erstellt werden können.

Das erste Verfahren zur Erkennung des Tiefenbildes nutzt die Eigenschaft des Lichtes. Da sich das Licht mit einer bekannten Geschwindigkeit ausbreitet, gelingt es, mit dieser Technik eine Abstandsmessung von Objekten vorzunehmen. Diese Technik verwendet das Kamerasystem Time-of-flight. Das andere Verfahren nutzt die Reflektion von Objekten aus. Eine solche Verwendung dieser Technik macht sich das Kamerasystem Kinect von Microsoft zunutze. Beide Kamerasysteme werden im Kapitel 2.2 näher beschrieben. Die Abbildung 2.3 zeigt exemplarisches Tiefenbild.

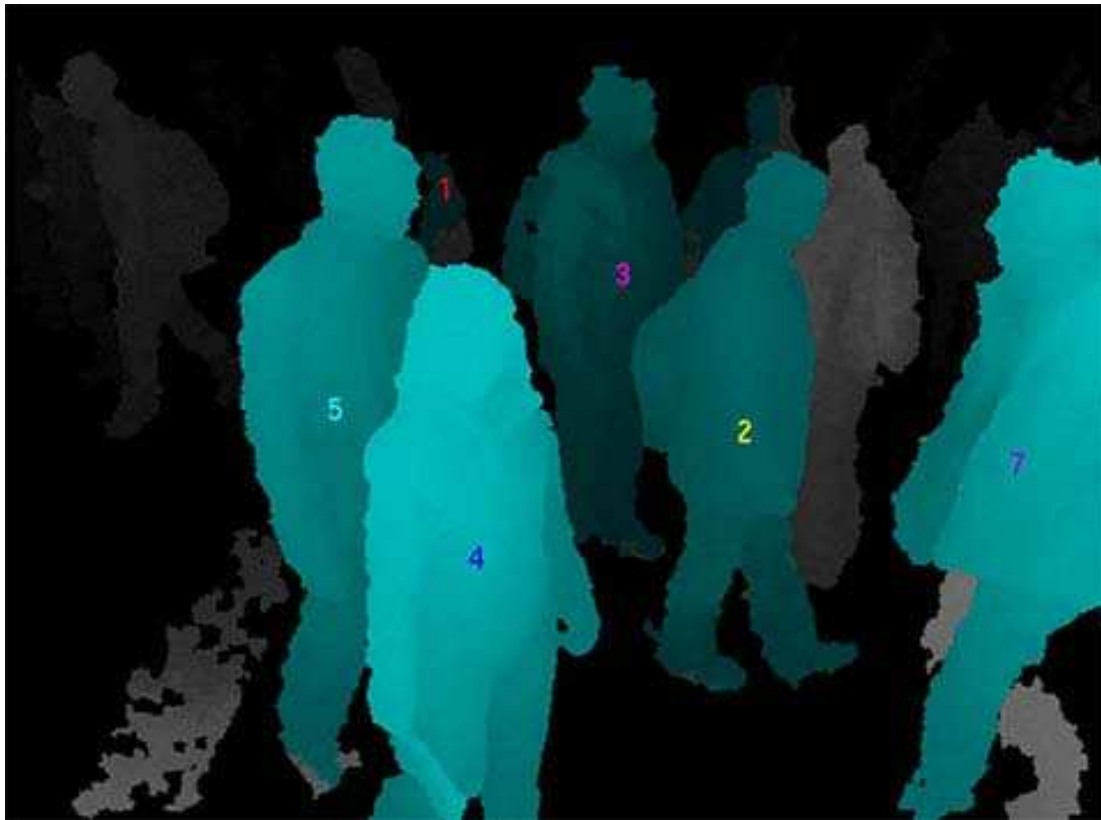


Abbildung 2.3: Bei dieser Abbildung, werden verschiedene Personen durch ein Kamerasystem erfasst und das draus resultierende Tiefenbild gezeigt.

Foto: Pervasive Computing, <http://www.pervasive.jku.at/>, 09.2012

Die im kommenden Kapitel näher beschriebenen Kamerasysteme versuchen, anhand der Tiefeninformationen über die aufgenommenen Bilder die Objekte, Körperposen und Körperbewegungen zu erfassen.

2.2 Kamerasysteme zum Erfassen von Objekten und Körperbewegungen

Egal für welche Erfassungsmethode man sich entscheidet, ohne ein passendes Kamerasystem ist es schwierig, eine Erfassung oder eine Erkennung von Objekten, Gesten oder Körperbewegungen durchführen zu können. Dabei spielen zwei Kamerasysteme eine große Rolle:

Das eine Kamerasystem ist das Time-of-flight System, das andere ist das Kamerasystem Kinect. Beide Kamerasysteme sind sehr ähnlich in der Art und Weise, wie sie Objekte etc. erfassen. Ein großer Unterschied, neben der Art und Weise wie beide Kamerasysteme Objekte erfassen, ist der Preis. Das Kamerasystem Time-of-flight kann unter Umständen schon

einen stolzen Preis von 9000 Dollar oder mehr annehmen. Die Kinect hingegen kostet nur 150 Euro und ist für die Massenverwendung gedacht.

2.2.1 Time-of-flight Kamerasystem

Wie schon kurz beschrieben nutzt das Kamerasystem Time-of-flight die Ausbreitungseigenschaft des Lichtes. Dazu sollte man wissen, dass sich das Licht physikalisch gesehen mit $3 \cdot 10^8$ Meter pro Sekunde ausbreitet. Anders formuliert breitet sich das Licht mit 1.080.000.000 Kilometer pro Stunde aus.

Zum Vergleich: Das schnellste von Menschenhand erschaffene Fortbewegungsmittel ist die Apollo 10. Dabei bewegt sich die Apollo 10 nur mit 39897 Kilometer pro Stunde. Der Hennessey Venom GT, das schnellste Auto der Welt, schafft es gerade mal auf 443 Kilometer pro Sekunde.

Der Anwendungsbereich liegt ursprünglich in der optischen Abstandsmessung. Bei der Erfassung von Objekten werden durch einen Lichtimpuls Strahlen versendet. Die vom Objekt getroffenen Strahlen werden reflektiert und durch zwei oder durch mehrere Empfänger empfangen. Dabei misst man die Zeit zwischen dem Start der versendeten Strahlen und den Zeitpunkt der empfangenen Strahlen. Je länger es dauert, dass ein Lichtimpuls den Empfänger trifft, desto weiter entfernt liegt das getroffene Objekt. Diese Technik gibt sehr genaue Resultate wieder. Auf der folgenden Abbildung 2.4 sieht man eine Aufbauvariante eines Time-of-flight Kamerasystems. Im oberen Teil des Bildes sieht man die Time-of-flight



Abbildung 2.4: Die Abbildung zeigt eine mögliche Aufbauvariante eines Time-of-flight-Kamerasystems.

Foto: http://www.cg.tu-berlin.de/menue/research/projects/depth_imaging/

2.2. Kamerasysteme zum Erfassen von Objekten und Körperbewegungen

Kamera mit zwei Infrarot-Impulsempfängern. Im unteren Teil des Bildes sind zwei Farbkameras angebracht. Beide Systeme haben auch ihre Grenzen. Damit die Systeme genau arbeiten können, muss man darauf achten, dass die Umgebungseigenschaften stimmen. Es muss auch darauf geachtet werden, dass stark reflektierende Objekte nicht die Erkennung stören. Auf der folgenden Abbildung 2.5, wurde ein Gesicht mit einem Time-of-flight Kamerasystem erfasst.

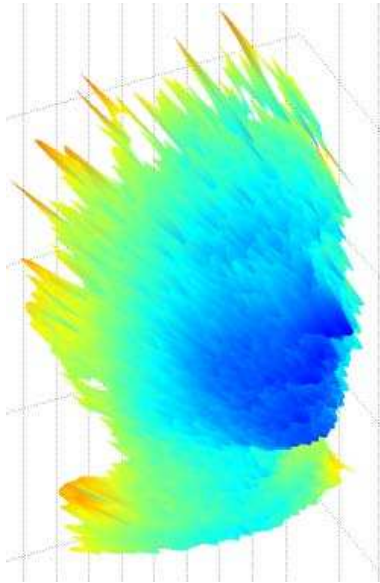


Abbildung 2.5: Die Abbildung zeigt ein Tiefenbild eines Gesichtes das mit dem Kamerasystem Time-of-flight aufgenommen worden ist.

Foto: INB, <http://www.inb.uni-luebeck.de/lehre-de/bachelor-master-diplomarbeiten/gesichtsdetektion-auf-bildern-einer-3d-time-of-flight-kamera>

2.2.2 Das Kinect-System

Das Kamerasystem wurde ursprünglich für eine Spielekonsole entwickelt. Diese Konsole mit dem Namen XBOX 360 wurde von Microsoft² entwickelt und auf den Markt gebracht. Nach einer längeren Laufzeit der XBOX 360 wurde das Kamerasystem Kinect entwickelt. Der Entwicklungsname lautete ursprünglich Natal und das Kamerasystem wurde dann in Kinect³ umgenannt. (Abbildung 2.6) Die Kinect soll dem Spieler ermöglichen, Spiele ohne einen Kon-



Abbildung 2.6: Steuerung einer Spielekonsole mittels der Kinect.

Foto:<http://www.gamersglobal.de/news/33131/schnaepchen-kinect-wochen-bei-amazon>

troller bzw. Joystick in der Hand spielen zu können. (Abbildung 2.7) Bei aktuellen Konsolen, neben der XBOX 360, braucht man den herkömmlichen Controller noch. Somit wurde die Kinect nicht nur für den Einsatz in der Spielebranche interessant. Es gibt mittlerweile viele Forschungsinstitute, Arbeiten und Entwicklungen, die mittels der Kinect Körperbewegungen bzw. Körperposen erfassen.

Wie schon kurz beschrieben, ist das System ein bildbasierendes markerloses System. Es arbeitet ohne künstliche Landmarker. Es ermittelt anhand des aufgenommenen Tiefenbildes die Bewegungsinformationen. Die Tiefenbildinformationen werden über zwei Sensoren ermittelt. Ein Sensor ist der Infrarotprojektor. Dieser Laser projiziert ein Lasernetz auf Objekte und Personen. (Abbildung 2.8)

Diese Strahlen können mit Infrarotbrillen sichtbar gemacht werden. Dieses Lasernetz wird benötigt, um Tiefeninformationen ermitteln zu können. Damit man diese Information nutzen kann, benötigt man einen zweiten Sensor. Dieser Sensor ist ein schwarz-weiß CMOS-Sensor. Er hat die Aufgabe, die durch den Laserprojektor projizierten Laserstrahlen zu erfassen. Das Schaubild 2.9 soll einen Eindruck vermitteln, wie die Kinect die Tiefeninformation ermittelt.

Der Infrarotlaser sendet ein Gitternetz auf das Sichtfeld der Kinect. Dabei werden Objekte,

²<http://www.microsoft.com>

³<http://www.xbox.com/de-DE/Kinect>

2.2. Kamerasysteme zum Erfassen von Objekten und Körperbewegungen



Abbildung 2.7: Kinect als Steuerung bei einem Wasserspiel der xBox 360.
Foto: <http://www.xbox.com/de-DE>



Abbildung 2.8: Die Abbildung zeigt das Infrarotgitternetz der Kinect.
Foto(links):<http://donaldclarkplanb.blogspot.de/2011/01/kinect-from-mr-kinect-himself.html>
Foto(rechts): <http://123kinect.com/kinect-forums/Thread-Eye-trouble-from-Kinect-Laser>

Menschen oder auch Räume mit Infrarotstrahlen beleuchtet (rote Strahlen), hierbei werden Strahlen von den Objekten zurückgeworfen und der CMOS-Schwarz-weiß Sensor erfasst diese (blauen Strahlen).

