



Gesten- und Sprachsteuerung für einen mobilen Roboter mittels Kinect for Windows unter Java

Studienarbeit

für die Prüfung zum

Bachelor of Science

der Angewandte Informatik

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

von

Simon Ebner, Volker Werling

Januar 2013

Bearbeitungszeitraum
Matrikelnummer, Kurs
Gutachter

12 Wochen
5837963 7012192, TAI10B2
Prof. Hans-Jörg Haubner

Erklärung

Wir erklären hiermit ehrenwörtlich:

1. dass wir unsere Studienarbeit mit dem Thema *Gesten- und Sprachsteuerung fuer einen mobilen Roboter mittels Kinect for Windows unter Java* ohne fremde Hilfe angefertigt haben;
2. dass wir die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet haben;
3. dass wir unsere Studienarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt haben;
4. dass die eingereichte elektronische Fassung exakt mit der eingereichten schriftlichen Fassung übereinstimmt.

Wir sind uns bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Karlsruhe, Januar 2013

Simon Ebner, Volker Werling

Zusammenfassung

Verwendet man heutzutage einen Computer oder eine Spielekonsole, so benutzt man in den meisten Fällen noch immer einen Controller, Maus und Tastatur, oder irgendein anderes Eingabegerät. Doch immer häufiger werden moderne Formen integriert, wie die Bewegungskennung verwendet. Dabei wird mittels Videokamera der Benutzer erkannt und dieser ist in der Lage, mit vermindertem Einsatz von herkömmlichen Eingabegeräten oder ganz ohne diesen eine Anwendung, oder gar Spiele zu steuern. Kinect for Windows ist ein populärer Vertreter dieses modern anmaßenden, aber in Wahrheit doch recht alten Verfahrens der Eingabesteuerung.

In den folgenden Seiten wird erläutert, wie mit einer Kinect for Windows eine Steuerung für einen mobiler Roboter entworfen werden, und aussehen kann. Dabei werden Techniken und Modelle für die Gestenerkennung, ebenso Sprachbefehle und die Umsetzung einer solchen Anwendung erläutert.

Die Autoren Ebner und Werling haben diese Arbeit in Zusammenarbeit verfasst, wobei die Kapitel jeweils von einem der Autoren geschrieben wurden. Auf Herrn Ebner entfallen Kapitel 1, 3, 5, 6 und 7 und auf Herrn Werling die Kapitel 2, 4, 8, 9 und 10.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Aufgabenstellung	10
2.1	Problemstellung und Ziel der Arbeit	10
2.2	Geplantes Vorgehen	10
2.3	Ausblick	11
3	Stand der Technik	12
3.1	Kinect	12
3.1.1	Hardware	13
3.1.2	Software	16
3.2	Java – Eclipse	17
3.2.1	OSGi	18
3.2.2	Grafische Oberfläche	18
3.3	Roboter – Ausblick	20
3.4	Mustererkennung	20
4	Kinect–Framework	22
4.1	Microsoft Kinect SDK	22
4.2	Java Frameworks	22
4.2.1	OpenNI	22
4.2.2	OpenKinect	23
4.2.3	jnect	23
4.2.4	Scoring–Modell	23
4.2.5	Analyseergebnis	23

5	Konzeption	24
5.1	Technische Vorgaben	24
5.1.1	Vorgaben durch Kinect	24
5.1.2	Vorgaben durch Java—Eclipse	25
5.1.3	Abhängigkeit zu Robotertechnik	25
5.2	Fachliche Vorgaben	26
5.2.1	Vorgaben durch Mensch-Computer-Interaktion	26
5.3	Das resultierende Konzept	27
6	Modelle zur Gesten- und Spracherkennung	28
6.1	Dynamic Time Warping	28
6.2	Künstliche neuronale Netze	29
6.3	Hidden Markov Model	29
6.4	Auswahl des Modells für die Arbeit	30
6.5	Diskrete Markov-Prozesse	31
6.5.1	Erweiterung auf Hidden Markov Model	34
6.5.2	Die drei grundlegenden Probleme eines Hidden Markov Model . .	36
6.5.3	Das Vorwärts–Rückwärtsverfahren	37
6.5.4	Anmerkungen zu Problem 2	40
6.5.5	Baum-Welch-Algorithmus	42
6.5.6	Typen des Hidden Markov Model	42
7	Gesten	45
7.1	Kategorisierung	45
7.2	Gesten in der Anwendung	47
7.2.1	Kreisbewegung	48
7.2.2	Vorwärtsbewegung	50
7.2.3	Erweiterte Vorwärtsbewegung	52
7.2.4	Haltesignal	54
7.2.5	Entriegeln — Blockieren	56
8	Sprachbefehle	62
8.1	ToDo	62

9 Implementierung	63
9.1 OSGI-Bundles	63
9.1.1 Gesten	63
9.1.2 Sprachbefehle	63
9.1.3 Roboterschnittstelle	63
9.1.4 Ausführbare Aktionen	63
9.2 Oberfläche	63
9.2.1 RCP-Anwendung	63
9.2.2 Grafische Darstellung	63
9.3 Ablaufbeschreibung	63
10 Ausblick - weitere Arbeiten	64
Abbildungsverzeichnis	65
Tabellenverzeichnis	67
Quellcodeverzeichnis	68
Literaturverzeichnis	69
Acronyms	72
Glossar	73

1 Einleitung

Gestik im Sinne von kommunikativen Bewegungen stellt einen wesentlichen Teil der nonverbalen Kommunikation dar. Die Definition nach Kurtenbach und Hulteen [KH90] besagt:

A gesture is a motion of the body that contains information. Waving goodbye is a gesture. Pressing a key on a keyboard is not a gesture because the motion of a finger on its way to hitting a key on a keyboard is neither observed nor significant. All that matters is which key was pressed.

Als solches bildet eine Geste abstrakte Strukturen und bildhafte Vorstellungen unmittelbar ab. Sie ist somit eine Körperbewegung, die Informationen enthält. Informationen, die herkömmliche Eingabegeräte, darunter Tastatur und Maus, nicht in dieser Form wiedergeben können. Ein Umstand, der sich besonders im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion auswirkt.

Das Ziel der Mensch-Computer-Interaktion ist es, die Kommunikation intuitiv und unmittelbar zu gestalten. Genau an dieser Stelle setzen Gesten an, in dem sie eine bessere Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine darstellen.

Die Spannweite von Realisierungen von Mensch-Maschine-Schnittstelle ist groß. Frühe Ansätze zeigen bereits das Potential, Gesten zur Steuerung und Nutzung von diversen Geräten zu verwenden. Das *Theremin* - ein 1919 erfundenes elektornisches Musikinstrument, das mit Händen berührungslos durch Beeinflussung eines elektromagnetischen Feldes gesteuert wird und dadurch Töne erzeugt - ist eine der ersten technischen Lösungen für eine Gestensteuerung. Eine weitere Form, der *Datenhandschuh*, 1977 von Electronic

Visualization Laboratory Labs entwickelt ¹, erregte großes Interesse und wurde unter anderem als *Power Glove* von Mattel vertrieben. Datenhandschuhe werden bis heute in den verschiedensten Bereichen eingesetzt.

Eine weitere Variante der Gestenerkennung ist die Bewegungskennung. Dabei wird über optische Sensoren der Körper oder einzelne Körperteile des Nutzers erkannt und somit die Steuerung durch Gesten ermöglicht. Eine frühe Lösung ist der sogenannte *Videoplace* ², entwickelt von Myron Krueger Mitte der 70'er Jahre ³. Ausgelegt als ein *Labor für künstliche Realität* war eine Person, durch ihn umgebende Projektoren und Videokameras, in der Lage seine Umgebung zu beeinflussen. Moderne Lösungen haben das Konzept der Detektion durch Kameratechnik weiterentwickelt und einer weiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Darunter auch das *PLAYSTATIONEye* ⁴. Der populärste Vertreter ist *Kinect for XBOX* mit über 18 Millionen verkauften Exemplaren ⁵.

Aufgrund des geringen Einkaufspreises, von derzeit etwa 195 €⁶, wird die Kinect in zahlreichen Anwendungen verwendet. Ein aktuelles Beispiel, ist ein Projekt von Disney Research, „Playing Catch and Juggling with a Humanoid Robot“ von Kober et al. [KM12], wobei ein Roboter mittels Kinect auf den Wurf eines Balles von einer Person reagiert, diesen versucht zu fangen und zurückwirft.

Aufgrund der Verfügbarkeit der Kinect und deren hoher Verbreitungsgrad wird im folgenden mit jener Kinect gearbeitet.

In dieser Arbeit wird mit Hilfe der Kinect eine Gesten- und Spracherkennung entwickelt um eine Steuerung für einen mobilen Roboter zu implementieren. Aufgrund des Umfangs dieser Studienarbeit wird die Erarbeitung dieser Anwendung in zwei Teile aufgeteilt.

Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich vorrangig mit der Realisierung der Gesten- und Spracherkennung. Die eigentliche Steuerung für einen mobilen Roboter wird vorerst

¹Sturman, D.J., Zeltzer, D. (January 1994). „A survey of glove-based input“. IEEE Computer Graphics and Applications 14 (1): 30–39

²Beschreibung der Einrichtung „VIDEOPLACE“. medienkunstnetz.de. Abgerufen Dezember 22, 2012

³Myron Krueger. Artificial Reality 2, Addison-Wesley Professional, 1991. ISBN 0-201-52260-8

⁴„PLAYSTATIONEye Brings Next-Generation Communication to PLAYSTATION3“. us.playstation.com. Sony Computer Entertainment America. Abgerufen Dezember 21, 2012

⁵Takahashi, Dean (Januar 9, 2012). „Xbox 360 surpasses 66M sold and Kinect passes 18M units“. venturebeat. Abgerufen Dezember 20, 2012

⁶Amazon.de - Microsoft Kinect Sensor for Windows. Amazon.de. Abgerufen Januar 14, 2013

durch eine Schnittstelle und einer Testumgebung ersetzt. Der Fokus liegt hierbei in erster Linie auf der verwendeten Technik, in diesem Fall der Kinect zur Bewegungsdetektion, den verwendeten Gesten und Sprachbefehlen, sowie der Umsetzung der Software und den darin verwendeten Technologien. Der zweite Teil wid an diese Arbeit anknüpfen und im weiteren die Umsetzung der Steuerung für und den Einsatz eines mobilen Roboters beschreiben.

Die folgende Ausarbeitung spiegelt die Umsetzung des ersten Teils dieser Arbeit wieder.

2 Aufgabenstellung

2.1 Problemstellung und Ziel der Arbeit

Das Ziel des ersten Teils dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Schnittstelle zwischen Mensch und Roboter. Über dieser Schnittstelle soll es dem Benutzer möglich sein, mittels Sprache und Gesten einen mobilen Roboter fernzusteuern. Die Entwicklung der Ansteuerung des mobilen Roboters wird im zweiten Teil der Arbeit erläutert.

Zur Erfassung von Sprache und Bewegung des Benutzers soll im Rahmen dieser Arbeit die *Kinect* von Microsoft und das zugehörige *SDK* ¹ eingesetzt werden. Die Entwicklung dieser Anwendung soll auf Basis der Programmiersprache Java erfolgen. Hierzu ist es erforderlich eine Schnittstelle zum Kinect SDK zu verwenden, da hier native Entwicklung nur mit C++, C# oder Visual Basic möglich ist. Daher muss an dieser Stelle ein Framework eingesetzt werden, das den Zugriff auf das SDK mittels Java ermöglicht. In diesem Rahmen soll das Framework OpenNI und etwaige Alternativen evaluiert werden.

2.2 Geplantes Vorgehen

Es müssen die Grundlagen zur Entwicklung der zuvor beschriebenen Anwendung geschaffen werden. Hierzu ist es zunächst erforderlich die notwendigen theoretischen Grundlagen zur Sprach- und Gestensteuerung, sowie deren Erkennung und Verarbeitung zu

¹Microsoft Corporation (2012). Abgerufen Januar 05, 2013

erarbeiten. Ebenso müssen zur Entwicklung mit dem Kinect SDK in Kombination mit der Programmiersprache Java möglichen Optionen ermittelt und evaluiert werden. Auf Basis der hierdurch gewonnenen Erkenntnisse soll im ersten Schritt eine Anwendung entwickelt werden, die es ermöglicht durch Sprache und Gesten definierte Aktionen zu erkennen. Diese Aktionen werden die Grundlage der Ansteuerung des mobilen Roboters darstellen.

Nach Möglichkeit sollen darüber hinaus weitere Anwendungsszenarien zur Steuerung durch die Kinect erdacht und evaluiert werden.

2.3 Ausblick

Im zweiten Teil dieser Arbeit soll die Schnittstelle von der bisher entwickelten Sprach- und Gestenerkennung zu einem bisher nicht näher spezifizierten mobilen Roboter geschaffen werden. Hierzu wird es notwendig die entsprechenden Grundlagen zu erwerben und die Anwendung um die Implementierung etwaiger Roboter-Aktionen zu erweitern. Darüber hinaus soll das Repertoire an zu erkennenden Aktionen um im Zusammenhang einer Roboter-Steuerung sinnvollen Kommandos erweitert werden.