Durch den Abstand zwischen dem Infrarotlaser und dem CMOS-Sensor bekommt man die Tiefeninformation. Zwischen den beiden Sensoren befindet sich eine Farbkamera, eine sogenannte RGB-Kamera. Die Hauptaufgabe dieser Kamera ist es, Farbbilder aufzunehmen. Diese Funktion wird dazu genutzt, um Gesichter und Emotionen zu erkennen. Bei einer Erfassung eines menschlichen Skeletts werden die erfassten Daten als virtuelles Skelett am Computer repräsentiert. Dabei wird das virtuelle Skelett, also die erfassten Informationen,

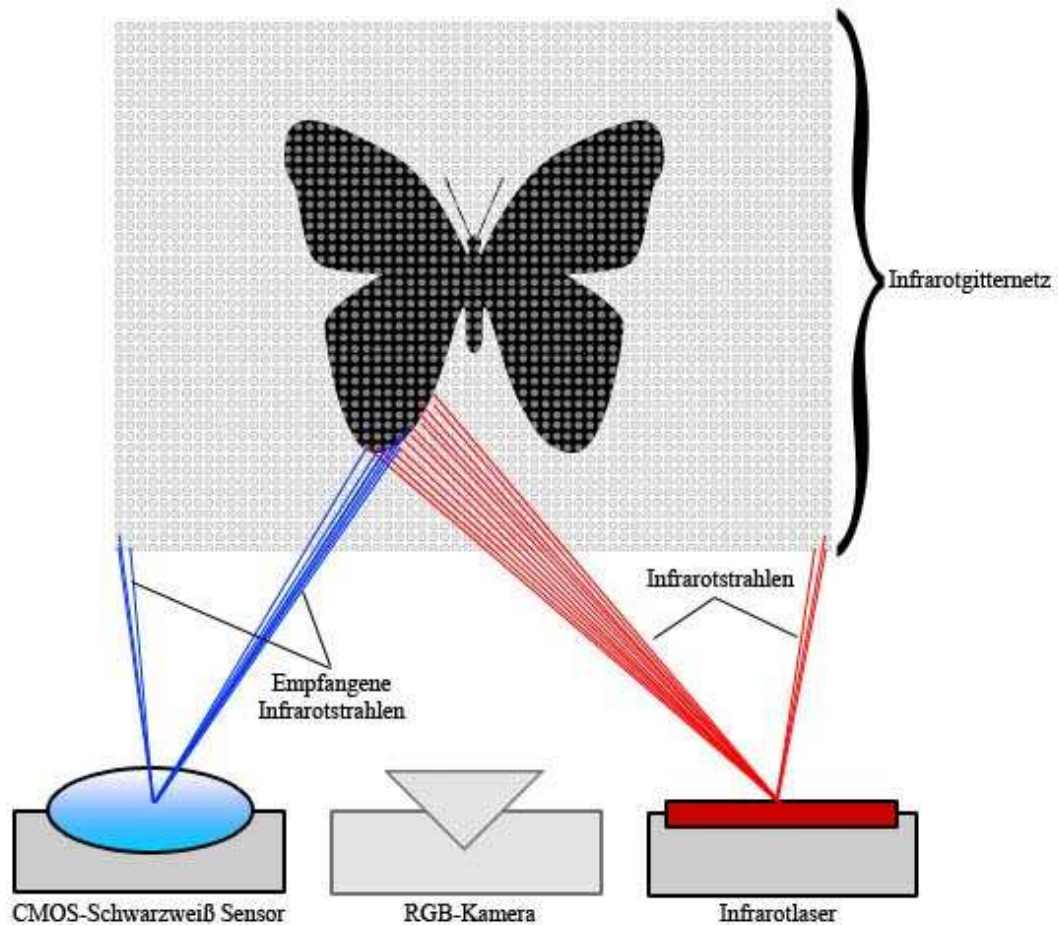


Abbildung 2.9: Das Schaubild zeigt die Funktionsweise der Kinect und somit die Erfassung von Objekten.

als XYZ-Koordinaten gespeichert. Somit erhält man für alle Gelenke die genauen Positionen.

Das Positive an diesem Kamerasystem ist, dass diese Erfassung und Erkennung des menschlichen Skeletts von der mitgelieferten Software übernommen wird. So braucht man keine Anwendung neu entwickeln, die den Teil der Tiefenerkennung und somit die Erkennung der Bildinformationen übernimmt.

Der Nachteil dieser mitgelieferten Software zur Erkennung von Körperbewegungen und Körperposen ist, dass die erfassten Gelenkdaten nur als Koordinaten vorliegen. Dazu soll in dieser Arbeit eine Lösung entwickelt werden, die aus den Gelenkpositionen möglichst genaue Gelenkrotationen ermitteln kann.

Kapitel 3

Rotationseigenschaften

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie man aus einer Rotationsmatrix die Eulerwinkel errechnen kann. Das Verständnis der Vektorrechnung, Matrizenrechnung und das Verständnis aus dem Bereich der Trigonometrie wird hierbei vorausgesetzt.

3.1 Berechnung der Eulerwinkel aus einer Rotationsmatrix

Aus den Rotationen zwischen den Koordinatensystemen können eindeutig sowohl 3x3 Rotationsmatrizen als auch die entsprechenden Rotation als Quaternionen oder als Vektoren, bestehend aus Rotationsachse und Drehwinkel abgeleitet werden. Um nun die Ergebnisse der Quaternionen[Kui02] oder des Vektors für den zu entwickelnden Algorithmus nutzen zu können, ist es allerdings notwendig, die berechneten Rotationen als Eulerwinkel anzugeben.

Dabei müssen die Rotationen in die drei Einzelrotationen um die Hauptachse des Koordinatensystems erzeugt werden.[Sla99] Da die Multiplikation von Matrizen nicht kommutativ ist, also die Reihenfolge der Multiplikation eine Rolle spielt, ist die Darstellung einer Rotation in Eulerwinkel nicht eindeutig. Es ist notwendig zu wissen, in welcher Reihenfolge die Dekomposition einer Gelenkrotation erfolgen muss.

Der nachfolgende Abschnitt befasst sich mit der Ermittlung der Rotationsmatrizen und den daraus abgeleiteten Eulerwinkel. Die Standarddefinition einer Rotation um eine der drei Hauptachsen (x, y, und z-Achse) kann durch eine 3x3 Matrix dargestellt werden.

Eine Rotation um die x-Achse mit dem Winkel γ wird in Bogenmass angegeben und wird durch die Matrix R_x definiert:

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix}$$

Eine Rotation um die y-Achse mit dem Winkel σ wird in Bogenmaß angegeben und wird

3. ROTATIONSEIGENSCHAFTEN

durch die Matrix R_y definiert:

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos \sigma & 0 & \sin \sigma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \sigma & 0 & \cos \sigma \end{pmatrix}$$

Eine Rotation um die z-Achse mit dem Winkel β wird in Bogenmaß angegeben und wird durch die Matrix R_z definiert:

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Für die allgemeine Gesamtrrotationsmatrix wird eine 3x3-Matrix R definiert:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Diese Gesamtrrotationsmatrix R entsteht aus der Multiplikation der drei einzelnen Rotationsmatrizen R_x , R_y und R_z um die Hauptachse x, y und z . Da die Multiplikation von Matrizen nicht kommutativ ist, gibt es nun sechs verschiedene Möglichkeiten, wie aus drei Hauptachsenrotationen um verschiedene Hauptachsen eine Gesamtrrotationsmatrix R berechnet werden kann:

$$R = R_x * R_y * R_z$$

$$R = R_x * R_z * R_y$$

$$R = R_y * R_x * R_z$$

$$R = R_y * R_z * R_x$$

$$R = R_z * R_x * R_y$$

$$R = R_z * R_y * R_x$$

Jede Komposition und damit auch jede Dekomposition, mit denselben Rotationswinkeln oder auch mit derselben Gesamtrrotationsmatrix R führt in der Regel zu unterschiedlichen Ergebnissen:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi & -\cos \theta \sin \phi & \sin \theta \\ \cos \psi \sin \phi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi & \cos \phi \cos \psi - \sin \theta \sin \phi \sin \psi & -\cos \theta \sin \psi \\ -\cos \phi \cos \psi \sin \theta + \sin \phi \sin \psi & \cos \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \phi \sin \psi & \cos \theta \cos \psi \end{pmatrix}$$

$R = R_x * R_z * R_y$ führt zu:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi & -\sin \phi & \cos \phi \sin \theta \\ \cos \psi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta & \cos \phi \cos \psi & \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \cos \theta \sin \psi \\ -\cos \psi \sin \theta + \cos \theta \sin \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \psi & \cos \theta \cos \psi + \sin \theta \sin \phi \sin \psi \end{pmatrix}$$

$R = R_y * R_x * R_z$ führt zu:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi + \sin \theta \sin \phi \sin \psi & -\cos \theta \sin \phi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi & \cos \psi \sin \theta \\ \cos \psi \sin \phi & \cos \phi \cos \psi & -\sin \psi \\ -\cos \phi \sin \theta + \cos \theta \sin \phi & \sin \theta \sin \phi + \cos \theta \cos \phi \sin \psi & \cos \theta \cos \psi \end{pmatrix}$$

$R = R_y * R_z * R_x$ führt zu:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi & -\cos \theta \cos \psi \sin \phi + \sin \theta \sin \psi & \cos \psi \sin \theta + \cos \theta \sin \phi \sin \psi \\ \sin \phi & \cos \phi \cos \psi & -\cos \phi \sin \psi \\ -\cos \phi \sin \theta & \cos \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi - \sin \theta \sin \phi \sin \psi \end{pmatrix}$$

$R = R_z * R_x * R_y$ führt zu:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi - \sin \theta \sin \phi \sin \psi & -\cos \psi \sin \phi & \cos \phi \sin \theta + \cos \theta \sin \phi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \phi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi & \cos \phi \cos \psi & \sin \theta \sin \phi - \cos \theta \cos \phi \sin \psi \\ -\cos \psi \sin \theta & \sin \psi & \cos \theta \cos \psi \end{pmatrix}$$

$R = R_z * R_y * R_x$ führt zu:

$$\begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi & -\cos \psi \sin \phi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi & \cos \phi \cos \psi \sin \theta + \sin \phi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \phi & \cos \phi \cos \psi + \sin \theta \sin \phi \sin \psi & \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \cos \phi \sin \psi \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi \end{pmatrix}$$

Ist eine Gesamtrrotationsmatrix R gegeben, besteht die Möglichkeit, alle sechs unterschiedlichen Eulerwinkel Tripel (ψ, θ, ϕ) zu berechnen. Durch die unterschiedlichen Varianten von Ergebnissen sind die Ergebnisse als Eulerwinkel nicht eindeutig. Hierbei kann für die Dekomposition der Rotationen mehr als eine Lösung existieren.

Im folgenden Beispiel wird die Dekomposition einer Gesamtrrotationsmatrix R zu den entsprechenden Eulerwinkeln exemplarisch für

3. ROTATIONSEIGENSCHAFTEN

$$R = R_z * R_y * R_x$$

gezeigt. In diesem Beispiel wird zunächst um die x-Achse, danach um die y-Achse und schließlich um die z-Achse gedreht, um die Gesamttrotation auszuführen:

Das Element r_{31} führt direkt zu:

$$\phi = -\arcsin(r_{31})$$

Mit zwei möglichen Lösungen für ϕ :

$$\begin{aligned}\phi_1 &= -\arcsin(r_{31}) \\ \phi_2 &= \pi - \phi_1 = \pi + \arcsin(r_{31})\end{aligned}$$

Um die möglichen Lösungen für ψ zu finden, kann nun die Gleichung aus r_{32} verwendet werden. Dies führt zu vier verschiedenen möglichen Lösungen, falls

$$\cos(\phi) \neq 0$$

ist:

$$\begin{aligned}\psi_{11} &= \arcsin\left(\frac{r_{32}}{\cos \theta_1}\right), \\ \psi_{12} &= \pi - \arcsin\left(\frac{r_{32}}{\cos \theta_1}\right), \\ \psi_{21} &= \arcsin\left(\frac{r_{32}}{\cos \theta_2}\right), \\ \psi_{22} &= \pi - \arcsin\left(\frac{r_{32}}{\cos \theta_2}\right)\end{aligned}$$

Alle vier möglichen Lösungen für den Winkel ϕ können mit der Gleichung r_{21} ermittelt werden, falls $\cos \theta \neq 0$:

$$\begin{aligned}\phi_{11} &= \arcsin\left(\frac{r_{21}}{\cos \theta_1}\right), \\ \phi_{12} &= \pi - \arcsin\left(\frac{r_{21}}{\cos \theta_1}\right), \\ \phi_{21} &= \arcsin\left(\frac{r_{21}}{\cos \theta_2}\right),\end{aligned}$$

3.1. Berechnung der Eulerwinkel aus einer Rotationsmatrix

$$\phi_{22} = \pi - \arcsin\left(\frac{r_{21}}{\cos \theta_2}\right)$$

Die Bestimmung aller möglichen Lösungen der einzelnen Hauptachsenrotationen führt zu einer Menge von verschiedenen Tripel-Winkeln, aus denen die Gesamtrrotationsmatrix R reproduziert werden kann:

$$(\psi_{11}, \theta_1, \phi_{11})$$

$$(\psi_{12}, \theta_1, \phi_{11})$$

$$(\psi_{11}, \theta_1, \phi_{12})$$

$$(\psi_{12}, \theta_1, \phi_{12})$$

$$(\psi_{21}, \theta_2, \phi_{21})$$

$$(\psi_{22}, \theta_2, \phi_{21})$$

$$(\psi_{21}, \theta_2, \phi_{22})$$

$$(\psi_{22}, \theta_2, \phi_{22})$$

Während die Gleichungen r_{31}, r_{21} und r_{32} verwendet wurden, um alle möglichen Tripel zu bestimmen, werden die sechs verbleibenden Gleichungen genutzt, um alle korrekten Tripel zu bestimmen. Ein Tripel von Eulerwinkeln ist genau dann eine andere Darstellung der Rotation R, wenn es die Gleichung

$$r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{22}, r_{23}$$

und

$$r_{33}$$

erfüllt.

Die Verwendung der Gleichungen r_{12} und r_{13} für $\theta = \frac{\pi}{2}$ führt nun zu einer eindeutigen Lösung für (ψ, ϕ) . Für die praktische Anwendung ist also $\theta = \frac{\pi}{2}, \phi = 0, \psi$. Ein verwendbares Tripel aus Eulerwinkeln für die entsprechende Gesamtrrotationsmatrix R.

Analog wird die Verwendung der Gleichung r_{12} und r_{13} für $\theta = -\frac{\pi}{2}$ zu einer eindeutigen Lösung für (ψ, ϕ) führen. Für die praktische Anwendung ist

$$\theta = -\frac{\pi}{2}, \phi = 0, \psi$$

ein zulässiges Tripel aus Eulerwinkeln.

Kapitel 4

Entwicklung von zwei Algorithmen zur Schätzung von Rotationswinkeln

In diesem Kapitel, in dem der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt, werden zwei Varianten gezeigt, die durch unterschiedliche Methoden die Rotationen an den Gelenken schätzen. Hierbei liefert die Kinect durch die Erfassung des menschlichen Skeletts die Gelenkpositionen im Raum. Bei der Verwendung der kommenden Varianten, werden diese Positionen genutzt, um daraus die Gelenkrotationen schätzen zu können. Die erste Variante, versucht über die Ebenenbildung an den Segmenten zwischen den Gelenkpunkten zu schätzen. (Abbildung 4.3) Die zweite Variante, ermittelt die Rotationswinkel durch Projektionen der erfassten Gelenkpositionen auf orthogonale Ebenen. (Abbildung 4.5) Die daraus entwickelten Algorithmen werden in eine vorhandene Anwendung implementiert. In den folgenden Unterkapiteln werden Problematiken und Schwierigkeiten erläutert, die bei der Schätzung der Gelenkrotationen auftreten.

4.1 Schätzung der Rotationen über die Ebenenbildung an den Gelenksegmenten

Bei der Ermittlung von Rotationen an den Gelenken, gibt es verschiedene Wege die zur Schätzung verwendet werden können. Dabei ist zu beachten, dass die verschiedenen Wege und damit die geschätzten Ergebnisse nicht eindeutig sind. Die größte Problematik bei einer Schätzung der Rotationswinkel entsteht an der Schulter. Dazu sollte man wissen, dass die Schulter im eigentlichen Sinne kein Gelenk ist. Somit ist die Schätzung gerade hier sehr problematisch da sich die Schulter bei einer Bewegung immer um die x-, y- und z-Achse bewegt und dadurch wird das Ergebnis nicht eindeutig. Analog zur Schulter, trifft man diese Problematik an der Hüfte an.

4.1.1 Problematiken bei der Schätzung der Gelenkrotationen

Die Kinect liefert bei der Erfassung des menschlichen Skeletts lediglich die Gelenkpositionen. Durch diese Positionen sollen die Gelenkrotationen ermittelt werden.

Die Gelenkpositionen des Skeletts werden als Vektoren mit den Elementen X, Y und Z abgelegt. Man erhält somit für 19 Gelenke des Skeletts je drei Werte der Position. Bei der Erfassung des menschlichen Skeletts durch die Kinect, werden die einzelnen Wirbel die der Mensch besitzt und die auch als Gelenke zählen, für die weitere Verwendung vereinfacht. Man erhält anstatt für jeden einzelnen Wirbel, bei der Erfassung lediglich einen Nackenpunkt, einen Sacroiliac-Knochenpunkt und einen mittleren Hüftpunkt. (Abbildung 4.1) Für einige Anwendungsbereiche reichen die Positionen der Gelenke im Raum nicht aus. In dem nachfolgenden Bild sieht man, welche Gelenke von der Kinect erfasst werden und welche bei der Ermittlung von Rotationen errechnet werden müssen.

Wie man auf der Abbildung 4.1 sehen kann, liefert die Kinect insgesamt 20 Gelenkpositionen A. Damit man alle Bewegungen des menschlichen Körpers erfassen kann, benötigt man einen zusätzlichen Punkt B. Dieser Punkt ist ein errechneter Wert. Dieser Wert wird verwendet, um Beugung oder Streckung des Oberkörpers zu erfassen. Die Gelenkpositionen 1 bis 20 repräsentieren die erfassten Koordinaten der Gelenke.

Bei der Ermittlung der Gelenkrotationen muss das lokale Koordinatensystem für jedes Gelenk berechnet werden. Während das Weltkoordinatensystem bereits definiert wurde, muss für jedes einzelne Gelenk ein lokales Koordinatensystem berechnet werden.

Dieses Koordinatensystem wird benötigt, um die Rotationen des jeweiligen Gelenks zum Weltkoordinatensystem beschreiben zu können. Für die Berechnung eines lokalen Koordinatensystems eines bestimmten Gelenks werden ausschließlich die vorhandenen 3D-Gelenkpositionen des erfassten Skeletts verwendet.

Durch das ermittelte lokale Koordinatensystem des Gelenks, kann man mit Hilfe von Rotationsmatrizen die Winkel schätzen. Dabei ist die Schwierigkeit, dass es nicht nur eine Lösung zur Ermittlung des Rotationswinkels gibt. Im Kapitel 3 Rotationseigenschaften wird an Hand der Mathematik gezeigt, dass diese Schätzungen der Rotationswinkel keinesfalls trivial sind. Bei der Ermittlung der Winkel rechnen wir die ermittelten Rotationsmatrizen die im Kapitel 3.1 beschrieben worden sind in Eulerwinkel um, da diese für die weitere Vorgehensweise verwendet wird.

4.1.2 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Sacroiliac-Knochen

Für die Berechnung des Rotationswinkels, die bei einer Beugung bzw. Streckung des Rumpfes erfolgt, wird das lokale Koordinatensystem in die Hälfte des Weges zwischen dem Nackengelenk und dem mittleren Hüftgelenk gesetzt. Dieser *Gelenkpunkt* bzw. der Vektor zu diesem Punkt muss mathematisch errechnet werden.

4.1. Schätzung der Rotationen über die Ebenenbildung an den Gelenksegmenten

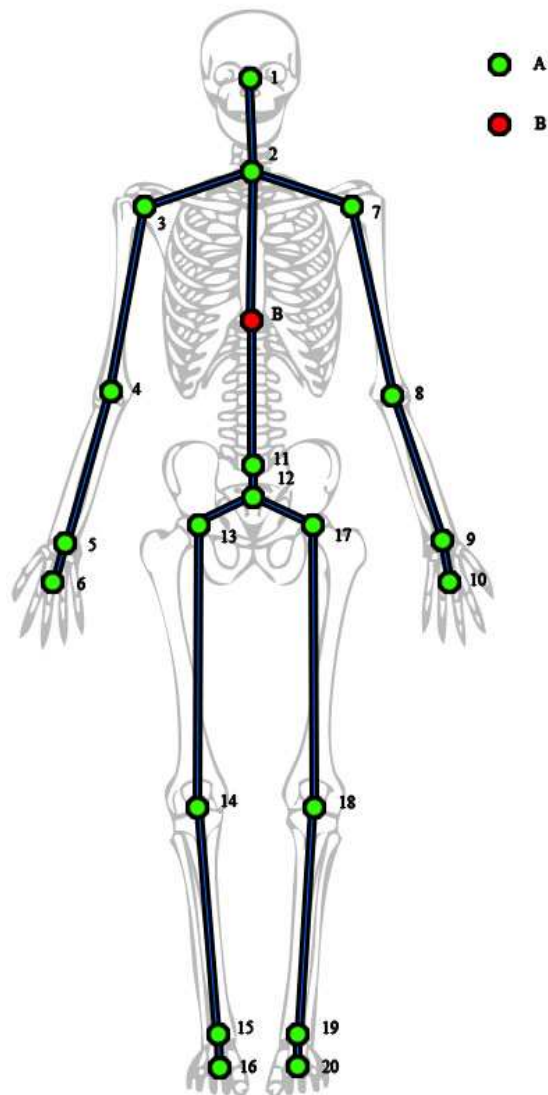


Abbildung 4.1: Die Abbildung, zeigt das erfasste menschliche Skelett mit 20 erfassten Gelenkpunkten.

4.1.3 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Kopfes

Für die korrekte Berechnung des Gelenkwinkels des Kopfes reichen die vorhandenen Gelenkpositionen des erfassten Skelettes nicht aus. Neben dem Nackenpunkt ist mit der Kopfmittle lediglich ein einziger weiterer 3D-Punkt vorhanden, für eine Rotation sind aber drei verschiedene Punkte notwendig. Die Kinect liefert hierbei nur den Mittelpunkt des Kopfes und den Nackenpunkt. Deshalb wird zunächst aus Kopfmittelpunkt, Nackenpunkt und Schultermittelpunkt eine Ebene aufgespannt, zu der ein dritter, orthogonaler Vektor berechnet wird. Die Kopfrotation und die Kopfdrehung kann nun geschätzt werden.

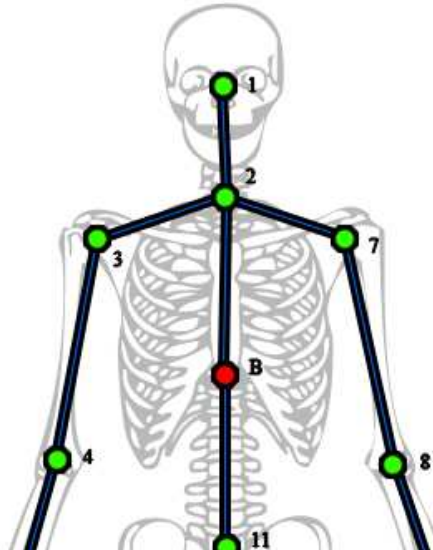


Abbildung 4.2: Die Abbildung zeigt, dass die Rotation mit den vorhandenen Punkte nicht möglich ist.

4.1.4 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation der Schulter

Für die Berechnung der Rotationswinkel der linken oder auch rechten Schulter werden drei verschiedene Gelenkpositionen herangezogen bzw. verwendet. Die Abbildung 4.3 zeigt die Vorgehensweise.

Es werden die linke Schulter, der linke Ellenbogen und das linke Handgelenk zur Berechnung verwendet. Der Ursprung des lokalen Koordinatensystems wird in den Schulterpunkt gelegt. Aus den frei angegebenen Gelenkpunkten wird eine Ebene im Raum erzeugt. Der Normalvektor, der senkrecht auf dieser Ebene steht, wird als X-Achse (roter Pfeil) des lokalen Koordinatensystems angenommen. Die Y-Achse (gelber Pfeil) des lokalen Koordinatensystems kann als Vektor zwischen dem Ellenbogen und der Schulter bestimmt werden. Durch den Normalvektor als X-Achse und der bestimmten Y-Achse wird eine weitere Ebene aufgespannt. Der Normalvektor der neuen aufgespannten Ebene wird als Z-Achse (grauer Pfeil) angenommen.

Da die Ermittlung der Winkel für die Rotation der Schulter nicht ganz trivial ist, gelingt es nur, einen Annäherungsschätzwert zu ermitteln.

4.1.5 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Ellenbogens

Das menschliche Ellenbogengelenk ist nur um eine Hauptachse drehbar. Dabei liegt der maximale Öffnungswinkel bei dem Durchschnittsmenschen bei ca. 160 bis 180 Grad. Von

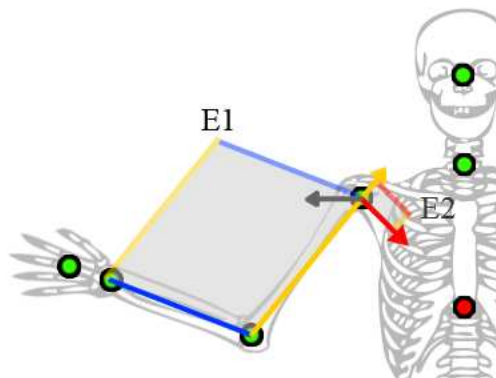


Abbildung 4.3: Die Abbildung, zeigt die Rotationsbestimmung der Schulter. Dabei wird das Koordinatensystem in den Schulterpunkt gelenkt.

diesem Bereich sind Menschen mit extremen Sehnenüberdehnungen ausgenommen. Die Berechnung der Rotation des Ellenbogens ist durch die Anatomie des Menschen eingeschränkt. So lässt sich durch die Position der Schulter, des Ellenbogens und des Handgelenkes die Rotation ermitteln (Abbildung 4.4). Es werden dazu zwei Vektoren berechnet, der eine ist

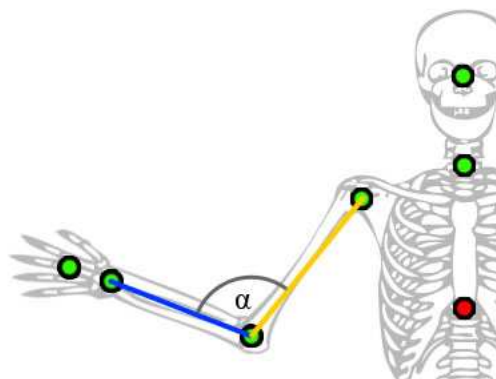


Abbildung 4.4: Die Abbildung zeigt die Rotationsbestimmung des Ellenbogens.

von der Schulter zum Ellenbogen (hier gelb) und der andere Vektor ist von dem Ellenbogen zum Handgelenk (hier blau). Der kleinere Winkel zwischen diesen Vektoren α wird als Rotationswinkel um die X-Achse des lokalen Koordinatensystems angenommen.