3 Stand der Technik

3.1 Kinect

Kinect ist eine Gerät zur Dedektion von Bewegungen. Entwickelt wurde es von PrimeSense als Hardware zur Steuerung der Videokonsole XBOX 360 von Microsoft Corp. Nach der Ankündigung im März 2010 ¹ war die Erweiterung mit dem Erscheinungsdatum 10. November 2010 in der Ausführung *Kinect for XBOX 360* in Europa erhältlich ². Nach einem sehr erfolgreichem Verkaufsstart ³ und anhaltender Nachfrage⁴. kündigte Microsoft am 9. Januar 2012 ein weiteres Modell der Kinect, die sogenannte *Kinect for Windows* für den 1. Februar 2012 an ⁵.

Darüber hinaus veröffentlichte Microsoft bereits am 16. Juni 2011 eine erste Version ihrer *Kinect for Windows SDK*⁶. Mit diesem Software Development Kit ist es möglich auf einer Windows 7 Plattform Anwendungen zu entwickeln, die eine Kinect als Eingabegerät verwenden.

Mit der Verfügbarkeit einer Kinect-Variante, die für den Einsatz am PC ausgelegt ist und der frei zugänglichen einer breiten Öffentlichkeit als Forschungsgegenschaft zugänglich,

¹Pressemitteilung, der Veröffentlichung. Siehe Link. Microsoft.com. Abgerufen Dezember 20, 2012

²Erscheinungsdatum der *Kinect for XBOX 360*. Siehe Link. BBC UK. Abgerufen Dezember 20, 2012

³„Am schnellsten verkauften Peripheriegerät für Spiele“. Guinnessworldrecords.com. Abgerufen Dezember 22, 2012

⁴Takahashi, Dean (Januar 9, 2012). „Xbox 360 surpasses 66M sold and Kinect passes 18M units“. venturebeat. Abgerufen Dezember 20, 2012

⁵„Ankündigung der *Kinect for Windows*“. blogs.msdn.com. Abgerufen Dezember 22, 2012

⁶„Microsoft Releases Kinect for Windows SDK Beta for Academics and Enthusiasts“. Microsoft.com. Abgerufen Dezember 21, 2012

was auch der ausschlaggebende Punkt für den Einsatz der Kinect in dieser Studienarbeit ist.

3.1.1 Hardware

Die beiden Kinect-Modelle unterscheiden sich in einigen Details⁷. Der bedeutendste Faktor ist das sogenannte *Near Mode* Feature:

Near Mode enables the depth sensor to see objects as close as 40 centimeters and also communicates more information about depth values outside the range than was previously available. There is also improved synchronization between color and depth, mapping depth to color, and a full frame API.⁷

Neben dem aktualisierten Tiefensensor unterscheiden sich die beiden Varianten auch in einer höheren Auflösung der RGB-Kamera, die für eine Gestenerkennung relevant sein kann. Aus diesem Grund wird für diese Arbeit die *Kinect for Windows* genutzt.

Technische Daten

Eine Kinect enthält innerhalb des Gehäuses, folgende Sensoren⁸:

- Eine RGB-Kamera mit einer Auflösung von 1280x960. Dies ermöglicht eine Farbbilderfassung
- Ein Infrarot (IR) Emitter und ein IR Tiefensensor. Der Emitter emittiert infrarote Lichtstrahlen und der Tiefensensor erfasst die an den Sensor reflektierten Strahlen. Die reflektierten Strahlen werden in Tiefeninformation umgewandelt, in dem der

⁷„Informationsseite über Unterschiede der Kinect Versionen“. Microsoft.com. Abgerufen Dezember 22, 2012

⁸„Kinect for Windows Sensor Components and Specifications“. msdn.microsoft.com. Abgerufen Dezember 21, 2012

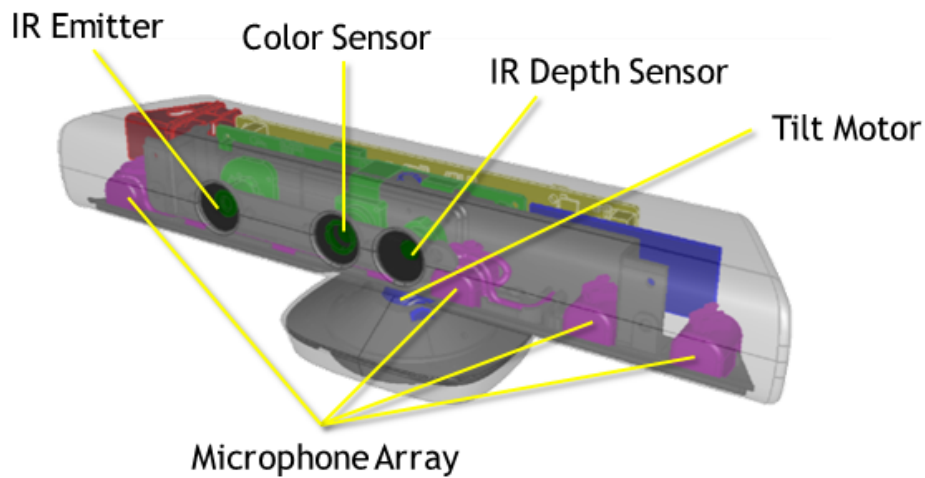


Abbildung 3.1: Schematische Ansicht der Sensoren einer *Kinect for Windows* (Quelle: Microsoft Corp.⁸⁾)

Abstand zwischen Objekt und Sensor bestimmt wird. Dies ermöglicht die Erfassung von Tiefenbildern

- Ein Mikrofonarray, das vier Mikrofone zur Soundaufnahme enthält. Die Anzahl der Mikrofone ermöglicht nicht nur die Aufzeichnung von Audiodaten, sondern auch die Lokalisierung der Soundquelle und die Richtung des Audiosignals
- Ein 3-Achsen-Beschleunigungssensor, konfiguriert für einen Bereich der zweifachen Erdbeschleunigung, um die gegenwärtige Ausrichtung der Kinect zu bestimmen
- Ein Kippmotor, zur automatisierten Justierung der Sensoren

Weitere Details der technischen Spezifikation einer *Kinect for Windows* sind in Tabelle 3.1 aufgelistet:

Tabelle 3.1: Kinect for Windows – technische Spezifikation ⁸

Kinect	Spezifikation
Blickwinkel	43° vertikales, 57° horizontales Blickfeld
Vertikaler Neigebereich	±27°
Bildwiederholrate (Farb und Tiefensignal)	30 Bilder pro Sekunde (FPS)
Audioformat	16-kHz, 24-bit mono pulse code modulation (PCM)
Audioeingang	Ein Vier-Mikrofonarray mit 24-Bit Analog-Digital-Wandler (ADC)
Datensignal–Tiefensensor	640x480 16-bit, 30 Bilder pro Sekunde
Datensignal–RGB-Kamera	1280x960 16-Bit, 12 Bilder pro Sekunde 640x480 16-Bit, 30 Bilder pro Sekunde
Tiefensensorreichweite	0,4 – 4 m
<i>Skelett Tracking System</i>	Erkennung von bis zu sechs Benutzern, zwei davon trackbar/verfolgbar Verfolgung von 20 Gelenken pro aktivem Nutzer

⁸„Kinect for Windows Sensor Components and Specifications“. msdn.microsoft.com. Abgerufen Dezember 21, 2012

3.1.2 Software

Durch die Veröffentlichung eines Software Development Kits ist es möglich, die Kinect in eigene Programme einzubinden und neue Anwendungsfälle zu bearbeiten. Dazu hat Microsoft ebenfalls ein Handbuch veröffentlicht [Cor12], das Informationen und Ratschläge zum Entwurf von Anwendungen liefert.

Kinect for Windows SDK

Das *Kinect for Windows SDK* steht aktuell in der Version 1.6 ⁹ bereit. Dabei kann direkt in den Programmiersprachen C++, C# , und Visual Basic auf einer Windows 7 Plattform entwickelt werden.

Das SDK umfasst dabei folgende Funktionen ¹⁰:

- Treiber und technische Dokumentation zur Implementierung von Anwendungen, die Kinect for Windows Sensoren nutzen
- Referenz APIs und Dokumentation zur Programmierung von *managed* und *unmanaged* Code. Die APIs stellen mehrere Mediensignale bereit
- Beispiele und Best-Practice-Lösungen

Weitere Frameworks

Da Microsoft die Nutzungsmöglichkeiten seines SDK hinsichtlich verwendeter Programmiersprache und Plattform einschränkt, begannen Forscher eigene Frameworks und Treiber zur Nutzung der Kinect zu entwickeln¹¹. PrimeSense selbst veröffentlichte Treiber

⁹Downloadseite des SDK. Microsoft.com. Abgerufen Dezember 21, 2012

¹⁰„Kinect for Windows Programming Guide“. msdn.microsoft.com. Abgerufen Dezember 23, 2012

¹¹„Open Source Kinect contest has been won“. hackaday.com. November 11, 2010. Abgerufen Dezember 21, 2012

und Middleware für die Kinect ¹², als das offizielle SDK noch nicht zur Verfügung stand. Das Ziel dieser Frameworks war es zu meist, Kinect-Steuerung unter Unix-Plattformen und Programmiersprachen, wie Java, nutzbar zu machen. Ein Teil dieser Ausarbeitung ist es, ein für die Aufgabenstellung und Zielsetzung der Studienarbeit passendes Framework zu bestimmen.

Verbreitete Lösungen, die im Kapitel 4 näher betrachtet werden, sind:

- OpenNI
- OpenKinect
- jnect

3.2 Java – Eclipse

Die Anwendung, die im Rahmen dieser Arbeit entsteht, wird auf Basis der Programmiersprache Java und der Entwicklungsumgebung Eclipse erstellt. Die Nutzung der Kinect und des Kinect SDK unterstützt nativ nicht die Entwicklung auf Basis von Java, wie in Abschnitt 3.1.2 festgestellt wurde. Da jedoch die Expertise der Autoren dieser Arbeit im Java-Umfeld liegt, wird die Anwendung dennoch in der Programmiersprache Java umgesetzt.

Als Entwicklungsumgebung kommt die Eclipse IDE zum Einsatz. Diese bietet alle Voraussetzungen zur Entwicklung von flexiblen Java-Anwendungen und bieten eine ausführliche Support-Plattform für Entwickler. Zusätzlich setzt es auf eine dynamische Supportplattform zur Modularisierung von Anwendungen¹³.

¹²Mitchell, Richard (Dezember 10, 2010). „PrimeSense releases open source drivers, middleware for Kinect“. Joystiq. Abgerufen Dezember 22, 2012

¹³„OSGi“. eclipse.org. Abgerufen Januar 1, 2013

3.2.1 OSGi

Zur Entwicklung einer komplexen Anwendung mit vielen Abhängigkeiten und Schnittstellen, wie die hier zu erarbeitende, braucht es eine entsprechend *mächtige* Software-Architektur. Dabei wird hier auf OSGi-Plattform gesetzt. OSGi¹⁴ ist ein Framework, dass Spezifikationen zur Definition eines dynamischen *Komponentenmodells* unter Java. Diese Komponenten werden *Bundles* genannt und stehen anderen Komponenten als sogenannte *Services* bereit. Die OSGi Alliance¹ selbst spezifiziert lediglich die Programmerschnittstelle. Die Umsetzung für die Eclipse IDE lautet Equinox¹⁵.

3.2.2 Grafische Oberfläche

Das Graphical User Interface (GUI) ist ein wesentlicher Bestandteil der Anwendung, da hierüber der gesamte Informationsaustausch mit dem Nutzer der Kinect stattfindet. Dabei wird auf verschiedene Techniken gesetzt, die im folgenden kurz beschrieben werden. Bei der grafischen Darstellung muss man zwischen Informationen der Anwendung und Interaktion des Nutzers mit der Software unterscheiden. Dazu werden nämlich unterschiedliche Techniken verwendet.

Rich client platform

Die Rich client platform (RCP) ist ein Werkzeug zur Entwicklung von unabhängigen Software-Komponenten, die nicht nur auf GUI-Komponenten beschränkt ist¹⁶. Dabei liegt der Fokus auf Client-Applikation, worunter auch die Anwendung dieser Arbeit fällt. Daher wird RCP im Rahmen dieser Arbeit zur Erstellung der Oberfläche der Anwendung verwendet.

¹⁴„OSGi Alliance“. osgi.org. Abgerufen Januar 1, 2013

¹⁵„equinox OSGi“. eclipse.org. Abgerufen Januar 1, 2013

¹⁶„Rich Client Platform“. wiki.eclipse.org. Abgerufen Januar 1, 2013

Die Lightweight Java Game Library

Die grafische Darstellung der Interaktion zwischen Akteur und Kinect ist ein wichtiger Bestandteil dieser Anwendung. Zur Anzeige aufwändiger grafischer Objekte wird auf die Lightweight Java Game Library (LWJGL)¹⁷ gesetzt. Damit können einfach zweidimensionale Grafiken, zum Beispiel Kreise, oder komplexe dreidimensionale Ansichten in einer Java-Anwendung angezeigt werden. Diese Java-Bibliothek stellt eine API zum Zugriff und zur Verwendung der bekannten Open Graphics Library¹⁸ bereit.

Eclipse Modeling Framework

Das Eclipse Modeling Framework (EMF)¹⁹ ist ein Framework zur Modellierung von Java-Anwendungen. Es ermöglicht aus strukturierten Datenmodellen, Java-Code zu generieren. Für die Kinect-Anwendung sind lediglich die Bereiche des Frameworks relevant, die diese *Modelle* beschreiben.