4.1.6 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation des Hüftgelenks

Die Berechnung der Hüftrotation verläuft analog zur Ermittlung der Schultergelenke. Aus den Gelenkpositionen von der Hüfte, dem Kniegelenk und dem Fersenpunkt wird eine Ebene im Raum aufgespannt. Die X-Achse wird als Normalvektor zu dieser Ebene angenommen. Der Ursprung des lokalen Koordinatensystems wird in das entsprechende Hüftgelenk verschoben.

Der Vektor von dem Kniegelenk zu der Hüftposition wird als Y-Achse des Koordinatensystems angenommen. Durch die aufgespannte neue Ebene der X- und Y-Achse erhält man einen neuen Normalvektor. Dieser Normalvektor wird als Z-Achse des Koordinatensystems angenommen.

4.1.7 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation der Kniegelenke

Die Berechnung der Kniegelenkrotationen verläuft analog zur Ermittlung der Ellenbogenrotationen, da sich das menschliche Kniegelenk ebenfalls lediglich um die X-Achse drehen lässt. Bei der Ermittlung der Gelenkwinkel werden hierbei die Positionen der Hüfte, des Kniegelenks und der Ferse verwendet. Mit Hilfe der daraus resultierenden aufgespannten Ebene und dem dazu gehörigen Normalvektor ist es möglich, den Rotationswinkel des Kniegelenkes um die X-Achse zu ermitteln. Auch hier wird der Normalvektor als X-Achse angenommen.

4.1.8 Vorgehensweise zur Ermittlung der Rotation der Fersengelenke

Für die Berechnung der Fersenrotation werden die Gelenkpositionen des Kniegelenks, der Ferse und der Fußspitze der Skelettvektoren verwendet. Hierbei wird aber nur der Rotationswinkel um die X-Achse ermittelt. Aus der Anatomie des Menschen enthält die Fußstellung in der Standardpose schon einen rechten Winkel. Somit muss man bei der Berechnung des Winkels am Fersengelenk die 90 Grad von dem errechneten Rotationswinkel abziehen.

In dieser Bachelorarbeit wird in den Prototypen die Umsetzung der Ermittlung von Rotationswinkeln anhand von verschiedenen Posen veranschaulicht. Da sich die Schulterrotation analog zur Hüftrotation und Ellenbogenrotation analog zur Knierotation verhält, werden die Beispiele, die notwendigen mathematischen Formeln und Vorgehensweisen zur Ermittlung von Rotationen im Allgemeinen anhand der Schulter- und der Ellenrotation durchgeführt.

Alternativ wird im Kapitel 4.2 beschrieben wie es möglich ist, Gelenkwinkel über Projektionen verschiedener Ebenen zu errechnen.

4.2 Schätzung der Rotationen durch Betrachtung der orthogonalen Ansichten

In dem kommenden Abschnitt wird eine andere als in Kapitel 4.1.1 beschriebene Variante eines Algorithmus vorgestellt als im Kapitel 4.1.1 beschrieben, der die Gelenkwinkel und somit die Rotationen der Gelenke über die Ebenenprojektionen errechnet. Mit Zuhilfenahme des Kosinussatzes und der erfassten Gelenkpositionen der Kinect ist es möglich, die Gelenkwinkel für jede Bewegung eines Gelenkes bestimmen zu können.

Bei der Ebenen-Projektion betrachtet man das erfasste Skelett von verschiedenen Ansichten. Dabei spricht man von einer Ebenen-Projektion. Es wird ein vorhandenes virtuelles dreidimensionales Skelett als zweidimensionales Skelett auf eine Ebene projiziert bzw. dargestellt. Je nachdem, welche Ebene betrachtet wird, vernachlässigt man bei der Ermittlung

des Gelenkwinkels entweder die x, y oder z-Koordinate. Zur Berechnung des Winkels wird der Kosinussatz benötigt.

4.2.1 Vorgehensweise der Projektion auf die XY-Ebene

Bei der Projektion auf die XY-Ebene wird bei der Berechnung des Winkels die z-Koordinate vernachlässigt. Die Rotation erfolgt hierbei um die z-Achse. Mit Zuhilfenahme des Kosinussatzes und der Erzeugung eines neuen virtuellen Punktes ist es möglich, den Gelenkwinkel um die z-Achse errechnen zu können. (Abbildung 4.5) Als Beispiel dient hier eine Betrachtung

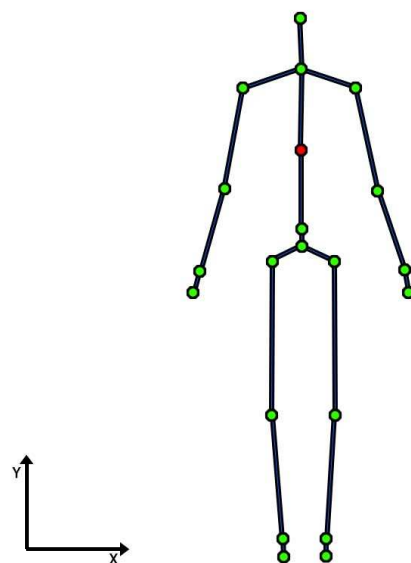


Abbildung 4.5: Die Abbildung zeigt die Projektion auf die XY-Ebene. Hierbei fällt bei der Berechnung die z-Koordinate weg.

ung der XY-Ebene einer Schulterrotation. Hierbei enthält der erzeugte virtuelle Punkt pt die Koordinaten der Schulter. Dabei entfällt die z-Koordinate und die y-Koordinate wird um einen beliebigen Wert subtrahiert. Durch die Gelenkpunkte der Schulter, des Ellenbogens und dem Punkt pt ist man mittels des Kosinussatzes in der Lage, den Winkel errechnen zu können.

4.2.2 Vorgehensweise der Projektion auf die YZ-Ebene

Bei der Betrachtung der YZ-Ebene gilt auch hier die gleiche Vorgehensweise wie bei der XY- und der XZ. Hierbei entfällt bei der Berechnung des Winkels die x-Koordinate. Es wird bei dieser Projektion um die x-Achse rotiert. (Abbildung 4.6)

Es sei als Beispiel die Betrachtung auf die YZ-Ebene gegeben. Hierbei enthält der erzeugte virtuelle Punkt pt die Koordinaten der Schulter. Dabei entfällt die x-Koordinate und

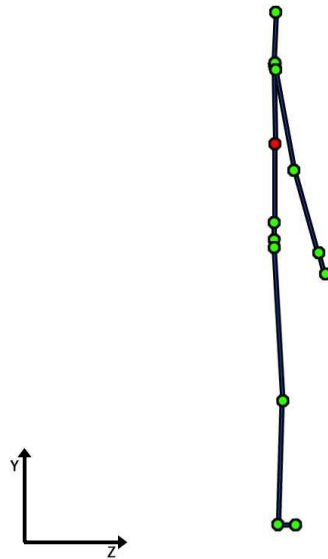


Abbildung 4.6: Die Abbildung zeigt die Projektion auf die YZ-Ebene. Hierbei fällt bei der Berechnung die x-Koordinate weg.

die y-Koordinate wird um einen beliebigen Wert subtrahiert. Bei dieser Betrachtung der Gelenkpunkte wie der Schulter, des Ellenbogens und dem Punkt pt , ist man mittels des Kosinussatzes in der Lage, den Winkel errechnen zu können.

4.2.3 Vorgehensweise der Projektion auf die XZ-Ebene

Die gleiche Herangehensweise wie bei der Betrachtung der XY-Achse wird bei der Betrachtung der XZ-Ebene genutzt. Hierbei entfällt die y-Koordinate und die Rotation erfolgt um die y-Achse.

Beispielsweise bei der Betrachtung auf die XZ-Ebene der Schulterrotation enthält der erzeugte virtuelle Punkt pt auch hier wieder die Koordinaten der Schulter. Dabei entfällt die y-Koordinate und die x-Koordinate wird um einen beliebigen Wert addiert. Auch bei dieser Betrachtung der Gelenkpunkte wie der Schulter, des Ellenbogens und dem Punkt pt ist man mittels des Kosinussatzes bei dieser Betrachtung in der Lage, den Winkel errechnen zu können.

4.2.4 Mathematisches Verfahren zur Errechnung der Gelenkwinkel

Bei der Errechnung der Gelenkwinkel über die Ebenen Projektion und den vorhandenen erfassten Gelenkkoordinaten, kommt der Kosinussatz zum Einsatz. [BD09][Rie11][Wes11]

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 * b * c * \cos(\alpha)$$

4.2. Schätzung der Rotationen durch Betrachtung der orthogonalen Ansichten

Wenn man nun den Kosinussatz nach dem gesuchten Winkel α umstellt, bekommt man folgende Formel:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 * b * c}\right)$$

Bei der Anwendung des Kosinussatzes erhält man als Winkelergebnis immer den kleineren Winkel. Das folgende Beispiel zeigt eine solche Ermittlung des Winkels α . Die Berechnung und die Betrachtung erfolgt auf die XY-Ebene.

Es seien die Punkte s , e und einen Hilfspunkt t gegeben:

$$s = \begin{pmatrix} 11 \\ 20 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$e = \begin{pmatrix} -5 \\ 23 \\ 7 \end{pmatrix}$$

Der Hilfspunkt t , enthält die Koordinaten von s . Der y-Wert wird hierbei um 10 Subtrahiert. Da wir auf die XY-Ebene schauen, entfällt die z-Koordinate.

$$t = \begin{pmatrix} s_x \\ s_y - 10 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$t = \begin{pmatrix} 11 \\ 10 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Wenn man nun die folgende Formel verwendet, erhält man den Winkel α . Dazu

$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 * b * c}\right)$$

Dabei werden die Vektorenlängen bestimmt und in die Formel eingesetzt. Das Ergebnis wird in Grad umrechnet.

$$a = (t_x - s_x)^2 + (t_y - s_y)^2 = 100$$

$$b = (t_x - e_x)^2 + (t_y - e_y)^2 = 425$$

$$c = (e_x - s_x)^2 + (s_y - e_y)^2 = 265$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{425^2 + 265^2 - 100^2}{2 * 425 * 265}\right)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{240850}{225250}\right)$$

$$\alpha = \arccos(1.069256382) * \frac{180}{\Pi}$$

$$\alpha = 93,2$$

Somit ergibt sich bei der Projektion auf die XY-Ebene, einen Winkel $\alpha = 93,2$. Das würde in etwa eine Armposition der Pose 4.7 aus dem nachfolgenden Kapitel 4.3 entsprechen.

4.3 Gegenüberstellung beider Algorithmus

Bei der Schätzung von Gelenkwinkeln bzw. bei deren Ermittlung, werden zwei Algorithmen verwendet. Der erste Algorithmus aus Kapitel 4.1.1 schätzt die Rotationswinkel und der zweite Algorithmus aus Kapitel 4.2 errechnet die Winkel über die Projektion auf Ebenen. Dabei werden beide Algorithmen in eine vorhandene Anwendung Implementiert.

Durch die Implementierung ist es nun möglich, beide Algorithmen in einer Evaluation zu Vergleichen. Dieser Vergleich bzw. diese Gegenüberstellung soll zeigen, wie genau die Algorithmen die Rotationswinkel schätzen können. Dabei soll geschaut werden, ob die Algorithmen eventuell die gleichen Werte liefern. Es soll auch geschaut werden, ob bei der Schätzung völlig unterschiedliche Werte bei raus kommen. Bei der Gegenüberstellung sollen exemplarisch fünf definierte Körperposen verwendet werden. Da zwar der menschliche Körper über weit aus mehr Posen ausüben kann, beschränkt sich die Gegenüberstellung auf fünf exemplarische Posen. Es wird bei einigen Posen absichtlich versucht durch Überlagerungen von Gelenken, die Erkennung des menschlichen Skeletts durch die Kinect zu erschweren.

Dazu sollen beide Algorithmen in der vorhandenen Anwendung jeweils die gleiche Körperpose erfassen und die geschätzten bzw. die errechneten Werte sollen in eine Datei geschrieben werden. Diese Werte, werden dann im Ergebniskapitel 6 Ausgewertet.

Bei der ersten Auswertung im Ergebniskapitel 6.2 soll anhand der Daten verglichen werden, ob beide Algorithmen bei der Ermittlung der Gelenkwinkel in etwa die gleichen Ergebnisse liefern oder aufzeigen, ob die Werte doch sehr stark von einander abweichen. Durch die Gegenüberstellung soll nur eine erste Aussage über die Algorithmen getroffen werden, da eine genauere Evaluation beider Algorithmen den zeitlichen Rahmen dieser Bachelorarbeit überschreiten würde.

Für die Erfassung der exemplarischen Körperhaltungen wird ein Proband vor der Kinect stehen und die Anwendung aus Kapitel 5 testen. Hierbei bekommt der Proband für jede Körperhaltung, die vor der Kinect verrichtet werden soll, etwa 20 Sekunden Zeit. Da die Erfassung der Werte über einen definierten Zeitraum geschieht, werden, zur Auswertung, mehrere Datensätze der erfassten Gelenkwinkel in die Datei geschrieben. Für die spätere Auswertung wird hierbei versucht, eine Mittelung der Datensätze zu erreichen, um eventuellen Fehlern, die am Anfang einer Erfassung der Körperposen gemacht wurden, entgegen zu wirken.

Für die Gegenüberstellung werden hierbei die folgenden Körperposen exemplarisch zu Evaluation der Algorithmen genutzt.

1. Bei dieser Pose (Abbildung 4.7), stehen die Füße parallel nebeneinander. Die Arme werden in ca. 90° aufgespannt. Der Rücken ist dabei in einer angenehmen Haltung.

2. Bei dieser Pose (Abbildung 4.8), werden die Ellenbogen angezogen, so dass ein Winkel am Ellenbogen entsteht, der kleiner als 90° ist. Dabei werden die Hände vom Körper weg gehalten. Die Füße bleiben, wie bei der Pose 1, parallel nebeneinander stehen.
3. Diese Pose (Abbildung 4.9) wird in der Hocke ausgeführt. Dabei fassen die Hände die Knie an. Hierbei kann es möglich sein, dass die Erfassung der Hände und der Knie nicht ohne weiteres funktioniert, da die Gelenkpunkte der Hand und des Knies übereinander liegen.
4. Bei dieser Pose (Abbildung 4.10), werden die Hände nach vorn und leicht nach unten gesteckt. Die Beine stehen parallel und nach vorne zeigend nebeneinander.
5. Bei dieser Pose werden die Ellenbogen in ca. 90° parallel zu einander vor das Gesicht gehalten. Die Beine stehen parallel und die Füße nach vorn ausgerichtet zu einander.

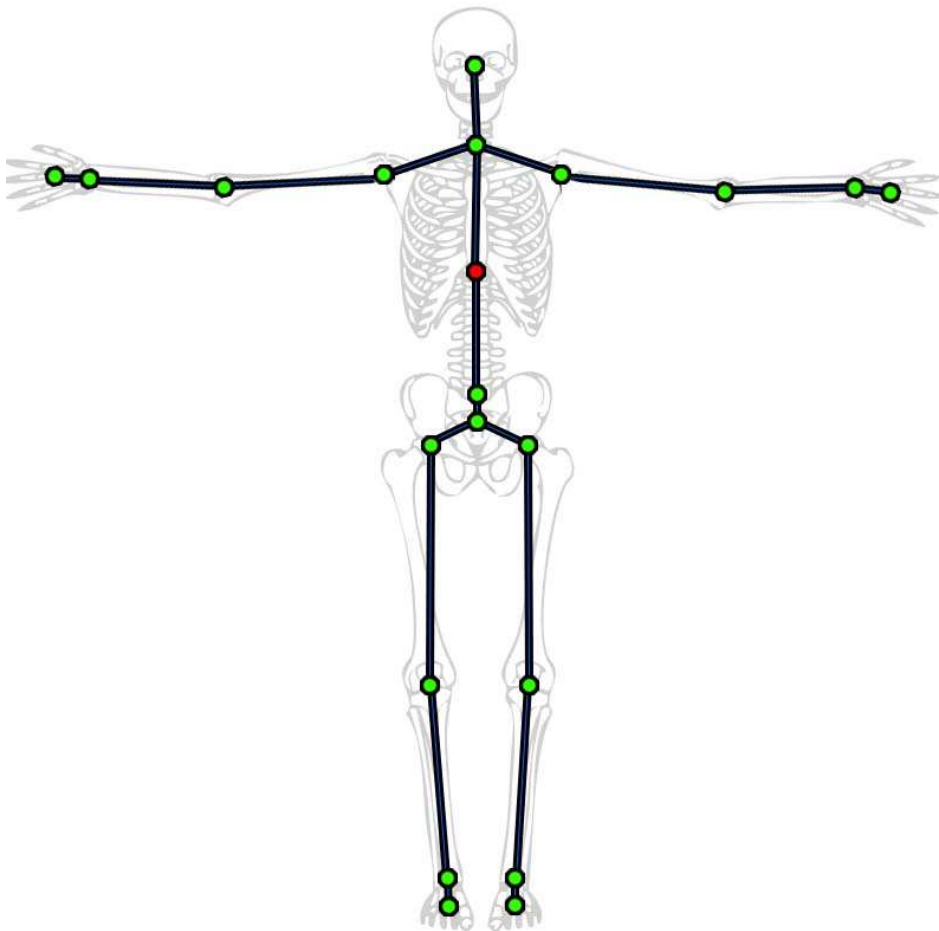


Abbildung 4.7: Die Abbildung zeigt die erste Pose. Hier werden beide Arme ausgestreckt.

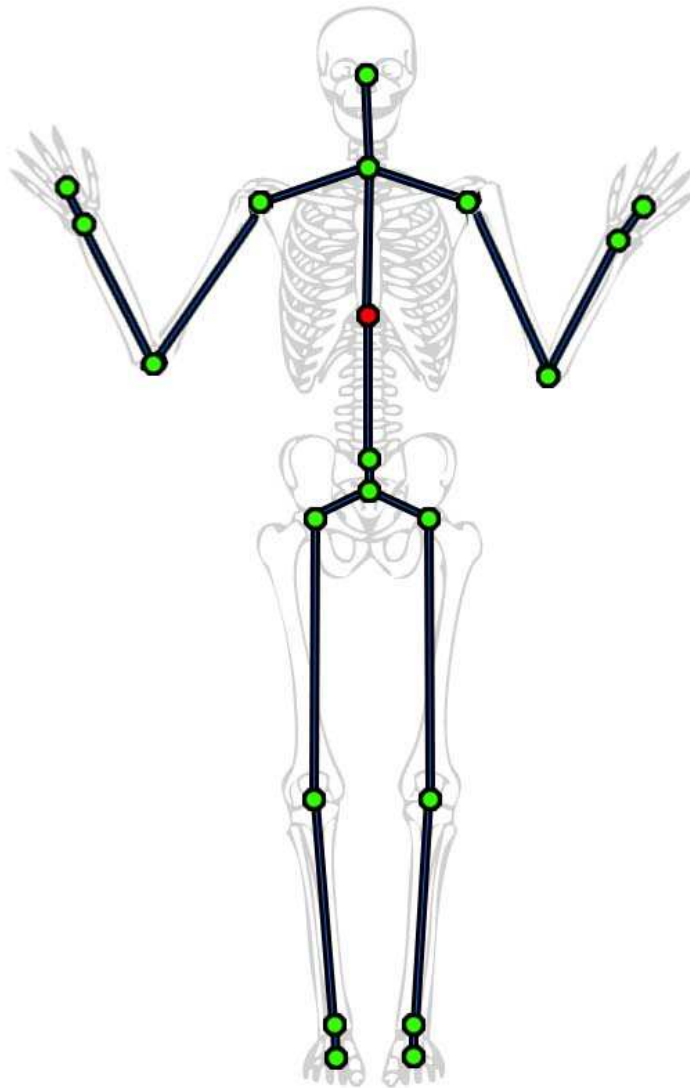


Abbildung 4.8: Die Abbildung zeigt die zweite Pose. Hier werden die Ellenbogen angezogen, so dass ein Winkel entsteht der kleiner ist als 90° beträgt.

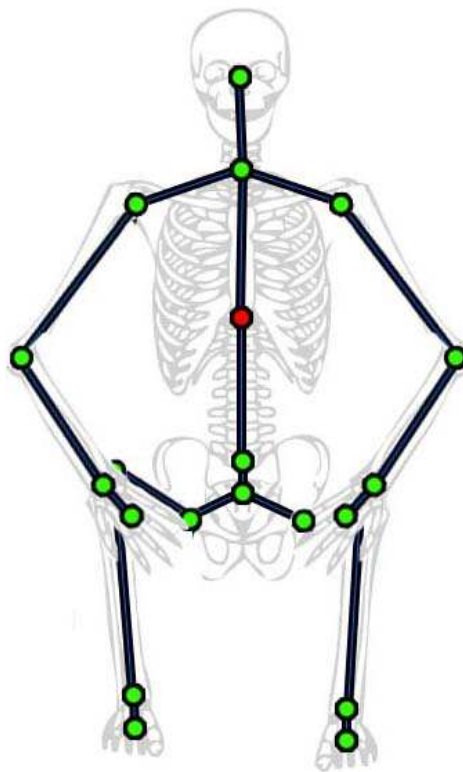


Abbildung 4.9: Die Abbildung zeigt die dritte Pose. Die Pose zeigt die Hockstellung wobei die Hände auf den Knien liegen.

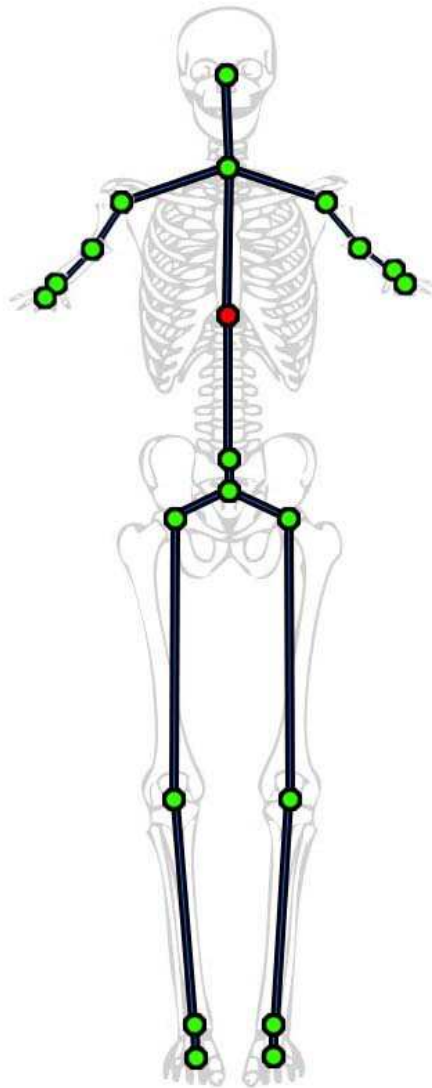


Abbildung 4.10: Die Abbildung zeigt die vierte Pose. Hierbei werden die Arme parallel nach vorne vom Körper weggestreckt.

Kapitel 5

Implementierung der Algorithmen

Die Microsoft Kinect SDK liefert mit der Anwendung SkelettViewer, eine Möglichkeit die vorhandenen Algorithmen aus Kapitel 4 zu Implementieren und zu Evaluieren. Die ursprüngliche Anwendung SkelettViewer (Abbildung 5.1) dient dazu, dass das erfasste menschliche Skelett durch ein virtuelles Skelett in dieser Anwendung sichtbar repräsentiert werden kann.

Dabei enthält die ursprüngliche Anwendung drei Anzeigen. Eine Anzeige dient dazu, dem Benutzer das Tiefenbild anzuzeigen. Eine weitere Anzeige soll dem Benutzer das erfasste menschliche Skelett anzeigen. Die letzte Anzeige dient dazu, dass aufgenommene Farbbild der RGB-Kamera dazustellen.

Dabei beinhaltet die Anwendung das Erfassen des menschlichen Skelettes durch die Kinect und somit auch die Visualisierung der erfassten Gelenkinformationen. Diese werden als C++ Code, von der Microsoft Kinect SDK geliefert.