Graphical Editing Framework

Zur grafischen Darstellung und grafischen Manipulation der zuvor vorgestellten EMF-Modelle existiert das sogenannte Graphical Editing Framework (GEF)²⁰. Es stellt Methoden zur Verfügung, um Grafikeditoren und weitere Ansichten für Eclipse Anwendungen zu erstellen. Für die Studienarbeit relevante Bereiche, sind die Funktionen, die eine vereinfachte Darstellung der eben genannten EMF-Modelle ermöglichen.

¹⁷„LWJGL Lightweight Java Game Library“. lwjgl.org. Abgerufen Januar 1, 2013

¹⁸„The Industry’s Foundation for High Performance Graphics“. opengl.org. Abgerufen Januar 1, 2013

¹⁹„Eclipse Modeling Framework Project (EMF)“. eclipse.org. Abgerufen Januar 1, 2013

²⁰„GEF (Graphical Editing Framework)“. eclipse.org. Abgerufen Januar 1, 2013

3.3 Roboter – Ausblick

Ziel und Aufgabenstellung dieser Arbeit ist, wie bereits in Kapitel 2 erläutert, der Entwurf einer Steuerung für einen mobilen Roboter. Der erste Teil, der zweigeteilten Studienarbeit befasst sich dabei nicht direkt mit der eigentlichen Robotersteuerung oder der Beschreibung und Auswahl eines entsprechenden Modells. Dies ist Aufgabe und Fokus des zweiten Teils.

Für die Zwecke der Arbeiten an diesem Teil und der dabei zu erstellenden Anwendung, wird lediglich ein Grundgerüst und eine Schnittstelle erarbeitet, um auf die Kinect-Steuerung zuzugreifen. Siehe hierzu Abschnitt 9.1.3.

3.4 Mustererkennung

Die *Kinect for Windows* und die dazu gehörende *Kinect for Windows SDK* besitzen bereits Algorithmen zur Detektion von Bewegungen einzelner Körperteile und der Erkennung von Sprache. Dabei muss festgehalten werden, dass zwischen der Detektion der Bewegung eines Gelenkes und der Erkennung einer Geste eine große Diskrepanz besteht. Die Bewegung an sich macht noch keine Geste aus. Zur *Gestenerkennung* sind Verfahren und Algorithmen notwendig, die über den Funktionsumfang der Kinect hinausgehen.

Hierzu sind Verfahren der Mustererkennung notwendig, die auf mathematischen Modellen beruhen. Dabei haben sich zwei Richtungen herausgebildet. Eine Variante nutzt hierbei sogenannte künstliche neuronale Netze. Beschrieben und umgesetzt wurde dieser Ansatz unter anderem von Chun Zhu and Weihua Sheng [ZS09].

Eine weitere Variante setzt das sogenannte Hidden Markov Model (HMM) ein, das von Leonard E. Baum [BP66] postuliert wurde. Dabei handelt es sich um ein stochastisches Modell, indem ein System durch eine Markov-Kette (Siehe Abschnitt 6.5) modelliert wird. Eine der ersten Arbeiten zum Einsatz in der Gestenerkennung schrieb Lawrence R. Rabiner [Rab89]. Dieser Ansatz findet häufige Verwendung in Bereichen der Spracherkennung, Gestenerkennung und in der Mensch-Maschine-Kommunikation. Aus die-

sem Grund wurde entschieden, ein HMM zu erstellen. Das stochastische Modell dahinter wird in Kapitel 6 und die Umsetzung in der Implementierung in Kapitel 9 beschrieben.

4 Kinect–Framework

4.1 Microsoft Kinect SDK

asdf

4.2 Java Frameworks

adsf

4.2.1 OpenNI

Beschreibung

adsf

Technische Daten

SWOT–Analyse

4.2.2 OpenKinect

Beschreibung

Technische Daten

SWOT–Analyse

4.2.3 jnect

Beschreibung

Technische Daten

SWOT–Analyse

4.2.4 Scoring–Modell

4.2.5 Analyseergebnis

adsasfd

5 Konzeption

In diesem Kapitel wird kurz die Konzeption der Anwendung und der dazu gehörigen Komponenten beleuchtet und die Restriktionen aufgelistet, die aufgrund der Vorgaben durch die genutzten Techniken und Softwarekomponenten zustande kommen.

5.1 Technische Vorgaben

Hierunter fallen die Abhängigkeiten zu der Robotertechnik, die in den weiteren Arbeiten rund um diese Ausarbeitung entstehen, die Maßgaben, der Verwendung der Kinect und der Vorgaben der Software-Architektur.

5.1.1 Vorgaben durch Kinect

Die Kinect for Windows ist ein Produkt von Microsoft, so auch die Kinect for Windows . Microsoft vertreibt beides mit der Vorgabe, dass diese nur unter Windows-Betriebssystemen, vorrangig Windows 7, lauffähig sind, und vollständig unterstützt werden, sowie eine Installation des .Net Framework 4.0 auf dem System vorhanden sein muss^{1 2}.

¹Downloadseite des SDK. Microsoft.com. Abgerufen Dezember 21, 2012

²„Kinect for Windows Sensor Components and Specifications“. msdn.microsoft.com. Abgerufen Dezember 21, 2012

5.1.2 Vorgaben durch Java—Eclipse

Vorgaben durch das jnect-Framework

Das Framework jnect wurde bereits im Abschnitt ?? . Um das Framework in der Eclipse Umgebung zu nutzen, muss lediglich das jnect-Plugin, sowie die beiden Module

```
org.eclipse.emf.core
```

Service—Architektur

Durch die Nutzung der OSGi-Plattform und der Eclipse IDE wird für die Service-Architektur auf Equinox gesetzt.

5.1.3 Abhängigkeit zu Robotertechnik

Der Betrieb eines Roboters und die Verwendung innerhalb der Anwendung, die im Rahmen dieser Arbeit entsteht, ist bisher nicht entgültig geklärt, da noch keine Auswahl eines speziellen Modells getroffen wurden ist.

Für die Implementierung in dieser Arbeit wurde ein hypothetisches Modell eines abstrakten Roboters angenommen, der in der Lage ist, sich in alle Richtungen eines drei dimensional Koordinatensystems zu bewegen. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass ein solcher Roboter in der Lage ist, sich in einem Kreis zu drehen und binnen weniger Sekunden anzuhalten.

5.2 Fachliche Vorgaben

Da bereits alle technischen Abhängigkeiten aufgezeigt wurden, werden nun die Bedingungen aufgelistet, die eigentlicher Fokus dieser Arbeit, nämlich der Analyse und Vorgaben der Gestensteuerung.

5.2.1 Vorgaben durch Mensch-Computer-Interaktion

Baudel und Beaudouin-Lafon [BBL93] beschreiben die Vorteile der Gestensteuerung gegenüber der, herkömmlicher Eingabegeräte. Dazu müssen aber einige Voraussetzungen erfüllt sein. Nach Baudel und Beaudouin-Lafon, sind dies:

Handanspannung: Eine angespannte Hand erleichtert die Wahrnehmung der Intention des Bedieners in einer Startposition eine Geste auszuführen. Endpositionen sollten hingegen frei von solch einer Anspannung sein

Schnelle, aufbauende, revidierbare Aktionen: Geschwindigkeit ist ein grundlegender Faktor in der Anwendung von Gesten, denn nur wenn Gesten einen Geschwindigkeitsvorteil bringen, werden diese auch eingesetzt. Zudem macht der Aufbau einer Geste aus kleinen Teilgesten, die Anwendung überschaubarer und rücknahme von Gesten bieten einen Komfortvorteil für den Nutzer

Favorisiere eine einfache Nutzung: Es muss stets ein Kompromis zwischen einfachen und natürlichen Gesten, die einfach zu lernen sind, und komplexen Gesten, die mehr Kontrolle bieten, eingegangen werden. Dabei sollte stets die einfache Nutzung bevorzugt werden

Nutze Gesten, wo sinnvoll: Obgleich Gesten klare Vorteile bieten, muss stets berücksichtigt werden, dass diese auch ihre Grenzen haben. Gesten sind bisweilen unter anderem ungeeignet, um präzise Interaktionen durchzuführen. Hierfür wird immer noch ein physischer Kontakt benötigt (z.B., Steuerung des Cursors weiterhin per Maus)

5.3 Das resultierende Konzept

In Abschnitt 5.1.3 wurde bereits der hier verwendete hypothetische Roboter kurz vorgestellt. Dabei ergab sich folgende Liste an Funktionen:

- Kreisdrehung
- Geradeaus fahren
- In einem Winkel fahren
- Anhalten

Darüber hinaus kann noch das Blockieren der Gesteneingabe hinzugefügt werden. Setzt man nun all diese Funktionen und Möglichkeiten in Gesten und Bedienanweisungen um, so erhält man folgende Anweisungen:

- Kreisbewegung
- Vorwärtsbewegung
- Haltesignal
- Blockieren–Entriegeln

Diese Liste wird in Kapitel 7 verwendet, um die in der Anwendung eingesetzten Gesten zu modellieren.

Die aus der Liste entworfenen Sprachbefehle werden in Kapitel 8 erläutert.

6 Modelle zur Gesten- und Spracherkennung

Es existieren diverse Verfahren zur Gesten- und Spracherkennung. Die bekanntesten Vertreter sind künstliche neuronale Netze, Dynamic time warping (DTW) und HMM. Im Folgenden werden kurz die diversen Eigenschaften und Algorithmen hinter den weiteren Modell erörtert, um eine fundierte Entscheidung über die Auswahl eines dieser Modelle für diese Arbeit und das zu erarbeitende Programm zu treffen.

6.1 Dynamic Time Warping

DTW ist ein Algorithmus zur Messung von Ähnlichkeiten zwischen einer Eingabesequenz und einem gegebenen Muster, die sich im zeitlichen Ablauf oder der Geschwindigkeit unterscheiden. Dabei würden zum Beispiel die Gemeinsamkeiten im Laufmuster erkannt werden, selbst wenn eine Person in einem Video langsam läuft und diese Person in einer weiteren Aufnahme schneller laufen würde, oder gar eine Beschleunigung oder Verlangsamung während des Zeitraumes der Beobachtung stattfindet.

Formalisiert versteht man unter DTW eine vorlagenbasierte Erkennungstechnik auf Grundlage von dynamischer Programmierung [LK99, S. 963]. Trotz der Erfolge bei Aufgaben mit kleinem Vokabular, braucht DTW eine große Anzahl an Vorlagen für ein grösseres Umfeld an Variation. Weiterhin kann es keine undefinierte Muster verarbeiten. Takahashi et al. [NO96] haben einen *Erkundungsalgorithmus* vorgeschlagen, um Gesten

des Körpers und der Arme zu erkennen. Lee beschreibt die Funktionalität wie folgt: Ein Eingabemuster wird von einer Bildeingabesequenz zu jeder Zeit t generiert. Dabei wird der Zeitpunkt t als möglicher Endpunkt der Geste betrachtet und das Eingabemuster mit allen vordefinierten Mustern verglichen. Dynamische Programmierung wird dabei genutzt, um die Entfernung zwischen zwei Mustern zu berechnen, ungeachtet der zeitlichen Differenz.

Der Nachteil dieses Ansatzes ist die geringe Robustheit gegenüber Variationen der Form und Gestalt.

6.2 Künstliche neuronale Netze

Ein weiterer Ansatz ist die Nutzung von Künstliche neuronale Netze. Beale und Edwards [BE90] nutzten diese trainierbare Erkennungssysteme zur Erkennung von Handgesten. Eine weitere Arbeit von Beale und Finlay [FB93] nutzten diese Technik, denn sobald große Datenmengen verfügbar werden, um so mehr Relevanz erhält der Einsatz von künstlichen neuronalen Netzen.¹

Ein Problem der neuronalen Netze im Kontext der Gestenerkennung ist jedoch die Modellierung von Mustern von *Nichtgesten*. Trotz der Effektivität bei der Erkennung von statischen Mustern, sind Künstliche neuronale Netze nach Vaananen und Boehm [VB93] nicht für dynamische Muster (Gesten) geeignet.

6.3 Hidden Markov Model

Das HMM ist ein stochastisches Modell, in dem ein System durch eine Markov-Kette mit unbeobachteten Zuständen modelliert wird. Die Theorie dazu wurde von Baum [BP66], 1966 veröffentlicht.

Es wird dazu angewendet, um Zeitreihen mit zeitlicher und räumliche Variabilität zu

¹Vergleiche Lee und Kim [LK99].

analysieren. Dabei kann es auch mit undefinierten Mustern umgehen. Ein HMM besteht dabei aus verschiedenen Komponenten.

Der versteckte (englisch *hidden*) Prozess ist eine Markov-Kette und besteht aus Zuständen und Übergangswahrscheinlichkeiten. Das Modell ist wie folgt definiert:

Definition

Ein HMM $\lambda = (S, A, O, B, \pi)$ ist gegeben durch

- $S = S_1, \dots, S_n$ – Menge aller Zustände,
- $A = a_{ij}$ – Übergangsmatrix zwischen den Zuständen, wobei a_{ij} die Wahrscheinlichkeit angibt, dass Zustand S_i in Zustand S_j gewechselt wird,
- $O = O_1, \dots, O_m$ – Menge der möglichen Beobachtungen (*Emissionen*),
- $B = b_{ij}$ – Beobachtungsmatrix, wobei b_{ij} die Wahrscheinlichkeit angibt, im Zustand S_i die Beobachtung $O_j \in O$
- π – Anfangswahrscheinlichkeitsverteilung mit $\pi(i)$ Wahrscheinlichkeit, dass S_i der Startzustand ist.