Da es im zeitlichen Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich ist, von Grund auf einen eigenen Prototypen zu entwickeln, der bei der Evaluation der entwickelten Algorithmen hilft und die Visualisierung des erfassten menschlichen Skelettes übernimmt, wurde die Anwendung von der Microsoft Kinect SDK verwendet und angepasst, da diese bei der Installation der Kinect SDK als Sourcecode vorliegt.

Nach der Implementierung der Algorithmen aus Kapitel 4.1.1 und aus Kapitel 4.2 als eigenständiges Modul in die bereits vorhandene Anwendung SkelettViewer, wurden der grafischen Oberfläche einige Objekte der Anwendung hinzugefügt. (Abbildung 5.2) Neben den bereits bekannten Anzeigen der Tiefeninformation des virtuellen Skelettes und der RGB-Kamera, enthält nun die grafische Oberfläche ein Dropdown-Menü (1), mit dem es möglich ist, einige zuvor definierte Körperposenregeln auszuwählen.

Durch die schon vorhandene Auswahlmöglichkeit der angeschlossenen Kinect gibt es nun die Möglichkeit, den Neigungswinkel der Kinect einstellen zu können. Neben der Möglichkeit zum Einstellen der Regeln gibt es noch eine Ausgabe (3), die angibt, ob die geforderte

5. IMPLEMENTIERUNG DER ALGORITHMEN

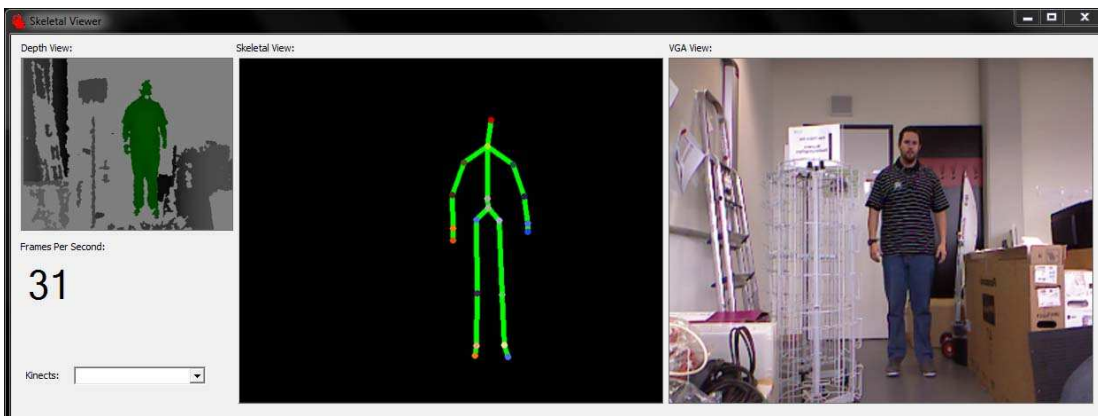


Abbildung 5.1: Die Abbildung zeigt das Skelettviewer Beispiel aus der Kinect SDK von Microsoft. Es zeigt von rechts angefangen, drei Anzeigen: Die erste Anzeige ist die Tiefenanzeige, es folgt eine Anzeige für das erfasste Skelett und die letzte Anzeige ist für die RGB-Kamera gedacht.

Körperposenregel mit der gemachten Körperpose übereinstimmt oder ob sie nicht mit der definierten Regel übereinstimmt.



Abbildung 5.2: Die Abbildung zeigt die drei Objekte, die der grafischen Oberfläche hinzugefügt worden sind.

Die Entwicklung und Implementierung der Algorithmen und das Anpassen der bereits existierenden Anwendung SkelettViewer wurde mit der Programmierumgebung Visual Studio 2010 von Microsoft vorgenommen. Dabei wurde die Microsoft Kinect SDK beta2 verwendet.

Bei der Verwendung der angepassten Anwendung SkelettViewer enthält die grafische Oberfläche eine zusätzliche Anzeige, mit deren Hilfe es dem Benutzer möglich ist, die erfasste Körperpose mit einem virtuell erzeugten Skelett zu vergleichen. Das virtuell erzeugte Skelett enthält, beispielhaft an der linken Schulter, dabei die ermittelten Gelenkwinkel und soll in etwa die gleiche Pose repräsentieren wie die gemachte und somit erfasste Körperpose.

Der Vergleich durch die grafische Oberfläche und somit der beiden gezeigten Skelette, dient dem Benutzer nur als optisches Feedback und trägt nicht zur Evaluation der Algorithmen

bei.

5.1 Entwicklung eines Regeleditors als Prototyp

Neben der Entwicklung und Implementierung der Algorithmen aus Kapitel 4.1.1 und Kapitel 4.2 zur Ermittlung der Gelenkrotationen bzw. der Gelenkwinkel wird in dieser Arbeit ein Regeleditor entwickelt, der als Prototyp umgesetzt wird.

Bei der Benutzung einer Anwendung wie beispielsweise Motivation60+, in dem sich spielerisch ältere Menschen durch Körperbewegungen am Computer fit halten können, werden zur Überprüfung der Körperbewegungen Regeln definiert.

Diese Regeln enthalten unter anderem verschiedene Gelenkwinkel, die bei der Überprüfung der Posen verwendet werden. Da man solch eine Anwendung von zu Hause aus am eigenen Computer benutzen möchte, wäre es von Vorteil, die zuvor definierten Regeln oder entsprechend neue Regeln durch Ärzte oder Sportmediziner definieren bzw. ändern lassen zu können.

Der Regeleditor besitzt für die Erstellung der Posen drei Bereiche, die Front-, die Seiten- und die Top-Ansicht. Neben diesen Bereichen besitzt der Editor einige Felder, in dem Winkel eingetragen sind. Dem Benutzer soll es möglich sein, durch Anklicken der Gelenkpunkte und das Eintragen der Werte in die dafür vorgesehenen Felder eigenständig und ohne Hilfe Regeln für Posen erstellen zu können.

Neben dem Hauptfenster (Abbildung 5.3) besitzt der Editor ein zweites Fenster. (Abbildung 5.4) In diesem Fenster sollen alle eingetragenen Koordinaten und definierten Winkel dem Benutzer als Übersicht stehen. Der Benutzer kann die selbst definierten Regeln speichern und in das vorhandene Forschungsprojekt Motivation60+ laden. Der Regeleditor wird als Prototyp umgesetzt, mit dem es möglich ist, Winkel für die gezeichneten Skelette anzugeben.

5. IMPLEMENTIERUNG DER ALGORITHMEN

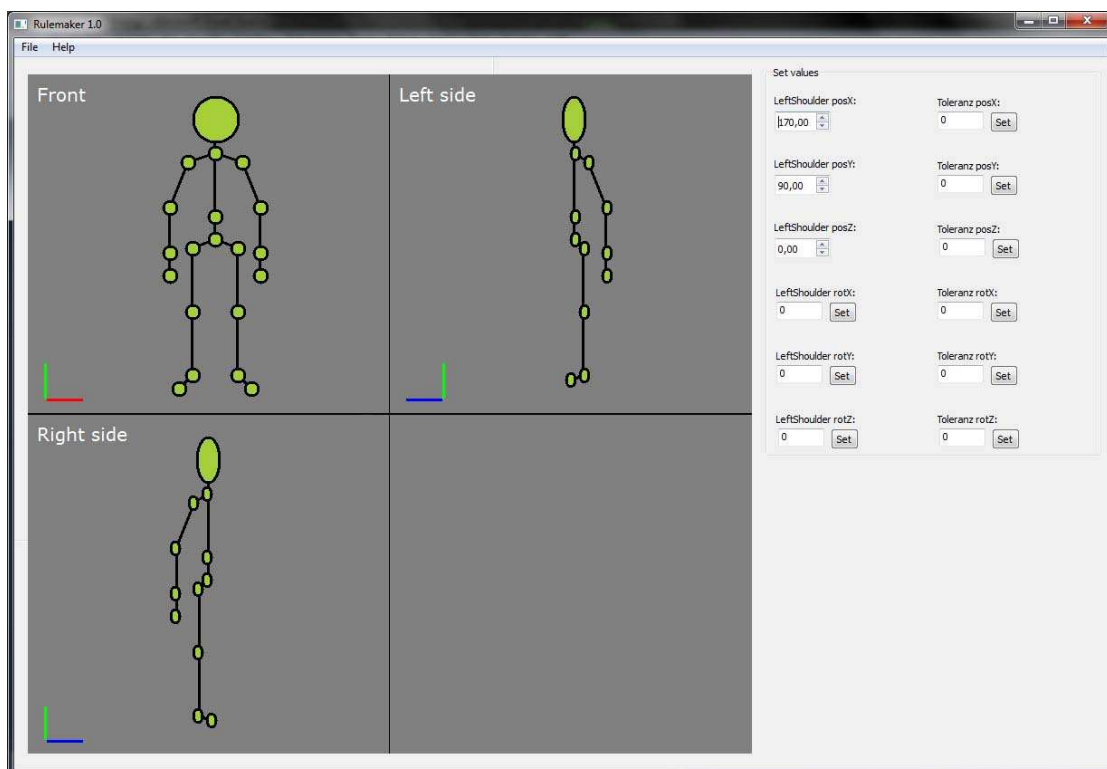


Abbildung 5.3: Die Abbildung zeigt die Oberfläche des RegelEditors.



The image shows a window titled 'DebugWindow' containing a table of bone values. The table has two main sections: 'Pos' (Position) and 'Rot' (Rotation), each with X, Y, and Z columns. The rows list various body parts such as Head, Neck, Left/Right shoulder, elbow, wrist, hand, hip, knee, ankle, and foot. The values are numerical, with many zeros in the Z column.

	Pos:			Rot:		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Head	200.0	25.0	0.0			
Neck	200.0	80.0	0.0			
Left shoulder	170.0	90.0	0.0			
Left elbow	150.0	140.0	0.0			
Left Wrist	150.0	190.0	0.0			
Left Hand	150.0	215.0	0.0			
Right shoulder	230.0	90.0	0.0			
Right elbow	250.0	140.0	0.0			
Right wrist	250.0	190.0	0.0			
Right hand	250.0	215.0	0.0			
Root bone	200.0	150.0	0.0			
Center hip	200.0	175.0	0.0			
Left Hip	175.0	185.0	0.0			
Left Knee	175.0	255.0	0.0			
Left Ankle	175.0	325.0	0.0			
Left foot	160.0	340.0	0.0			
Right Hip	225.0	185.0	0.0			
Right Knee	225.0	255.0	0.0			
Right Ankle	225.0	325.0	0.0			
Right foot	240.0	340.0	0.0			

Abbildung 5.4: Die Abbildung zeigt die Oberfläche der Kontrollanzeige des RegelEditors.

Kapitel 6

Ergebnisse

6.1 Ergebnis der Gegenüberstellung beider Algorithmen

Bei der Gegenüberstellung der Algorithmen aus Kapitel 4.1.1 und aus Kapitel 4.2 wurden verschiedene exemplarische Körperhaltungen zur Ermittlung der Gelenkwinkel verwendet. Diese Körperposen wurden dazu genutzt, um eine erste Aussage über die entwickelten Algorithmen treffen zu können. Dabei wurden exemplarisch fünf Körperhaltungen definiert, die bei der Gegenüberstellung der Algorithmen verwendet wurden. Hierbei wurden beide Algorithmen in eine vorhandene Anwendung implementiert.

Für eine erste Aussage, wurde jeweils die gleiche Körperpose erfasst und die geschätzten bzw. die errechneten Wert wurden in eine Datei geschrieben. Diese Werte, werden dann in den kommenden Tabellen gegenübergestellt. Am Ende des Kapitels, wird eine erste Aussage über die Algorithmen getroffen und dabei ist zu beachten, dass eine Durchführung einer genaueren Evaluation der Algorithmen nicht im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit möglich ist.

Die folgende Zusammenfassung enthält alle zuvor im Kapitel 4.3 beschriebenen Körperposen:

1. Pose 1

- Die Füße stehen parallel nebeneinander auf dem Boden
- Die Arme werden ca. in 90° aufgespannt und ähneln den Flügeln bei einem Flugzeug
- Bei dieser Position nehmen sie eine angenehme Rückenposition ein
- Auf der Abbildung 4.7 sehen Sie diese Körperpose

2. Pose 2

- Die Ellenbogen werden angezogen, so dass ein Winkel entsteht der kleiner 90° ist
- Die Hände werden nach vorne vom Körper weggehalten

- Die Füße stehen parallel neben einander auf dem Boden
- Auf der Abbildung 4.8 sehen Sie diese Körperpose

3. Pose 3

- Hierbei nehmen Sie die Hockenposition ein
- Die Hände fassen dabei die Knie an
- Auf der Abbildung 4.9 sehen Sie diese Körperpose

4. Pose 4

- Die Hände werden nach vorn und leicht nach unten gehalten
- Die Beine und Füße stehen dabei parallel und nach vorne zeigend, nebeneinander
- Auf der Abbildung 4.10 sehen Sie diese Körperpose

5. Pose 5

- Die Ellenbogen werden parallel in einen Winkel von ca. 90° vor das Gesicht gehalten
- Die Beine und Füße stehen parallel und nach vorne zeigen, nebeneinander

Bei der Gegenüberstellung wurden verschiedene Parameter gewählt. Diese Parameter beinhalten die Informationen welche Winkel, für die Gegenüberstellung beider Algorithmen und somit für einen direkten Vergleich verwendet wurde. Dabei beziehen sich diese Werte auf erfasste Rotationswinkeln. Wie bereits bekannt gemacht wurde, ist man nicht in der Lage, eine Rotation des Kopfes, des Handgelenkes und des Fußes schätzen zu können, da die Erkennung zu wenige Anhaltspunkte zur Schätzung einer Rotation besitzt. Diese werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die folgenden Tabellen enthalten die aufgezeichneten Winkel, die bei der Erfassung der Körperposen durch beide Algorithmen ermittelt wurden. Dabei werden 10° als Toleranz angegeben. Bei den Tabellen wurden einige Abkürzungen verwendet.