6.4 Auswahl des Modells für die Arbeit

Rabiner et al. [Rab89, S. 257f], sowie Lee und Kim [LK99, S. 961] sprechen von den guten Erfolgen des HMM als stochastisches Werkzeug zur Modellierung von Gesten. Die Autoren stimmen dieser Auffassung zu. Daher wird für diese Arbeit eine Implementierung mittels HMM erarbeitet.

6.5 Diskrete Markov-Prozesse

Eine Markov-Kette ist ein Stochastischer Prozess. Dabei unterscheidet man zwischen Markov-Ketten in diskreter und in stetiger Zeit. Weiter spricht man von Markov-Ketten, sofern ein diskreter Zustandsraum vorhanden ist, von *Markov-Prozessen* im Allgemeinen wenn ein stetiger Zustandsraum vorliegt.

Bei einem HMM werden ausschließlich diskrete Markov-Ketten verwendet, die wie folgt definiert sind.

Definition

Gegeben sei ein System, das zu jeder gegebenen Zeit t beschrieben werden kann, als sich in einer Menge von N verschiedenen Zuständen S_1, S_2, \dots, S_N befindend. Abbildung 6.1 zeigt eine solche Markov-Kette mit fünf Zuständen S_1 bis S_5 . In regelmäßigen diskreten

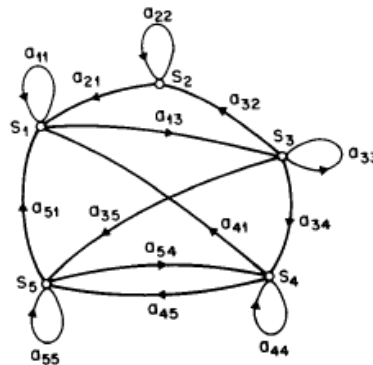


Abbildung 6.1: Markov-Kette mit fünf Zuständen (S_1 bis S_5) mit Verbindungen (Quelle: [Rab89])

Zeitabständen nimmt das System eine Zustandsänderung vor, gemäß einer Wahrscheinlichkeitsmenge, die mit dem Zustand verknüpft ist. Die Zeitinstanzen, die mit den Zustandsänderungen verknüpft sind, werden durch $t = 1, 2, \dots$ gekennzeichnet und der

aktuelle Zustand zum Zeitpunkt t als q_t . Für den Fall, einer diskreten Markov-Kette erster Ordnung ist diese Charakterisierung ausreichend, da

$$P[q_t = S_j | q_{t-1} = S_i, q_{t-2} = S_k, \dots] = P[q_t = S_j | q_{t-1} = S_i]. \quad (6.1)$$

Weiterhin werden ausschließlich die Prozesse betrachtet, in denen die rechte Seite der Gleichung 6.1 zeitunabhängig ist, was somit zur Menge der Übergangswahrscheinlichkeiten a_{ij} der Form

$$a_{ij} = P[q_t = S_j | q_{t-1} = S_i], 1 \leq i, j \leq N \quad (6.2)$$

führt, wobei die Zustandsübergangskoeffizienten folgende Eigenschaften erfüllen:

$$a_{ij} \geq 0 \quad (6.3a)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1 \quad (6.3b)$$

Ein solcher Stochastischer Prozess stellt aber noch kein HMM dar.

Um ein besseres Verständnis für diese Prozesse und deren Eigenschaften zu erlangen, wird im folgenden anhand eines Beispiels aus einer Anleitung von Lawrence Rabiner [Rab89] näher auf das Thema eingegangen.

Man betrachte ein einfaches Markov Modell, dass mittels drei Stati das Wetter beschreibt. Diese drei Zustände sind folgende:

Status 1: Regnerisch

Status 2: Bewölkt

Status 3: Sonnig

Es wird gefordert, dass das Wetter am Tag t durch einen der drei oberen Zustände beschrieben wird. Weiter wird die Matrix A der Wahrscheinlichkeiten der Zustandsübergänge wie folgt definiert:

$$\mathbf{A} = a_{ij} = \begin{pmatrix} 0,4 & 0,3 & 0,3 \\ 0,2 & 0,6 & 0,2 \\ 0,1 & 0,1 & 0,8 \end{pmatrix}$$

Das Wetter am ersten Tag ($t = 1$) sei als sonnig (Status 3) gegeben. Stellt man nun die Frage, nach der Wahrscheinlichkeit für eine Folge von Wetterzuständen, oder anders formuliert, für einen Wetterverlauf der nächsten sieben Tage, wie „sonnig, sonnig, regnerisch, regnerisch, sonnig, bewölkt, sonnig...“, so kann man hierzu formal eine Sequenz aus mehreren Zuständen betrachten. Hierzu sei die Beobachtungssequenz O definiert als $O = S_3, S_3, S_1, S_1, S_3, S_2, S_3$, was mit $t = 1, 2, \dots, 8$ übereinstimmt. Die Wahrscheinlichkeit kann ausgedrückt werden als,

$$\begin{aligned} P(O|Modell) &= P[S_3, S_3, S_3, S_1, S_1, S_3, S_2, S_3|Modell] \\ &= P[S_3] \cdot P[S_3|S_3] \cdot P[S_3|S_3] \cdot P[S_1|S_3] \cdot P[S_1|S_1] \cdot P[S_3|S_1] \cdot P[S_2|S_3] \cdot P[S_3|S_2] \\ &= \pi_3 \cdot a_{33} \cdot a_{33} \cdot a_{33} \cdot a_{31} \cdot a_{11} \cdot a_{13} \cdot a_{32} \cdot a_{23} \\ &= 1 \cdot (0,8)(0,8)(0,1)(0,4)(0,3)(0,1)(0,2) \\ &= 1,536 \times 10^{-4}, \end{aligned}$$

wobei

$$\pi_i = P[q_1 = S_i], \quad 1 \leq i \leq N \quad (6.4)$$

die Wahrscheinlichkeit für den initialen Status darstellt.

Auch die Frage nach der Wahrscheinlichkeit wie lange das Modell in einem gegebenen

und bekannten Status genau d Tage verbleibt, kann mittels HMM beantwortert werden. Dabei kann die Wahrscheinlichkeit durch die Beobachtungssequenz

$$O = S_{i_1}, S_{i_2}, S_{i_3}, \dots, S_{i_d}, S_{j_{d+1}} \neq S_i$$

ermittelt werden:

$$P(O|Modell, q_1 = S_i) = (a_{ii})^{d-1}(1 - a_{ii}) = p_i(d) \quad (6.5)$$

Die Größe $p_i(d)$ ist die (diskrete) Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Dauer d im Status i . Diese ist charakteristisch für die Dauer eines Status in einer Markov-Kette. Basierend auf $p_i(d)$ kann man die erwartete Zahl der Betrachtungen (Dauer) in einem Status berechnen, unter der Voraussetzung, dass in diesem Status gestartet wird, mit

$$\bar{d}_i = \sum_{d=1}^{\infty} d p_i(d) \quad (6.6a)$$

$$= \sum_{d=1}^{\infty} d (a_{ii})^{d-1} (1 - a_{ii}) = \frac{1}{1 - a_{ii}}. \quad (6.6b)$$

Daraus ergeben sich die Anzahl aufeinanderfolgender Sonnentage, gemäß dem Modell $\frac{1}{0,2} = 5$, die Anzahl aufeinanderfolgender bewölkter Tage entsprechend mit 2,5 und die Anzahl aufeinanderfolgender Regentage mit 1,67.

6.5.1 Erweiterung auf Hidden Markov Model

Um Markov Prozesse auf Probleme anwenden zu können, in denen sich die Beobachtungen nicht auf Zustand beziehen, muss das bisher dargestellte Konzept erweitert werden. Dazu wird der Fall hinzugefügt, dass eine Beobachtung durch eine Wahrscheinlichkeitsfunktion des Zustandes ausgedrückt wird. Nach Rabiner [Rab89] besteht das resultierende Modell aus einem doppelt eingebetteten stochastischen Prozess mit einem darunterliegenden, nicht beobachtbaren (versteckten, daher *hidden*), stochastischen Prozess und

wird als HMM bezeichnet.

Ein HMM ist wie folgt charakterisiert:

1. Sei N die Anzahl aller Zustände im Modell, dann sind die verschiedenen Zustände definiert als $S = S_1, S_2, \dots, S_N$ und der Zustand zum Zeitpunkt t ist definiert als q_t .
2. Sei M die Anzahl aller verschiedenen Beobachtungssymbole pro Zustand, dann sind die individuellen Symbole definiert als $V = v_1, v_2, \dots, v_M$.
3. Sei $A = a_{ij}$ die Übergangsmatrix, wobei

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j \mid q_t = S_i], \quad 1 \leq i, j \leq N. \quad (6.7)$$

Für den speziellen Fall, dass jeder beliebige Zustand jeden beliebigen anderen Zustand in einem Schritt erreichen kann, ist $a_{ij} > 0$ für alle i, j . Für alle weiteren Typen eines HMM ist $a_{ij} = 0$ für mindestens ein (i, j) Paar.

4. Sei $B = b_j(k)$ die Beobachtungsmatrix im Zustand j , wobei

$$b_j(k) = P[v_k \text{ zum Zeitpunkt } t \mid q_t = S_j], \quad \begin{aligned} 1 \leq j \leq N \\ 1 \leq k \leq M. \end{aligned} \quad (6.8)$$

5. Sei $\pi = \pi_i$ die Anfangswahrscheinlichkeitsverteilung, wobei

$$\pi_i = P[q_1 = S_i], \quad 1 \leq i \leq N. \quad (6.9)$$

Sind entsprechende Werte für N, M, A, B und π gesetzt, so kann das HMM als Generator verwendet werden, um eine Beobachtungssequenz

$$O = O_1 O_2 \dots O_T \quad (6.10)$$

wie folgt zu erhalten:

1. Wähle einen Startzustand $q_1 = S_i$ entsprechend der Anfangswahrscheinlichkeitsverteilung π .
2. Setze $t = 1$.
3. Wähle $O_t = v_k$ entsprechend der Beobachtungsmatrix für den Zustand S_i , das heißt, $b_i(k)$.
4. Gehe in einen neuen Zustand $q_{t+1} = S_j$ entsprechend der Beobachtungsmatrix für den Zustand S_i über, das heißt, a_{ij} .
5. Setze $t = t + 1$; kehre zu Schritt 3 zurück, falls $t < T$; beende andernfalls die Prozedur.

Nach Rabiner [Rab89, S. 5] kann diese Prozedur sowohl dazu verwendet werden, Beobachtungen zu generieren und als Modell, wie eine gegebene Beobachtungssequenz von einem entsprechendem HMM erstellt wurde.

Eine vollständige Spezifikation eines HMM benötigt die Beschreibung zweier Modellparameter (N und M), die Spezifikation von Beobachtungssymbolen und die Beschreibung der drei Wahrscheinlichkeitsgrößen A, B und π . Meist wird hierfür die kompakte Notation

$$\lambda = (A, B, \pi) \tag{6.11}$$

verwendet, um die Vollständigkeit aller Parameter des Modells anzuzeigen.

6.5.2 Die drei grundlegenden Probleme eines Hidden Markov Model ²

Verwendet man die oben Form eines HMM, die in Abschnitt refsubsec:HMM beschrieben ist, so ergeben sich drei grundlegende Probleme, die vor einem Einsatz von HMM in einer Anwendung gelöst werden müssen. Diese lauten wie folgt:

²Die Ausführungen basieren auf den Vorträgen von Jack Ferguson von IDA an den Bell Laboratories

Problem 1: Sind die Beobachtungsmenge $O = O_1 O_2 \cdots O_T$ und ein Modell $\lambda = (A, B, \pi)$ gegeben, wie kann dann die Wahrscheinlichkeit der Beobachtungsmenge, $P(O \mid \lambda)$, effizient berechnet werden, sofern das Modell gegeben ist?

Problem 2: Sind die Beobachtungsmenge $O = O_1 O_2 \cdots O_T$ und ein Modell λ gegeben, wie wählt man dann eine entsprechende Zustandsfolge $Q = q_1 q_2 \cdots q_T$ die für das gewünschte Resultat optimal ist?

Problem 3: Wie sind die Parameter des Modells $\lambda = (A, B, \pi)$ anzupassen, um $P(O \mid \lambda)$ zu maximieren?

Im folgenden sind Verfahren und Techniken aufgeführt, wie die soeben genannten Probleme gelöst werden können.

6.5.3 Das Vorwärts–Rückwärtsverfahren

Das Vorwärts–Rückwärtsverfahren [BE67] [BS68] [Rab89] ermöglicht eine Lösung des ersten Problems aus Abschnitt 6.5.2 ³: Betrachtet man die Vorwärtsvariable $\alpha_t(i)$, definiert als

$$\alpha_t(i) = P(O_1 O_2 \cdots O_t, q_t = S_i \mid \lambda) \quad (6.12)$$

d.h., die Wahrscheinlichkeit der partiellen Menge der Beobachtungen, $O_1 O_2 \cdots O_t$, (bis Zeitpunkt t) und Zustand S_i zum Zeitpunkt t , bei gegebenem Modell λ . Induktiv ist dies wie folgt lösbar:

1) Induktionsanfang:

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1), \quad 1 \leq i \leq N. \quad (6.13)$$

³Zur Lösung des Problems 1 wird lediglich der Vorwärtsteil des Verfahrens benötigt, der Rückwärtsteil wird im Problem 3 benötigt, aber dennoch hier behandelt

2) Induktionsschritt:

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}), \quad 1 \leq t \leq T-1$$

$$1 \leq j \leq N. \quad (6.14)$$

3) Induktionsschluss:

$$P(O \mid \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i). \quad (6.15)$$

Der Induktionsanfang initialisiert die Vorwärtswahrscheinlichkeit als die kombinierte Wahrscheinlichkeit des Zustands S_i und der Anfangsbeobachtung O_1 . Der Induktionsschritt ist Kern des Vorwärtsalgorithmus und ist dargestellt in Abbildung 6.2(a). Die Ab-

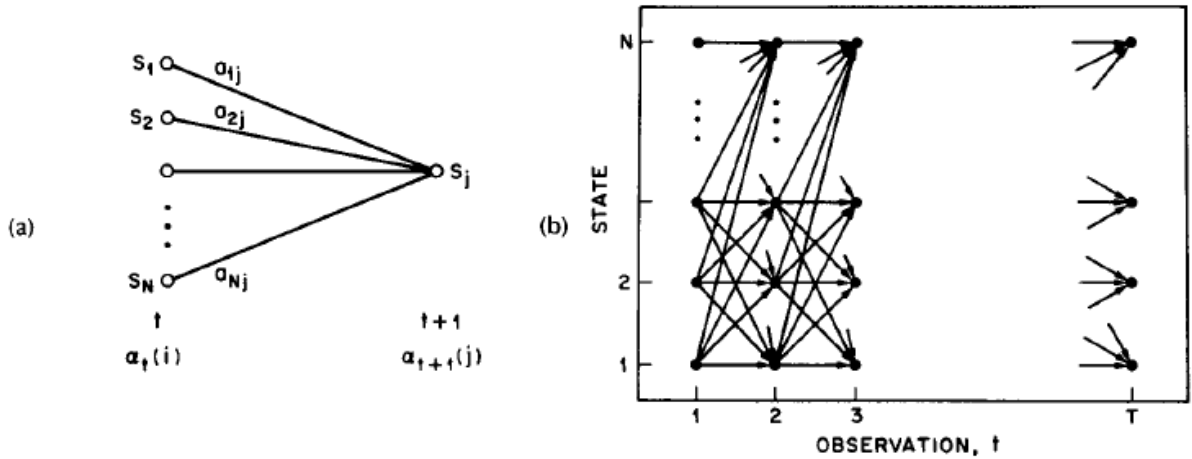


Abbildung 6.2: (a) Illustration der Operationsfolge zur Berechnung der Vorwärtsvariable $\alpha_{t+1}(j)$. (b) Implementierung der Berechnung von $\alpha_t(i)$ im Netz der Beobachtungen t und Zustände i . (Quelle: [Rab89])

bildung zeigt wie der Zustand S_j zum Zeitpunkt $t+1$ von den N möglichen Zuständen S_i , $i \leq N$ vom Zeitpunkt t aus erreicht werden kann. Das Produkt $\alpha_t(i) a_{ij}$ stellt die Wahrscheinlichkeit des gemeinsamen Ereignisses dar, dass $(O_1 O_2 \dots O_t)$ beobachtet wurden

und Zustand S_j von S_i aus erreicht wurde. Das Aufsummieren des Produkts ergibt die Wahrscheinlichkeit für S_j mit allen früheren partiellen Beobachtungen. Die Berechnung von 6.14 wird für alle Zustände j durchgeführt. Abschließend ergibt der Induktionsschluss die gewünschte Lösung von $P(O \mid \lambda)$ als die Summe der terminalen Vorwärtsvariablen $\alpha_T(i)$. Das ist der Fall, da laut Definition,

$$\alpha_T(i) = P(O_1 O_2 \cdots O_T, q_T = S_i \mid \lambda) \quad (6.16)$$

und somit $P(O \mid \lambda)$ lediglich die Summe der $\alpha_T(i)$'s ist.

Die Vorwärtswahrscheinlichkeitsberechnung basiert auf der Gitterstruktur, die in Abbildung 6.2(b) dargestellt ist. Der Schlüssel liegt darin, da nur N Zustände (Knoten zu jedem Zeitintervall im Gitter) liegen, alle möglichen Zustandsfolgen, wieder in diese N Knoten fallen, ungeachtet der Länge der Beobachtungsfolge.

In ähnlicher Weise kann eine Rückwärtsvariable $\beta_t(i)$ definiert werden, als

$$\beta_t(i) = P(O_{t+1} O_{t+2} \cdots O_T \mid q_t = S_i, \lambda) \quad (6.17)$$

d.h., die Wahrscheinlichkeit der partiellen Beobachtungsfolgen von $t + 1$ bis zum Ende, gegeben dem Zustand S_i zum Zeitpunkt t und dem Modell λ .

Ebenfalls induktiv wird $\beta_t(i)$ wie folgt gelöst:

Induktionsanfang:

$$\beta_T(i) = 1, \quad 1 \leq i \leq N. \quad (6.18)$$

Induktionsschritt:

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j), \quad t = T - 1, T - 2, \dots, 1$$

$$1 \leq i \leq N. \quad (6.19)$$

Der Induktionsschritt definiert $\beta_T(i)$ willkürlich als 1 für alle i . Der Induktionsschritt, dargestellt in Abbildung 6.3, zeigt, dass man um im Zustand S_i zum Zeitpunkt t gewesen zu sein, man alle möglichen Zustände S_j zum Zeitpunkt $t + 1$ berücksichtigen muss. Die Berechnung von $\beta_t(i)$ kann ebenfalls in einer Gitterstruktur, ähnlich der in Abbildung 6.2(b) durchgeführt werden.

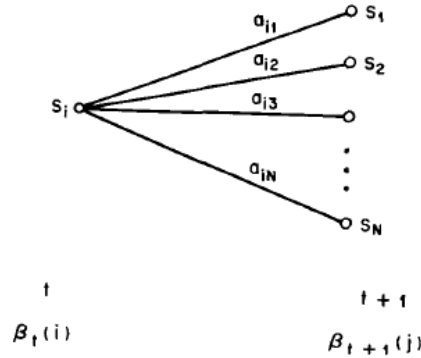


Abbildung 6.3: Illustration der Operationsfolge zur Berechnung der Rückwärtsvariable $\beta_t(i)$. (Quelle: [Rab89])

6.5.4 Anmerkungen zu Problem 2

Anders als für Problem 1, kann für Problem 2 aus Abschnitt 6.5.2 keine exakte Lösung angegeben werden. Dennoch gibt es mehrere Ansätze das Problem 2 hinsichtlich einzelner Kriterien zu lösen. Zum Einen kann nach Rabiner [Rab89] zum einen die „optimale“ Zustandsfolge verbunden mit der gegebenen Beobachtungsfolge gefunden werden. Die Schwierigkeit liegt bei der Definition der optimalen Zustandsfolge; das heißt, es gibt verschiedene mögliche Optimierungskriterien. Ein mögliches Optimierungskriterium ist, die Zustände q_t zu wählen, die *individuell* am wahrscheinlichsten sind. Um dies umzusetzen, wird die Variable

$$\gamma_t(i) = P(q_t = S_i \mid O, \lambda) \quad (6.20)$$

definiert, das heißt, die Wahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt t im Zustand S_i zu sein, bei gegebener Beobachtungsfolge O und Modell λ . Gleichung 6.20 kann mittels Vorwärts–Rückwärts Variablen ausgedrückt werden, d. h.,

$$\gamma_t(i) = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{P(O \mid \lambda)} = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{\sum_{i=1}^N \alpha_t(i)\beta_t(i)} \quad (6.21)$$

wobei $\alpha_t(i)$ für die partielle Beobachtungsfolge $(O_1 O_2 \cdots O_t)$ und Zustand S_i zum Zeitpunkt t steht, während $\beta_t(i)$ für die restliche Beobachtungsfolge $O_{t+1} O_{t+2} \cdots O_T$ steht, sofern Zustand S_i bei t gegeben ist. Der Normierungsfaktor $P(O \mid \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_t(i)\beta_t(i)$ macht $\gamma_t(i)$ einer Wahrscheinlichkeitsgröße, so dass

$$\sum_{i=1}^N \gamma_t(i) = 1. \quad (6.22)$$

Benutzt man $\gamma_t(i)$, so kann man für den individuell wahrscheinlichsten Zustand q_t zum Zeitpunkt t lösen, als

$$q_t = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} [\gamma_t(i)] \quad 1 \leq t \leq T. \quad (6.23)$$

Trotz der Tatsache, dass Gleichung 6.23 die erwartete Anzahl an korrekten Zuständen maximiert, können Probleme in den resultierenden Zustandsfolgen auftreten, da lediglich der wahrscheinlichste Zustand in jedem Moment bestimmt wird, ungeachtet der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Zustandsfolgen.

Daher wird meist ein anderes Optimierungskriterium verwendet, das Auffinden der *einzelnen* besten Zustandsfolge, d. h., die Maximierung von $P(Q \mid O, \lambda)$. Die Technik, diese beste Zustandsfolge zu finden, basiert auf dynamischer Programmierung und ist der sogenannte Viterbi Algorithmus [Vit67] [FJ73].

Dieser spielt für diese Arbeit aber keine Rolle und wird daher nicht weiter betrachtet. Für weitere Informationen wird auf die Literaturreferenz verwiesen.

6.5.5 Baum-Welch-Algorithmus

Das dritte und bei weitem schwierigste Problem eines HMM, ist die Bestimmung einer Methode zur Anpassung der Modellparameter (A, B, π) , um die Wahrscheinlichkeit der Beobachtungssequenz eines gegebenen Modells zu maximieren.

Es ist laut Rabiner [Rab89, S. 264] kein analytisches Verfahren zur Lösung des Problems bekannt. Es ist jedoch möglich, so Rabiner weiter, ein $\lambda = (A, B, \pi)$ so zu wählen, dass $P(O \mid \lambda)$ lokal maximiert wird. Das bekannteste Verfahren hierzu ist der sogenannte Baum-Welch-Algorithmus [BPSW70] [Wel03].

Rabiner [Rab89, S. 264ff] stellt hierzu eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus bereit.

6.5.6 Typen des Hidden Markov Model

Bislang wurde lediglich der Spezialfall eines sogenannten *ergodischen* oder vollständig verbundenen HMMs betrachtet, wobei jeder Zustand des Modells von jedem anderen Zustand des Modells aus (in einem Schritt) erreicht werden. (Streng mathematisch gesprochen: in einer finiten Anzahl von Schritten). Wie in Abbildung 6.4(a) zu sehen, hat dieses $N = 4$ Zustandsmodell, die Eigenschaft, dass jeder a_{ij} Koeffizient positiv ist. Aus dem Beispiel in Abbildung 6.4(a) erhalten wir

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}. \quad (6.24)$$

Andere Typen von HMMs bieten bessere Beobachtungseigenschaften des Signals und stellen sich für einige Anwendungen daher als besser modelliert heraus, als das ergodi-

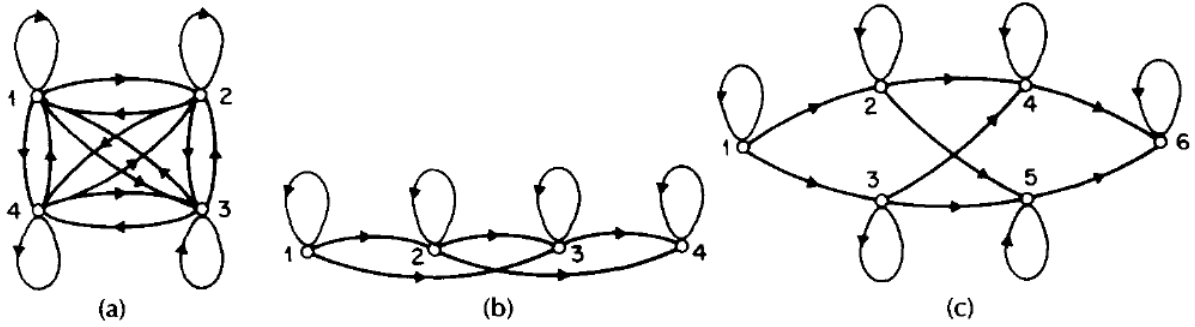


Abbildung 6.4: Darstellung dreier verschiedener Typen eines HMMs. (a) 4-Zustand ergodisches Modell. (b) 4-Zustand links-rechts Modell. (c) 6-Zustand Parallelpfad links-rechts Modell. (Quelle: [Rab89])

sche Modell. Eines dieser Modelle ist das aus Abbildung 6.4(b). Dieses Modell ist ein sogenanntes links-rechts Model oder Bakis Model [Jel76] [Bak76], da die dahinterliegende Zustandsfolge, die mit dem Modell verbunden ist, die Eigenschaft hat, dass sofern die Zeit zunimmt, der Zustandsindex zunimmt (oder gleich bleibt), d. h., die Zustände verlaufen von links nach rechts. Die fundamentale Eigenschaft aller links-rechts HMMs ist, dass die Zustandsübergangskoeffizienten die Eigenschaft

$$a_{ij} = 0, \quad j \leq i \quad (6.25)$$

besitzen, d. h., keine Übergänge zu Zustände, deren Indizes kleiner als der gegenwärtige sind, sind zugelassen. Weiter haben die Anfangswertwahrscheinlichkeiten folgende Eigenschaft

$$\pi_i = \begin{cases} 0, & i \neq 1 \\ 1, & i = 1 \end{cases}$$

nachdem die Zustandsfolge im Zustand 1 starten (und im Zustand N enden) muss. Bei links-rechts Modellen werden oft weitere Bedingungen an die Zustandsübergangskoeffizienten

geknüpft, um sicher zustellen, dass große Änderungen in den Zustandsindizes nicht auftreten; daher wird folgende Bedingung häufig verwendet:

$$a_{ij} = 0, \quad j > i + \Delta. \quad (6.26)$$

Insbesondere für das Beispiel aus Abbildung 6.4(b), ist Δ gleich 2, das heißt, keine Sprünge über mehr als zwei Zustände sind zulässig. Die Übergangsmatrix für dieses Beispiel sieht demnach wie folgt aus:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix} \quad (6.27)$$

Dabei sollte klar sein, dass für den letzten Zustand in einem links-rechts Modell, die Zustandsübergangskoeffizienten definiert sind, als

$$a_{NN} = 0 \quad (6.28a)$$

$$a_{Ni} = 0, \quad i < N. \quad (6.28b)$$

Daneben existieren natürlich noch zahlreiche weitere Variationen und Kombinationen von Modelltypen. Als Beispiel hierfür zeigt Abbildung 6.4(c) eine doppelt überkreuzt Verbindung zweier paralleler links-rechts HMMs.