Bei der Abkürzung A1, handelt es sich um den im Kapitel 4.1.1 beschriebenen ersten Algorithmus der die Gelenkrotationen eines erfassten Skelettes schätzt. Die Abkürzung A2, steht für den Algorithmus aus Kapitel 4.2, der die Gelenkwinkel über die verschiedenen Ebenen Projektionen errechnet. Für Werte in den Tabellen, bei denen es mit den Algorithmen nicht möglich war Werte zu erfassen, wurde das Zeichen - verwendet.

Bei den nachfolgenden Ergebnissen, handelt es sich um Gelenkwinkel die mit den Algorithmen geschätzt wurden. Diese Winkel wurden so in den Tabellen eingetragen, wie diese an den Gelenken geschätzt wurden. Hierbei spielt die Betrachtung der Schätzung an der Schulter und der Hüfte eine besondere Rolle. Da die Schätzung an den beiden Gelenken

6.1. Ergebnis der Gegenüberstellung beider Algorithmen

nicht eindeutig ist.

POSE1	A1 ROT. X	ROT Y	ROT Z	A2 ROT. X	ROT Y	ROT Z
Kopfrotation	-	-	-	-	-	-
Schulterrotation links	101.07	-47.60	31.31	61.13	8.58	85.28
Ellenbogen links	148	-	-	131.63	-	-
Handgelenk links	-	-	-	86.77	-	-
Hüfte links	-58.43	114.76	4.07	5.33	70.13	1.93
Knie links	175.56	-	-	177.77	-	-
Fersengelenk links	69.41	-	-	47.25	-	-
Schulterrotation rechts	95.73	48.56	-25.22	51.90	171.05	82.96
Ellenbogen rechts	154.77	-	-	142.65	-	-
Handgelenk rechts	-	-	-	5.85	-	-
Hüfte rechts	-59.43	118.76	5.07	6.56	73.43	2.33
Knie rechts	176.45	-	-	169.89	-	-
Fersengelenk rechts	71.14	-	-	101.46	-	-

Tabelle 6.1: Resultate der ersten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen.

POSE 2	A1 ROT. X	ROT Y	ROT Z	A2 ROT. X	ROT Y	ROT Z
Kopfrotation	-	-	-	-	-	-
Schulterrotation links	17.66	19.27	85.02	9.85	3.29	71.68
Ellenbogen links	105.54	-	-	34.23	-	-
Handgelenk links	-	0	-	-	0	-
Hüfte links	-82.04	61.23	-56.98	4.96	70.14	1.80
Knie links	176.96	-	0	177.58	-	-
Fersengelenk links	69.97	-	0	46.67	-	-
Schulterrotation rechts	7.64	-23.50	-83.12	16.67	172.07	65.06
Ellenbogen rechts	73.5	-	0	156.41	-	-
Handgelenk rechts	-	0	-	-	0	-
Hüfte rechts	-92.04	66.25	-62.78	7.06	75.16	2.83
Knie rechts	182.13	-	0	168.07	-	-
Fersengelenk rechts	89.42	-	0	19.45	-	-

Tabelle 6.2: Resultate der zweiten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen.

6. ERGEBNISSE

POSE 3	A1 ROT. X	ROT Y	ROT Z	A2 ROT. X	ROT Y	ROT Z
Kopfrotation	-	-	-	-	-	-
Schulterrotation links	163.71	-46.21	79.91	5.34	5.67	43.26
Ellenbogen links	57.39	-	0	0168.12	-	-
Handgelenk links	-	0	-	-	0	-
Hüfte links	239.10	-8.74	-11.14	43.52	72.55	16.62
Knie links	88.86	-	0	133.44	-	-
Fersengelenk links	25.54	-	0	7.51	-	-
Schulterrotation rechts	140.44	52.73	-57.98	7.31	167.12	29.30
Ellenbogen rechts	125.91	-	0	019.16	-	-
Handgelenk rechts	-	0	-	-	0	-
Hüfte rechts	236.75	8.59	13.12	39.19	68.12	15.72
Knie rechts	86.26	-	0	108.34	-	-
Fersengelenk rechts	22.46	-	0	15.13	-	-

Tabelle 6.3: Resultate der dritten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen.

POSE 4	A1 ROT. X	ROT Y	ROT Z	A2 ROT. X	ROT Y	ROT Z
Kopfrotation	-	-	-	-	-	-
Schulterrotation links	154.53	-44.40	73.91	84.58	84.34	43.23
Ellenbogen links	68.07	0	-	167.68	-	-
Handgelenk links	-	0	-	25.21	0	-
Hüfte links	59.48	-9.91	-11.87	43.65	72.61	16.63
Knie links	90.80	-	-	133.60	-	-
Fersengelenk links	116.05	-	-	96.96	-	-
Schulterrotation rechts	138.72	53.31	-55.60	7.70	166.42	29.22
Ellenbogen rechts	125.45	-	-	150.78	-	-
Handgelenk rechts	-	-	-	15.68	-	-
Hüfte rechts	56.70	-8.90	-10.54	39.11	42.20	12.68
Knie rechts	8.02	-	-	108.53	-	-
Fersengelenk rechts	102.61	-	-	115.26	-	-

Tabelle 6.4: Resultate der vierten Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen.

POSE 5	A1 ROT. X	ROT Y	ROT Z	A2 ROT. X	ROT Y	ROT Z
Kopfrotation	-	-	-	-	-	-
Schulterrotation links	-21.60	-19.15	29.19	102.71	71.54	121.84
Ellenbogen links	78.15	-	-	6.33	-	-
Handgelenk links	-	0	-	161.07	-	-
Hüfte links	-77.90	65.71	-7.99	7.34	61.50	4.0
Knie links	176.06	-	-	176.60	-	-
Fersengelenk links	68.32	-	-	43.16	-	-
Schulterrotation rechts	-21.21	12.03	-24.64	98.71	123.23	10.3.07
Ellenbogen rechts	84.69	-	-	177.99	-	-
Handgelenk rechts	-	0	-	-	0	-
Hüfte rechts	-70.50	179.25	15.78	103.75	151.55	56.85
Knie rechts	179.59	-	-	128.56	-	-
Fersengelenk rechts	-	0	-	-	0	-

Tabelle 6.5: Resultate der fünften Pose, bei der Gegenüberstellung beider Algorithmen.

6.2 Auswertung der Gegenüberstellung

Bei der Gegenüberstellung der beiden Algorithmen, wurden wie bereits in Kapitel 4.3 beschrieben, verschiedene exemplarische Körperposen zur Ermittlung der Gelenkwinkel verwendet. Nach dem der Proband alle fünf exemplarischen Körperposen vor der Kinect mit der vorhandenen und veränderten Anwendung SkelettViewer verrichtet hat und die daraus Resultierenden Werte der erfassten Gelenkwinkel aufgezeichnet wurden, kann man eine erste Aussage über die Genauigkeit der geschätzten Werte der Algorithmen treffen. Wenn man bei der Ermittlung der Werte die Toleranzen und die eventuell gemachten Messfehler mit berücksichtigt, liefern die Algorithmen zu mindestens Teilweise für einige Gelenke nahe zu die gleichen Gelenkwinkel. Bei der Auswertung der Gegenüberstellung, werden nur die erfassten Gelenkwinkel berücksichtigt.

Wie man in den Tabellen aus Kapitel 6.1 ablesen kann, gibt es bei den Werten, die die beiden Algorithmen ausgeben doch große Unterschiede. Auch ist es mit dem momentanen Stand nicht möglich, eine genaue Aussage über die Kopf- und Handrotation zu treffen, da die Hand und der Kopf der Person, welche das System anwendet, bei der Erfassung durch die Kinect nur durch einen einzigen Gelenkpunkt am Computer repräsentiert werden. Ein Möglicher Grund für die abweichende Genauigkeit der gelieferten Werte, könnte sein, dass bei der Schätzung der Gelenkrotationen bzw. der Ermittlung der Gelenkwinkel der Algorithmen, beide eine unterschiedliche Herangehensweisen verfolgen.

Besonders deutlich erkennbar sind die Unterschiede in der Herangehensweise, wenn es um die Ermittlung der Schulterrotation geht. Bei dem Algorithmus aus Kapitel 4.1.1 ist das Ergebnis der Schätzung der Schulterrotation ein Tripel aus Eulerwinkel. Diese Winkel ent-

sprechen nicht den Winkeln, die man auf den ersten Blick bei der gemachten Körperpose erwarten würde.

Diese Winkel sind nicht falsch, da die Schätzung dieser Winkel, wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben worden ist, auf verschiedene Arten gelöst werden kann. Diese Winkeltripel sind dazu geeignet, eine Rekonstruktion eines 3D-Avatares bzw. eines virtuellen Skelettes am Computer durchzuführen.

Bei der Erkennung der Schulterwinkel mit dem Algorithmus aus Kapitel 4.1.1, ist im direkten Vergleich ein deutlicher Unterschied der Winkel zu erkennen. Die Winkel die mit dem zweiten Algorithmus aus Kapitel 4.2 durch die Projektion der Ebenen errechnet wurden, lassen eher darauf deuten, dass diese Gelenkwinkel in etwa der gehaltenen Körperpose entspricht. Jedoch sind die erkannten Schulterwinkel, analog dazu die erfassten Hüftwinkel, nicht dazu geeignet, um mit diesem Algorithmus einen 3D-Avatar am Computer mittels eines erfassten menschlichen Skeletts rekonstruieren zu können.

Als zusammenfassendes Ergebnis, kann man folgende Aussage treffen.

Beide Algorithmen die zur Ermittlung von Gelenkrotation bzw. Gelenkwinkel konzipiert, entwickelt und in die vorhandene Anwendung SkelettViewer von der Microsoft Kinect SDK implementiert wurden, liefern bei der Erfassung des menschlichen Skeletts für fast jedes Gelenk, entsprechende Gelenkwinkel bzw. Rotationswinkel.

Eine genauere Fehlerbetrachtung der verschiedenen Werte und somit die Fehlerbetrachtung der Algorithmen, ist im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Nach dem nun die Algorithmen in die vorhandene Anwendung implementiert worden sind, ist es zwingend erforderlich eine Evaluation der Kinect vorzunehmen. Im kommenden Kapitel wird an Hand von zwei Probanden, die Genauigkeit der Erfassung des menschlichen Skeletts evaluiert.

6.3 Evaluation der Genauigkeit bei der Erfassung von Daten mittels Kinect

Im vorigen Kapitel wurden die beiden Algorithmen aus den Kapiteln 4.1.1 und 4.2 durch verschiedene definierte Posen evaluiert. Dabei wurden die Ergebnisse der geschätzten Gelenkrotation bzw. die errechneten Gelenkwinkel in einem direkten Vergleich gegenübergestellt. Nach dem nun die Algorithmen evaluiert wurden, erfolgt in diesem Kapitel die Evaluation der Kinect.

Um sicher zu stellen, dass die Kinect relativ genau arbeitet, wird hier, bei der Kinect auf die Genauigkeit der Erfassung des menschlichen Skeletts und somit die Erfassung der einzelnen Gelenke großen Wert gelegt. Zur Evaluation, werden zwei Probanden verwendet.

Die Probanden haben die Aufgabe, sich in einer natürlichen Haltung vor die Kinect zu stellen. Das heißt, die Arme hängen locker in Richtung Boden, dabei ist die Rückenhaltung aufrecht und in einer geraden Position, wenn dies möglich ist. Dabei schauen die Probanden gerade aus zur Kinect.

Die Vermessung der Probanden erfolgt durch messen der Längen zwischen den Gelenken. Die Messung erfolgt hierbei durch ein Flexibles Messband. Die gemessenen Werte können gegebenenfalls abweichen, da diese Art der Vermessung nicht optimal ist. Eine Vermessung mit einem Laser, ist aus technischen Gründen nicht möglich. Da diese Technik nicht zur Verfügung steht.