7 Gesten

Gestik spiegelt einen wesentlichen Teil unseres Alltags dar. Als Teil der nonverbalen Kommunikation dienen sie zum Ausdruck von Emotionen, zur Übermittlung von Einstellungen, zur Darstellung von Persönlichkeitseigenschaften oder Modulation einer verbalen Nachricht, so Archer und Akert [AA84].

Nachdem bereits die wissenschaftliche Definition einer Gesten nach Kurtenbach und Hulteen in Kapitel 1 aufgeführt wurde und einführende Beispiele erläutert wurden, werden hier Gesten tiefergehender betrachtet.

7.1 Kategorisierung

Gesten können isoliert, oder im Zusammenhang mit einem externen Einfluss oder Objekt existieren. Ein bekanntes Beispiel für isolierte oder auch freigestellte Gesten, ist die Zeichensprache. In Bezug auf Objekte gibt es eine große Bandbreite an möglichen Gesten. Daher wurden Gesten in Klassen eingeteilt, um diese besser unterscheiden zu können. Die Klassifikation nach Cadoz [Cad94], die Gesten nach deren Funktion gruppiert, definiert drei Typen:

- *semiotisch*: Diejenigen Gesten, die aussagekräftige Informationen kommunizieren
- *ergodisch*: Diejenigen Gesten, die genutzt werden, um das reale Umfeld zu manipulieren und Gegenstände zu erstellen

- *epistemisch*: Diejenigen Gesten, die genutzt werden, um von der Umwelt durch taktile und haptische Erkundung zu lernen

Darüber hinaus werden diese Klassen weiter unterteilt. Das Augenmerk dieser Arbeit liegt auf den semiotischen Gesten. Innerhalb dieser Kategorie liefert Mulder [Mul96] eine weitere Sammlung an verschiedenen Klassifikationen.

Da der Fokus dieser Arbeit auf der Mensch-Computer-Interaktion liegt, werden vorrangig sogenannte *empty handed* semiotische Gesten betrachtet. Diese können entsprechend ihrer Funktionalität weiter unterteilt werden. Rime und Schiaratura [RS91] beschreiben folgende Taxonomie:

- *symbolische Gesten*: Dabei handelt es sich um Gesten, die innerhalb eines bestimmten Kulturkreises, eine allgemeingültige Bedeutung erlangt haben. Das „Daumen Hoch“-Zeichen, wäre ein solches Beispiel
- *deiktische Gesten*: Unter dieser Kategorie fallen Gesten des Zeigens oder der Richtungsweisung. Diese stehen meist in einem Kontext, wie „Lege das hier hin“
- *ikonische Gesten*: Darunter fallen Gesten, die Informationen über Form, Gestalt und Ausprägung eines bestimmten Gegenstandes oder einer Handlung
- *pantomimische Gesten*: Dies sind Gesten, die typischer Weise die Nutzung eines nichtgegenwärtigen Gegenstandes oder Werkzeugs widerspiegeln. Während der Mimik einer Aktion wird dabei eine pantomimische Geste gemacht

Baudel und Beaudouin-Lafon [BBL93] zeigen einige Vorteile der Nutzung von symbolischen Gesten zur Interaktion auf:

- *Natürliche Interaktion*: Gesten sind eine selbstverständliche Form der Interaktion und einfach zu verwenden
- *Knapp und Ausdrucksstark*: Eine Geste übermittelt genug Information, um Befehl und Parameter zu liefern

- *Direkte Interaktion*: Einzelne Körperteile, insbesondere die Hand, als Eingabegeräte machen weitere Signalgeber zwischen Eingabe und Empfänger obsolet

Natürlich bergen diese auch Nachteile. So können symbolische Gesten auf Dauer anstrengend und aufwändig werden. Ein Nutzer benötigt in aller Regel Training und ein detailliertes Wissen über Anwendung und Funktion der Gesten, bevor er in der Lage ist, die Anwendung mittels symbolischen Gesten zu bedienen. Je weiter die Anzahl der Gesten und deren Komplexität steigt, desto schwieriger wird es, sich an bestimmte Gesten zu erinnern.

Weiter stellt sich ein Segmentierungsproblem, dahingehend, dass eine Bewegungsdetektion in aller Regel, den gesamten Verlauf einer Handbewegung, oder die eines anderen Körperteils erfasst und die eigentliche Geste nur einen Ausschnitt dieses kontinuierlichen Signalstroms darstellt.

Es ist daher wichtig, Gesten, die in einer Anwendung verwendet werden sollen, so zu modellieren, dass sie einfach auszuführen sind, eine angemessene Unterscheidung zwischen diversen Gesten vorhanden ist und diese sich möglichst nahe an natürlichen Bewegungen orientieren.

7.2 Gesten in der Anwendung

Nachdem bereits in Abschnitt ?? die Anforderungen an Gesten ausgeführt wurden, werden hier die daraus entwickelten Gesten aufgeführt. Dabei werden alle grundlegenden Vorgaben für eine Mensch-Computer-Interaktion aus Abschnitt 5.2.1 berücksichtigt und die zu entwerfenden Gesten auf Basis der oben beschriebenen Kategorie der semiotischen Gesten modelliert.

7.2.1 Kreisbewegung

Ein abstrakter Roboter, ist in aller Regel in der Lage, sich im Stand vollständig um seine eigene Achse zu drehen. Dies ist eine hilfreiche Funktion zur Steuerung eines solchen Geräts. Betrachtet man diese Drehung, so findet im Grunde eine Kreisbewegung statt. Um eine intuitive Assoziation zwischen dieser Drehung und der dafür zu verwendeten Geste herzustellen, wird zur Durchführung dieser Geste, eine Kreisbewegung verlangt. Das heißt bildlich gesprochen, dass der Bediener mit seinen Händen einen Kreis in die Luft zeichnen muss, um die Geste auszuführen.

Die Ausführung dieser Bewegung ist intuitiv und ohne nennenswerten Trainingsaufwand anwendbar.

Fachliche Aspekte

Die Kreisbewegung ist eine ikonische Geste, da sie die Form eines Kreises wiedergibt.

Technische Aspekte

In einem HMM wird diese Bewegung durch acht Zustände modelliert. Abbildung 7.1 zeigt ein ideales Bild dieser Geste mit ihren acht Zuständen.

Diese acht Zustände bilden ein Mittelmaßdar, um auf der einen Seite kein unterdimensioniertes HMM aufzustellen, auf der anderen Seite, aber genügend Spielraum für die Akzeptanz von Kreisbewegungen einer etwas ungenauen Form zuzulassen. Abbildung ?? zeigt mehrere solcher Kreise, die aus Trainingsdaten ermittelt worden sind.

¹Quelle: „How to Do Gesture Recognition With Kinect Using Hidden Markov Models (HMMs)“. creativedistract.com. Abgerufen Januar 14, 2013

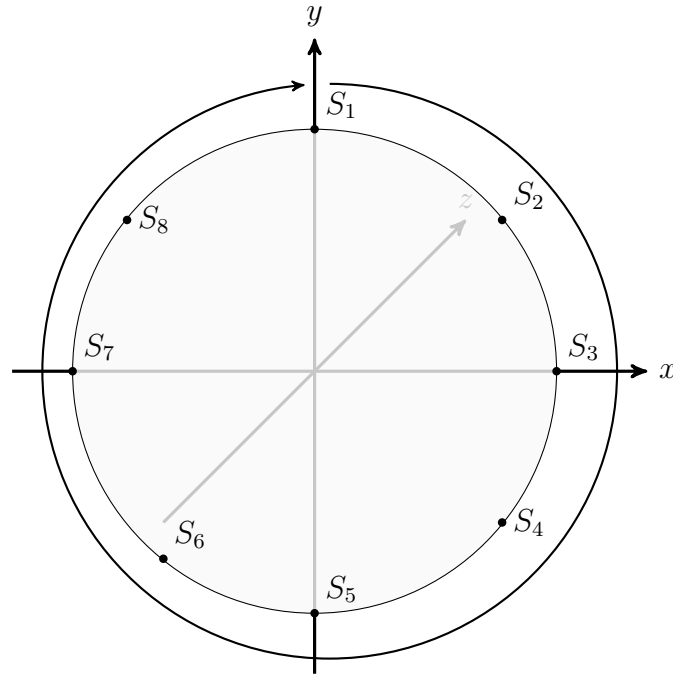


Abbildung 7.1: Abstrakte Darstellung einer Kreisbewegung im Koordinatensystem inklusiver ihrer 8 Zustandspunkte

Die Übergangsmatrix A , für die Geste einer Kreisbewegung wird definiert, als

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & a_{45} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & a_{56} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{66} & a_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{77} & a_{78} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{88} \end{pmatrix}. \quad (7.1)$$

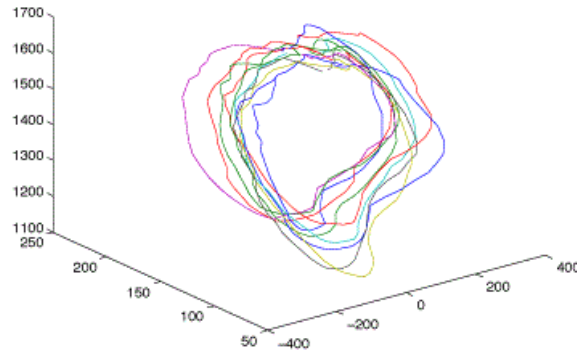


Abbildung 7.2: Darstellung von Kreisbewegungen im Koordinatensystem die aus realen Trainingsdaten stammen¹

Dabei ist der Übergangskoeffizient a_{88} gleich 1. Weiter wird zur Initialisierung für die weiteren Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und der rechten Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$ gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell vereinzelt angepasst werden.

7.2.2 Vorwärtsbewegung

Die Fortbewegung und die grundlegende Bewegung nach vorne ist die Voraussetzung, damit ein Roboter überhaupt bedient werden kann. Doch diese Bewegung als Befehl zu übergeben, ist wiederum nicht so simpel. Es mehrere Möglichkeiten, eine Geste hierfür umzusetzen. Die Lösung, die hier verwendet wird, basiert auf der Idee der Richtungsanweisung. Das heißt, dem Roboter wird die Anweisung gegeben, sich gradeaus nach vorne zu bewegen.

Hierbei wird ausgehend von der Hand modelliert. Dabei wird ausgehend, von einer Körperhaltung, in der die überwachte Hand in Nähe des Köpers auf Höhe des Schulterblatts liegt, der Ausgangspunkt festgelegt. Die Ausüfung und Verständlichkeit dieser Geste ist relativ einfach, da sie einfach eine fallende Handbewegung dargestellt. Abbildung ?? zeigt eine schematische Darstellung mit vier Zuständen.

Fachliche Aspekte

Die Vorwärtsbewegung ist eine deiktische Geste, da sie eine Richtungsanweisung wiedergibt.

Technische Aspekte

In einem HMM wird diese Bewegung durch vier Zustände modelliert. Diese vier Zustände bilden ähnlich, wie bei der Kreisbewegung, ein Mittelmaßdar, ausreichend Spielraum für die Akzeptanz einer Vorwärtsbewegung einer etwas ungenauen Form zu besitzen.

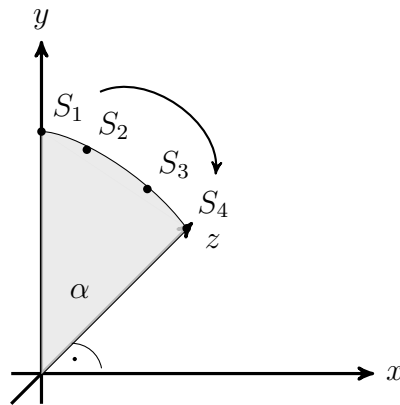


Abbildung 7.3: Abstrakte Darstellung einer Vorwärtsbewegung im Koordinatensystem inklusiver ihrer 4 Zustandspunkte

Die Übergangsmatrix A , für diese Geste wird definiert, als

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}. \quad (7.2)$$

Die selben Bedingungen für die Übergangskoeffizienten gelten für die Vorwärtsbewegung, als für die Kreisbewegung definiert wurden.

Der Übergangskoeffizient a_{44} ist gleich 1. Weiter wird zur Initialisierung für die weiteren Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und der rechten Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$ gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell vereinzelt angepasst werden.

7.2.3 Erweiterte Vorwärtsbewegung

Die oben beschriebene Vorwärtsbewegung beinhaltet keine Information über einen Winkel, in dem sich der Roboter fortbewegen soll. Um diese Information zu erhalten, muss die Geste und das darunterliegende HMM angepasst und erweitert werden.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}. \quad (7.3)$$

Die selben Bedingungen für die Übergangskoeffizienten gelten für die Vorwärtsbewegung, als für die Kreisbewegung definiert wurden. Der Übergangskoeffizient a_{44} ist gleich 1. Weiter wird zur Initialisierung für die weiteren Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und der rechten Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$

gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell einzeln angepasst werden.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}. \quad (7.4)$$

Die selben Bedingungen für die Übergangskoeffizienten gelten für die Vorwärtsbewegung, als für die Kreisbewegung definiert wurden. Der Übergangskoeffizient a_{44} ist gleich 1. Weiter wird zur Initialisierung für die weiteren Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und der rechten Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$ gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell einzeln angepasst werden.

Dabei gibt es zwei Varianten, wie diese Information extrahiert werden kann. Variante 1, siehe Abbildung 7.4, zeigt, wie an die bestehende Geste eine weitere Bewegung angefügt wird, um die Winkelinformation θ zu erhalten, Variante 2, siehe Abbildung 7.5, eine überarbeitete Geste, in der der Winkel θ direkt über das Koordinatensystem extrapoliert wird.

Variante 2 stellt sich unter realen Testbedingungen als Problemanfällig und ungenau heraus, da bereits bei der Gestenerkennung eine gewisse Unschärfe vorherrscht. Der Winkel θ wird dabei also verfälscht wiedergegeben und es kann nicht sichergestellt werden, dass die Intention des Bedieners vollständig in die Informationen, die die Geste an den Roboter liefert einfließt. Daher wird diese Variante nicht weiter verfolgt.

Variante 1 kann anschaulich in zwei Teile zerlegt werden. Neben Abbildung 7.4(a), die den gesamten Ablauf zeigt, weist Abbildung 7.4(b) auf den zweiten Teil hin, der die Geste dahingehend erweitert, dass mit einer relativen Genauigkeit, der Winkel θ aus der Geste ausgelesen werden kann. Die Größe des Winkels, oder die Geschwindigkeit,

mit der die Geste ausgeführt wird, spielt keine besondere Rolle, denn sobald das HMM entsprechend trainiert wurde, wird die Geste in aller Regel, verlässlich erkannt.

Technische Aspekte der Variante 1

Ausgehend von der vorhandenen Vorwärtsbewegung und kann das HMM der erweiterten Vorwärtsbewegung und deren Übergangsmatrix A definiert werden, als

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & a_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & a_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{66} \end{pmatrix}. \quad (7.5)$$

Dabei ist der Übergangskoeffizient a_{66} gleich 1. Weiter wird zur Initialisierung für die weiteren Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und der rechten Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$ gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell vereinzelt angepasst werden.

7.2.4 Haltesignal

Die Möglichkeit den Roboter anzuhalten ist die wichtigste Funktion, da hierbei die Sicherheit vor Unfällen eine wesentliche Rolle spielt. Der Roboter muss möglichst schnell und einfach zu stoppen sein. Sei es einfach aus dem Grund, dass der Bediener seine Aufgabe abgeschlossen hat, oder der nicht unerhebliche Fall der

Unfallvermeidung oder Sicherstellung des Robots eintritt.

Auf Basis dieses Sicherheitsgedanken wurde das Haltesignal modelliert und hierzu die menschliche Haltung bei Gefahr betrachtet. Der Mensch tritt bei drohender Gefahr in eine defensive Stellung, tritt einen Schritt zurück, oder zieht Gelenke, wie Arme oder Beine näher zum Körperschwerpunkt.

Um die Erkennung der Geste zu optimieren und auch in den verschiedenen Startzuständen zu erkennen zeigt die Abbildung 7.6, zwei abstrakte Modelle mit entsprechenden Zuständen.

Abbildung 7.6(a) zeigt, wie ein Haltesignal aus einer Vorwärtsbewegung heraus erzeugt werden. Dabei spielt der Winkel θ nur dann eine Rolle, wenn er sich während der laufenden Geste stark ändert, da dann nicht mehr sichergestellt ist, ob diese Geste überhaupt beabsichtigt war.

In Abbildung 7.6(b) ist dargestellt, wie aus einer Kreisbewegung in das Haltesignal übergegangen wird. Dabei ist der Winkel θ ebenfalls nur dann relevant, sofern zweifeln an der Intention der Geste besteht, da dieser sich ändert.

Fachliche Aspekte

Das Haltesignal ist eine pantomimische Geste, da sie den Schutzgedanken wiedergibt und hierbei die Emotion in eine defenisve Bewegung oder Haltung resultiert.

Technische Aspekte

Die Geste für das Haltesignal daran angelehnt, so ausgeführt, dass der Bediener mindestens eine Hand zum Körper zurückziehen muss. Eine abstrakte Ansicht hierzu liefert die Abbildung ???. Mittels vier Zuständen wird hier ein HMM modelliert. Wichtig hierbei ist, dass der Bediener sich zum Start des Haltesignals gerade in einer Vorwärtsbewegung, oder einer Kreisbewegung befinden kann. Daher werden, wie in

Abbildung ?? zu sehen, zwei Varianten erkannt und akzeptiert. Für die Übergangsmatrix A hat das keine Auswirkung, diese ist für beide Fälle definiert, als

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{pmatrix}. \quad (7.6)$$

Die selben Bedingungen für die Übergangskoeffizienten, wie zuvor, gelten auch hier, jedoch mit einer wichtigen Ausnahme: Der Übergangskoeffizient a_{44} ist gleich 1. Weiter wird zur Initialisierung für die weiteren Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und der rechten Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$ gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell vereinzelt angepasst werden. Die Beobachtungsfolge $O = O_1 O_2 O_3 O_4$ besteht bei den zwei Varianten, jedoch aus verschiedenen Zuständen S_1, S_2, S_3, S_4 .

7.2.5 Entriegeln — Blockieren

Eine zur Steuerung eines Roboters nicht notwendige, dennoch recht nützliche Geste zur Entriegelung und Blockierung weiterer Gesteneingaben. Dem Bediener, auf der einen Seite, wird ein gewisser Komfort dadurch geboten, dass er nicht ständig gegenwärtig und bewusst darauf achten muss, natürliche Bewegungen nicht mit Gestenbefehlen zu vermischen. Auf der anderen Seite erlangt das gesamte System der Anwendung dabei an Stabilität, da Fehleingaben des Nutzers minimiert werden.

Angelehnt an ein Schiebeschloss muss hierbei lediglich entweder eine Handbewegung von links nach rechts (zum Blockieren), wie in Abbildung 7.7 dargestellt, als auch eine Handbewegung von rechts nach links (zum Entriegeln) ausgeführt werden.

Fachliche Aspekte

Das Entriegeln — Blockieren ist eine pantomimische Geste, da sie das Werkzeug *Schloss* nachmimt.

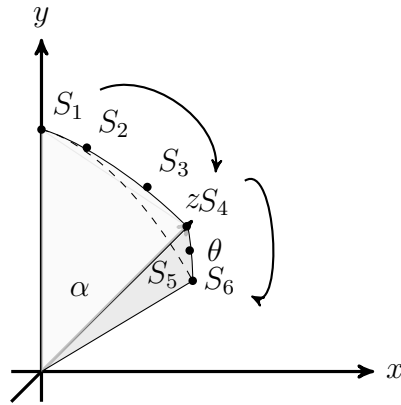
Technische Aspekte

Das besondere an dieser Geste, ist die Tatsache, dass sie von beiden Richtungen aus durchgeführt werden kann und dabei unterschiedliche Aktionen ausführt.

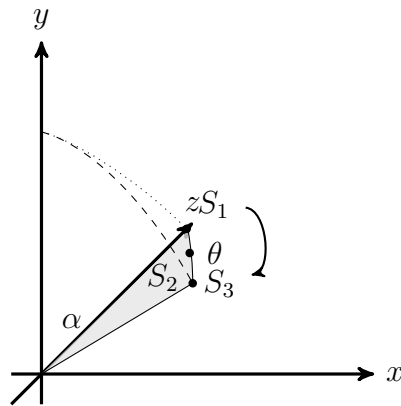
Daher verhält sich die Übergangsmatrix A anders, als dies bisher der Fall ist. Zusätzlich zur rechten Nebendiagonalen ist hier auch die linke Nebendiagonale mit Koeffizienten a_{ij} besetzt. Demnach ist die Matrix definiert, als

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}. \quad (7.7)$$

Der Übergangskoeffizient a_{44} ist hier ungleich 1, da er nicht nur Endpunkt, sondern auch Start der Geste sein kann. Daher werden zur Initialisierung für alle Indizes i, j auf der Hauptdiagonalen und den Nebendiagonalen, $a_{ij} = 0,5$ gesetzt. In Trainingsdurchläufen müssen diese Wahrscheinlichkeiten eventuell vereinzelt angepasst werden, um insbesondere a_{11} und a_{44} optimal zu bestimmen. Die Beobachtungsfolge $O = O_1 O_2 O_3 O_4$ besteht bei den zwei Varianten (\Leftarrow, \Rightarrow), jedoch aus den umgedrehten Zustandsfolgen $S_1 S_2 S_3 S_4(\Rightarrow)$ und $S_4 S_3 S_2 S_1(\Leftarrow)$.



(a) Darstellung der gesamten erweiterten Vorwärtsbewegung mit 6 Zuständen



(b) Detaildarstellung der Seitwärtsbewegung der erweiterten Vorwärtsbewegung und ihrer 2 Zustände

Abbildung 7.4: Idealisierte Darstellung der 1. Variante einer erweiterten Vorwärtsbewegung mit 6 Zuständen

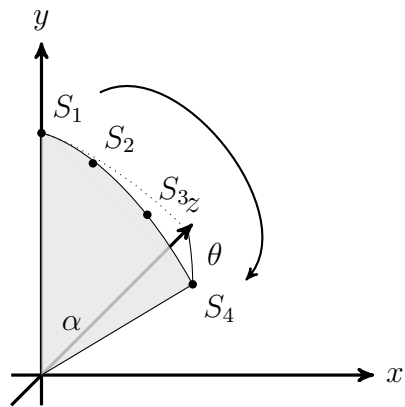
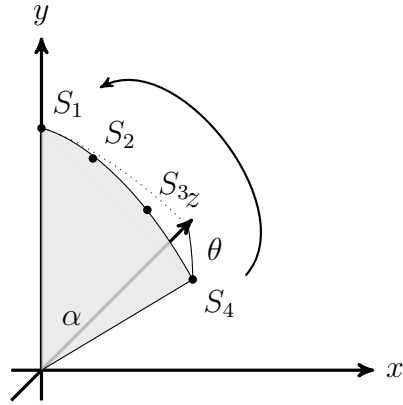
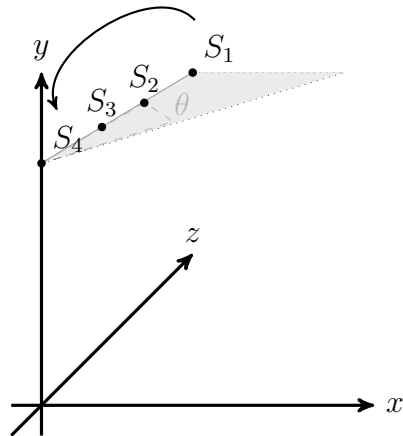


Abbildung 7.5: Idealisierte Darstellung der 2. Variante einer erweiterten Vorwärtsbewegung mit 4 Zuständen



(a) Abstrakte Darstellung des Haltesignals aus einer möglichen Vorwärtsbewegung heraus, mit ihren 4 Zuständen



(b) Abstrakte Darstellung des Haltesignals aus einer möglichen Kreisbewegung heraus, mit ihren 4 Zuständen

Abbildung 7.6: Abstrakte Darstellung der Modelle für die Geste des Haltesignals mit jeweils 4 Zuständen

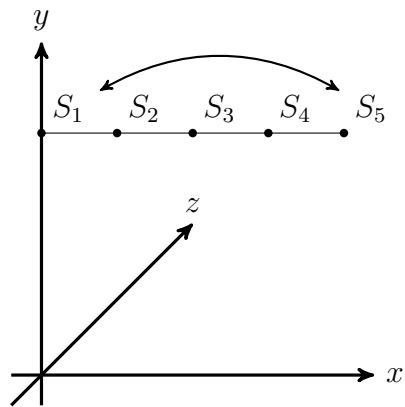


Abbildung 7.7: Idealisierte Darstellung der Geste zum Blockieren und Freigeben der Gesteneingabe mit 4 Zuständen