Nach der Messung werden die Probanden durch die Kinect erfasst. Die Länge zwischen den erfassten Gelenkpunkten wird berechnet und in ein Verhältnis zur realen Knochenlänge gesetzt. Dabei steht die Kinect in ca. 89,5cm auf dem Tisch und steht in einer Entfernung von ca. 213 cm zu den Probanden.

Bevor nun die Länge zwischen den erfassten Gelenken berechnet werden und mit den realen Werten verglichen werden kann, muss nun das Verhältnis des Abstandes von der Kinect zum Probanden berechnet werden. Dazu wird die gemessene Entfernung von der Kinect zum Probanden genutzt. Da die Kinect in der Lage ist, dass menschliche Skelett zu erfassen und diese als x-, y- und z-Koordinaten Am Computer vorliegen, kann man sich die z-Koordinate des Kopfes zu Hilfe nehmen und somit das ungefähre Verhältnis zwischen den am Computer errechneten Knochenlängen und den real gemessenen Knochenlängen ausrechnen.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhältnis der Koordinate zur gemessenen Entfernung.

Ermittelte Kopffernung zur Kinect in cm	z-Koordinate des Kopfes
213	2.37
1	0.011267056
10	0.11267056
100	1.1267056

Tabelle 6.6: Umrechnungstabelle der Entfernung zwischen der Kinect und dem Probanden

Bei der Vermessung der Probanden, wird davon ausgegangen, dass beide Körperseiten in etwa die gleichen Längen besitzen. Die gemessenen Werte geben einen relativ genauen Eindruck, über die Verhältnisse der Knochenlängen. Bei der Vermessung der Probanden und die dadurch gelieferten Werte ist zu berücksichtigen, dass eventuelle Messfehler oder Rechenfehler das Ergebnis verfälschen können.

Die folgende Tabelle zeigt die realgemessenen Knochenlängen. Die darauffolgende Tabelle zeigt die errechneten virtuellen Knochenlängen, an Hand der Werte die bei der Erfassung

6. ERGEBNISSE

durch die Kinect zur Verfügung gestellt wurden.

REALE GEMESSENE LÄNGE IN CM	PROBAND 1	PROBAND 2
Kopf zu Nacken	15	17
Nacken zur linke Schulter	16	20
Linke Schulter zur linken Ellenbogen	27	31
Linken Ellenbogen zum linken Handgelenk	25	26
Linkes Handgelenk zur linken Hand	6	8
Nacken zur Hüfte	45	49
Hüfte zur linken Hüfte	18	23
Linke Hüfte zum linken Knie	39	38
Linkes Knie zum linken Fußgelenk	42	42
Linkes Fußgelenk zum linken Fuß	8	17

Tabelle 6.7: Resultate der real gemessenen Knochenlängen zwischen den Gelenken.

VIRTUELLE LÄNGE in cm	PROBANT 1	PROBANT 2
Kopf zu Nacken	17.7	17.71
Nacken zur linke Schulter	20.44	19.75
Linke Schulter zur linken Ellenbogen	24.30	25.98
Linken Ellenbogen zum linken Handgelenk	20.42	21.98
Linkes Handgelenk zur linken Hand	10.08	9.85
Nacken zur rechten Schulter	20.42	19.90
Rechte Schulter zum rechten Ellenbogen	24.98	25.39
Rechten Ellenbogen zum rechten Handgelenk	22.24	25.49
Rechtes Handgelenk zur rechten Hand	10.54	7.79
Nacken zur Hüfte	42.12	43.74
Hüfte zur linken Hüfte	10.66	10.20
Linke Hüfte zum linken Knie	48.56	50.10
Linkes Knie zum linken Fußgelenk	33.25	32.35
Linkes Fußgelenk zum linken Fuß	10.90	8.05
Hüfte zur rechten Hüfte	10.79	9.99
Rechte Hüfte zum rechten Knie	47.30	49.24
Rechtes Knie zum rechten Fußgelenk	34.06	33.90
Rechtes Fußgelenk zum rechten Fuß	9.23	6.95

Tabelle 6.8: Resultate der errechneten virtuellen Knochenlängen zwischen den Gelenken.

Als Ergebnis der Evaluation der Kinect, läßt sich anhand der gemessenen und errechneten Werte bei dem Vergleich der Werte der zwei Probanden das folgende Ergebnis herausfiltern.

Die Kinect liefert bei der Erfassung der Probanden relativ genaue Werte des menschlichen

6.3. Evaluation der Genauigkeit bei der Erfassung von Daten mittels Kinect

Skeletts. Wird die Entfernung der Probanden zur Kinect verändert, verändert sich auch das Verhältnis der virtuellen gemessenen Knochenlängen. Die Kinect ist trotz der hohen Genauigkeit, nicht mehr in der Lage das menschliche Skelett zu erfassen und somit Werte für jedes Gelenk zu liefern, wenn ein oder mehrere Gelenkpunkte übereinander liegen.

Kapitel 7

Weitere Arbeiten

7.1 Zusammenfassung der Bachelorarbeit

Die Bachelorarbeit umfasst die Konzipierung, Entwicklung und Implementierung von Algorithmen zur Bestimmung von Gelenkrotationen. Hierbei werden zwei Algorithmen gezeigt, die verschiedene mathematische Vorgehensweisen zum Schätzen der Gelenkwinkel verwenden. Diese beiden Varianten können dann beispielsweise in das Forschungsprojekt *Motivotion60+* des Institut für grafische Datenverarbeitung Fraunhofer integriert werden.

Dieses Projekt befasst sich mit dem spielerischen Fithalten von Menschen ab 60 Jahren. Durch verschiedene Körperposen und Bewegungen ist es in diesem Projekt möglich, Spiele zu steuern. Dabei ist es wichtig, die einzelnen Posen zu kontrollieren und mit vorgegebenen Posen zu vergleichen. An diesem Punkt werden Regeln definiert, die mit einem der beiden Algorithmen arbeiten. Bei der Erkennung der Posen werden die einzelnen Rotationswinkel errechnet und diese für die Regeln und den Vergleich der gemachten Posen verwendet. In dieser Bachelorarbeit wird zudem ein Editor entwickelt, der dem Benutzer die Möglichkeit geben soll, selbst Regeln für solche Anwendungen wie etwa *Motivotion60+* zu erstellen.

Dabei befasst sich die Bachelorarbeit mit aktuellen Kamerasystemen und verschiedenen Möglichkeiten zum Erfassen von Körperbewegungen. Die bekanntesten Techniken zum Erfassen von Personen und damit die Körperbewegungen sind die markerbasierten und die markerlosen Erfassungssysteme. Diese Techniken werden bei aktuellen Kinofilmen verwendet. Man spricht bei dieser Technik auch von *Motion Capturing*.[\[MM00\]](#)

Je nach dem welches Erfassungssystem man wählt, ist es zwingend erforderlich, ein passendes Kamerasystem zu wählen. Bei der Entwicklung der beiden Algorithmen wurde das Kamerasystem Kinect von Microsoft gewählt.

7.2 Ausblicke auf mögliche weitere Arbeiten mit den Algorithmen

Bei der Entwicklung und Evaluation der Algorithmen, ist es im zeitlichen Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich, alle angewandte Methoden, alle vorgehensweisen bei der Evaluation bis ins kleinste Detail auszuarbeiten. Deshalb folgen hier nun einige mögliche Ausarbeitungen, die in einem Rahmen außerhalb dieser Bachelorarbeit interessant sein könnten.

Die Entwicklung beider Algorithmen dient dazu, ein Evaluationsmodul bei der Überprüfung von Körperposen und Körperbewegungen zu unterstützen. Hierbei könnte eine weitere Ausarbeitung eines Algorithmus sein, die Genauigkeit der Erfassung bzw. die Errechnung der Rotationswinkel zu verbessern. Die Algorithmen und die Erfassung könnten so verbessert werden, dass sie mit zusätzlichen Informationen die Kopfrotationen errechnen können.

Eine weitere interessante Weiterentwicklung mit einem der beiden Algorithmen wäre eine Integration in das Animationsprogramm Autodesk Maya. Hierbei wäre die Idee, die Kinect und einen der beiden Algorithmen so weiter zu entwickeln, dass es möglich ist, anhand der erfassten Körperbewegungen bzw. der erfassten Körperposen Bewegungsinformationen an Autodesk Maya zu übergeben und somit 3D Avatare zu steuern.

7.3 Ausblicke auf mögliche weitere Arbeiten mit dem Regeleditor

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde der Regeleditor nur prototypisch umgesetzt, zur Anwendung für das Projekt Motivotion 60 + bedarf er einer weiteren Ausarbeitung.

Nach dem der Regeleditor fertiggestellt worden ist und somit kein Prototyp mehr ist, soll der Regeleditor in das vorhandene Forschungsprojekt Motivotion60+ des Fraunhofer IGD integriert werden.

Eine weitere Ausarbeitung des Regeleditors könnte sein, dass die Anzeige des gezeichneten Skelettes als 3D-Ansicht überarbeitet wird. Alternativ zur 3D-Ansicht könnte man dem Benutzer die Wahl geben, welche Ansicht gezeigt werden soll.

Neben den Verbesserungen der Ansichten wäre es auch möglich, den Regeleditor direkt in das Forschungsprojekt Motivotion60+ zu integrieren. Dies bedeutet, dass der Regeleditor nicht mehr als eigenständige Anwendung läuft, sondern ein Bestandteil des Forschungsprojektes ist.

Literaturverzeichnis

- [BB06] BENDER, Michael ; BRILL, Manfred: *Computergrafik*. 2. überarbeitete Auflage. München, Wiesbaden : Hanser Verlag, 2006. – ISBN 978-3-446-40434-2
- [BD09] BETTNER, Marco ; DINGES, Erik: *Grundwissen Pythagoras und Trigonometrie - 9./10. Klasse*. 2. Aufl. Buxtehude : Persen Verlag, 2009. – ISBN 978-3-834-42674-1
- [Cam12] CAMPBELL, Mac G.: *Kinect imaging lets surgeons keep their focus*. <http://www.newscientist.com/article/mg21428655.200-kinect-imaging-lets-surgeons-keep-their-focus.html>, 05 2012
- [CC03] C. CHU, M. M. O. JENKINS J. O. JENKINS: *Towards Model-free Markerless Motion Capture, Intl. Conf. On Robotics and Automation Taipei, Taiwan, 2003*. 2003
- [DIRC08] DR.-ING. ROMAN CALOW, Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd M.: *Markerlose Ganganalyse unter Nutzung eines 3-D-Menschmodells*. (2008)
- [Gav99] GAVRILA, D.: *The Visual Analysis of Human Movement: A Survey, Computer Vision and Image Understanding*. 1999
- [Kui02] KUIPERS, Jack B.: *Quaternions and Rotation Sequences - A Primer with Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality*. Reprint. Kassel : Princeton University Press, 2002. – ISBN 978-0-691-10298-6
- [MBRS11] MEHLER-BICHER, Anett ; REISS, Michael ; STEIGER, Lothar: *Augmented Reality - Theorie und Praxis*. München : Oldenbourg Verlag, 2011. – ISBN 978-3-486-59837-7
- [MG01] MOESLUND, T. ; GRANUM, E.: *A Survey of Computer Vision- Based Human Motion Capture, Computer Vision and Image Understanding*. 81. 2001
- [MM00] MENACHE, Alberto ; MANACHE, Alberto: *Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games*. San Francisco, Calif : Morgan Kaufmann, 2000. – ISBN 978-0-124-90630-3
- [Rie11] RIESSINGER, Thomas: *Mathematik für Ingenieure - Eine anschauliche Einführung für das praxisorientierte Studium*. 8. Aufl. Berlin : Springer DE, 2011. – 1-696 S. – ISBN 978-3-642-16850-5
- [Sla99] SLABAUGH, G.: *Computing Euler angles from a rotation matrix*. (1999)
- [Sze10] SZELISKI, Richard: *Computer Vision - Algorithms and Applications*. 2011. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. – ISBN 978-1-848-82934-3
- [Wes11] WESTERMANN, Thomas: *Mathematik für Ingenieure - Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch*. 6. Aufl. Berlin : Springer DE, 2011. – 1-695 S. – ISBN 978-3-642-12759-5
- [WS02] WAGNER, Daniel ; SCHMALSTIEG, Dieter: *Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study*. (2002)
- [WS07] WAGNER, Daniel ; SCHMALSTIEG, Dieter: *ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices*. (2007)

LITERATURVERZEICHNIS

- [WSnt] WAGNER, Daniel ; SCHMALSTIEG, Dieter: Real-Time Markerless Human Body Tracking with Multi-View 3-D Voxel Reconstruction. (Unbekannt)