8 Sprachbefehle

8.1 ToDo

9 Implementierung

9.1 OSGI–Bundles

9.1.1 Gesten

9.1.2 Sprachbefehle

9.1.3 Roboterschnittstelle

9.1.4 Ausführbare Aktionen

9.2 Oberfläche

9.2.1 RCP–Anwendung

9.2.2 Grafische Darstellung

9.3 Ablaufbeschreibung

10 Ausblick - weitere Arbeiten

Abbildungsverzeichnis

3.1	Schematische Ansicht der Sensoren einer Kinect for Windows	14
6.1	Markov-Kette mit fünf Zuständen	31
6.2	(a) Illustration der Oerpationsfolge zur Berechnung der Vorwärtsvariable.(b) Implementierung der Berechnung von $\alpha_t(i)$ im Netz der Beobachtungen t und Zustände i	38
6.3	Illustration der Oerpationsfolge zur Berechnung der Rückwärtsvariable. .	40
6.4	Darstellung dreier verschiedener Typen eines HMMs. (a) 4-Zustand ergo- disches Modell. (b) 4-Zustand links-rechts Modell. (c) 6-Zustand Parallel- pfad links-rechts Modell	43
7.1	Abstrakte Darstellung einer Kreisbewegung im Koordinatensystem inklu- siver ihrer 8 Zustandspunkte	49
7.2	Darstellung von Kreisbewegungen im Koordinatensystem die aus realen Trainingsdaten stammen	50
7.3	Abstrakte Darstellung einer Vorwärtsbewegung im Koordinatensystem in- klusiver ihrer 4 Zustandspunkte	51
7.4	Idealisierte Darstellung der 1. Variante einer erweiterten Vorwärtsbewegung mit 6 Zuständen	58
7.5	Idealisierte Darstellung der 2. Variante einer erweiterten Vorwärtsbewegung mit 4 Zuständen	59
7.6	Abstrakte Darstellung der Modelle für die Geste des Haltesignals mit jeweils 4 Zuständen	60

7.7	Idealisierte Darstellung der Geste zum Blockieren und Freigeben der Gesteneingabe mit 4 Zuständen	61
-----	---	----

Tabellenverzeichnis

3.1	Technische Spezifikation der Kinect for Windows	15
-----	---	----

Quellcodeverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [AA84] D Archer and R. M. Akert. Problems of context and criterion in nonverbal communication: A new look at the accuracy issue. In *Issues in person perception*, pages 114–144, 1984.
- [Bak76] R. Bakis. Continuous speech recognition via centisecond acoustic states. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 59(S1):S97–S97, 1976.
- [BBL93] T. Baudel and M. Beaudouin-Lafon. Charade: remote control of objects using free-hand gestures. *Communications of the ACM*, 36(7):28–35, 1993.
- [BE67] L.E. Baum and J.A. Egon. An inequality with applications to statistical estimation for probabilistic functions of a markov process and to a model for ecology. *Bull. Amer. Meteorology Soc.*, vol. 73:360–363, 1967.
- [BE90] Russel Beale and Alistair D. N. Edwards. Gestures and neural networks in human-computer interaction. *IEE Colloquium on Neural nets in human-computer interaction*, pages 5/1–5/4, 1990.
- [BP66] E. Leonard Baum and Ted Petrie. Statistical inference for probabilistic functions of finite state markov chains. *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 37, No. 6:1554–1563, 1966.
- [BPSW70] L.E. Baum, T. Petrie, G. Soules, and N. Weiss. A maximization technique occurring in the statistical analysis of probabilistic functions of markov chains. *The annals of mathematical statistics*, pages 164–171, 1970.

- [BS68] Leonard E. Baum and George R. Sell. Growth transformations for functions on manifolds. *Source: Pacific J. Math.*, vol. 27(2):211–227, 1968.
- [Cad94] C Cadoz. Le geste, canal de communication homme/machine: la communication instrumentale. In *Technique et Science de l'Information*, volume 13, pages 31–61, 1994.
- [Cor12] Microsoft Corp., editor. *HUMAN INTERFACE GUIDELINES*, volume v1.5.0. Microsoft Corp., 2012.
- [FB93] Janet Finlay and Russell Beale. Neural networks and pattern recognition in human-computer interaction. *SIGCHI Bull.*, 25(2):25–35, April 1993.
- [FJ73] G.D. Forney Jr. The viterbi algorithm. *Proceedings of the IEEE*, 61(3):268–278, 1973.
- [Jel76] F. Jelinek. Continuous speech recognition by statistical methods. *Proceedings of the IEEE*, 64(4):532–556, 1976.
- [KH90] G. Kurtenbach and E. A. Hulteen. Gestures in human-computer communication. In *The Art of Human-Computer Interface Design*. Addison-Wesley Publishing Co., May 1990.
- [KM12] Matthew Kober, Jens; Glisson and Michael Mistry. Playing catch and juggling with a humanoid robot. In *12th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 2012.
- [LK99] Hyeon-Kyu Lee and Jin H. Kim. An hmm-based threshold model approach for gesture recognition. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 21(10):961–973, 1999.
- [Mul96] Axel Mulder. Hand gestures for hci, research on human movement behaviour reviewed in the context of hand centred input. In *Hand Centered Studies of Human Movement Project*. School of Kinesiology, Simon Fraser University, 1996.

- [NO96] T. Nishimura and R. Oka. Spotting recognition of human gestures from time-varying images. In *Automatic Face and Gesture Recognition, 1996., Proceedings of the Second International Conference on*, pages 318–322, oct 1996.
- [Rab89] Lawrence R. Rabiner. A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77, No. 2:257–286, 1989.
- [RS91] B. Rimé and L. Schiaratura. *Gesture and speech*. New York, NY, US: Cambridge University Press; Paris, France: Editions de la Maison des Sciences de l’Homme, 1991.
- [VB93] K. Vaananen and K. Bohm. Gesture driven interaction as a human factor in virtual environments-an approach with neural networks. *Virtual reality systems*, pages 93–106, 1993.
- [Vit67] A. Viterbi. Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 13(2):260 –269, april 1967.
- [Wel03] Lloyd R. Welch. Hidden markov models and the baum–welch algorithm. *IEEE Information Theory Society Newsletter*, Dec. 2003.
- [ZS09] Chun Zhu and Weihua Sheng. Online hand gesture recognition using neural network based segmentation. *Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on*, 1:2415–2420, 2009.

Acronyms

DTW Dynamic time warping. 28

EMF Eclipse Modeling Framework. 19

GEF Graphical Editing Framework. 19

GUI Graphical User Interface. 18

HMM Hidden Markov Model. 20, 21, 28–32, 34–36, 42, 48, 51–55

IDE Integrated development environment. 17, 18, 25

LWJGL Lightweight Java Game Library. 19

RCP Rich client platform. 18

Glossar

Bewegungsdetektion

Unter Bewegungsdetektion versteht man Methoden des Maschinellen Sehens, die auf die Erkennung von Fremdbewegung im Erfassungsbereich eines optischen Detektors (also dem Blickfeld der Maschine) abzielen. 3, 6, 7

Datenhandschuh

Der Datenhandschuh ist ein Eingabegerät in Form eines Handschuhs. Durch Bewegungen der Hand und Finger erfolgt eine Orientierung im virtuellen Raum. 5, 6

Deixis

Deixis, auch indexikalische Semantik, ist ein Fachbegriff aus der Sprachwissenschaft. Er bezeichnet die Bezugnahme auf Personen, Orte und Zeiten im Kontext, die mit Hilfe von deiktischen oder indexikalischen Ausdrücken wie *ich*, *du*, *dort*, *hier*, *morgen*, *heute* ... erfolgt. 44, 49

Dynamische Programmierung

Dynamische Programmierung ist eine Methode zum algorithmischen Lösen von Optimierungsproblemen. Der Begriff wurde in den 1940er Jahren von dem amerikanischen Mathematiker Richard Bellman eingeführt, der diese Methode auf dem

Gebiet der Regelungstheorie anwandte. In diesem Zusammenhang wird auch oft von Bellmans Prinzip der dynamischen Programmierung gesprochen. 26, 27, 39

Eclipse

Eclipse (von englisch eclipse ‚Sonnenfinsternis‘, ‚Finsternis‘, ‚Verdunkelung‘) ist ein quelloffenes Programmierwerkzeug zur Entwicklung von Software verschiedenster Art. Ursprünglich wurde Eclipse als integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) für die Programmiersprache Java genutzt, aber mittlerweile wird es wegen seiner Erweiterbarkeit auch für viele andere Entwicklungsaufgaben eingesetzt. Für Eclipse gibt es eine Vielzahl sowohl quelloffener als auch kommerzieller Erweiterungen. 15, 23

Epistemik

Die epistemische Logik, auch Wissenslogik befasst sich mit Glauben und Wissen bei Individuen sowie Gruppen. Ziel von Untersuchungen mittels epistemischer Logik ist oft ein dynamisches oder flexibles Modell von Meinungs- und Wissenszuständen. 44

Equinox

Equinox (von englisch Tag- und Nachtgleiche) ist ein von der Eclipse Foundation entwickeltes Java-basiertes Framework, welches die OSGi-Kernspezifikation implementiert und das Gerüst der integrierten Entwicklungsumgebung Eclipse bildet. 16, 23

Ergodizität

Ergodizität ist eine Eigenschaft dynamischer Systeme. Sie bezieht sich auf das mittlere Verhalten eines Systems. Ein solches System wird durch eine Musterfunktion beschrieben, die die zeitliche Entwicklung des Systems abhängig von seinem aktuellen Zustand bestimmt. 40, 43

Framework

Ein Framework (englisch für Rahmenstruktur) ist ein Programmiergerüst, das in der Softwaretechnik, insbesondere im Rahmen der objektorientierten Softwareentwicklung sowie bei komponentenbasierten Entwicklungsansätzen, verwendet wird. 16, 23

Ikonizität

Ikonizität ist ein mehrdeutiger linguistischer Fachbegriff, der sich auf den Begriff des Ikons im Sinne von Charles Sanders Peirce bezieht. Er bezeichnet unter anderem, die Beziehung zwischen dem Ausdruck und Inhalt ikonischer Zeichen. Ikonizität wird oftmals mit Abbildungsverhältnis sprachlicher Ausdrücke übersetzt. 44, 46

Künstliches neuronales Netz

Künstliche neuronale Netze (selten auch künstliche neuronale Netzwerke, kurz: KNN, engl. artificial neural network – ANN) sind Netze aus künstlichen Neuronen. Sie sind ein Zweig der künstlichen Intelligenz und prinzipieller Forschungsgegenstand der Neuroinformatik. 18, 26

Kinect

Kinect ist eine Plattform zur Steuerung der Videospielekonsole Xbox 360, die seit Anfang November 2010 verkauft wird. 6, 8

Künstliche neuronale Netze

Künstliche neuronale Netze basieren meist auf der Vernetzung vieler McCulloch-Pitts-Neuronen oder leichter Abwandlungen davon. Grundsätzlich können auch andere künstliche Neuronen Anwendung in KNNen finden, z.B. das High-Order-Neuron. Die Topologie eines Netzes (die Zuordnung von Verbindungen zu Knoten)

muss abhängig von seiner Aufgabe gut durchdacht sein. Nach der Konstruktion eines Netzes folgt die Trainingsphase, in der das Netz „lernt“. 27

Mensch-Computer-Interaktion

Die Mensch-Computer-Interaktion (englisch *Human-Computer Interaction*, *HCI*) als Teilgebiet der Informatik beschäftigt sich mit der benutzergerechten Gestaltung von interaktiven Systemen und ihren Mensch-Maschine-Schnittstellen. 5, 44, 45

Mensch-Maschine-Schnittstelle

Die Benutzerschnittstelle (nach Gesellschaft für Informatik, Fachbereich Mensch-Computer-Interaktion auch Benutzungsschnittstelle) ist die Stelle oder Handlung, mit der ein Mensch mit einer Maschine in Kontakt tritt. 5, 18

Mikrofonarray

Beamforming ist ein Verfahren zur Positionsbestimmung von Quellen in Wellenfeldern (z. B. Schallfeldern). Entsprechende Vorrichtungen werden auch akustische Kamera, Mikrofonarray oder akustische Antenne genannt. 12, 13

Open Graphics Library

OpenGL (Open Graphics Library) ist eine Spezifikation für eine plattform- und programmiersprachenunabhängige Programmierschnittstelle zur Entwicklung von 2D- und 3D-Computergrafik. Der OpenGL-Standard beschreibt etwa 250 Befehle, die die Darstellung komplexer 3D-Szenen in Echtzeit erlauben. 17

Pantomime

Pantomime bezeichnet sowohl eine Form der darstellenden Kunst, deren Darsteller in den meisten Fällen ohne gesprochenes Wort auskommen, als auch den Künstler selbst, der diese Form der Darstellung praktiziert. 44, 53, 55

Programmierschnittstelle

Eine Programmierschnittstelle (englisch application programming interface, API; deutsch Schnittstelle zur Anwendungsprogrammierung) ist ein Programmteil, der von einem Softwaresystem anderen Programmen zur Anbindung an das System zur Verfügung gestellt wird, plural=API. 16

Semiotik

Semiotik ist die Wissenschaft, die sich mit Zeichensystemen aller Art (zum Beispiel: Bilderschrift, Gestik, Formeln, Sprache, Verkehrszeichen) befasst. Sie ist die allgemeine Theorie vom Wesen, der Entstehung (Semiose) und dem Gebrauch von Zeichen. 43, 45

Skelett Tracking System

Unter Motion Capture, oder auch Skelett Tracking System, wörtlich Bewegungs-Erfassung, versteht man ein Tracking-Verfahren, das es ermöglicht, jede Art von Bewegungen so zu erfassen und in ein von Computern lesbares Format umzuwandeln, dass diese die Bewegungen analysieren, aufzeichnen, weiterverarbeiten und zur Steuerung von Anwendungen verwenden können. 13

Software Development Kit

Ein Software Development Kit (SDK) ist eine Sammlung von Werkzeugen und Anwendungen, um eine Software zu erstellen, meist inklusive Dokumentation. Mit diesem ist es Softwareentwicklern möglich, eigene darauf basierende Anwendungen zu erstellen. 8, 10, 14, 18, 22

Stochastischer Prozess

Ein stochastischer Prozess ist die mathematische Beschreibung von zeitlich geordneten, zufälligen Vorgängen. 29, 30, 32