

Seminarfacharbeit

Titel der Arbeit // Title of Thesis

Face Recognition mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz

Akademischer Abschlussgrad: Grad, Fachrichtung (Abkürzung) // Degree
Abitur 2021

Autorenname, Geburtsort // Name, Place of Birth

Kevin Pagenkämper, Nordhorn

Studiengang // Course of Study

Informatik

Fachbereich // Department

Technik und Ethik

Erstprüferin/Erstprüfer // First Examiner

Andre Nixdorf

Zweitprüferin/Zweitprüfer // Second Examiner

Henrike Schnöing

Abgabedatum // Date of Submission

03.03.2020

Eidesstattliche Versicherung

Pagenkämper Kevin

Name, Vorname // Name, First Name

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Seminarfacharbeit mit dem Titel

Face Recognition mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Nordhorn, den 2. März 2020

Ort, Datum, Unterschrift // Place, Date, Signature

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund	2
2.1	Definition Künstliche Intelligenz	2
2.2	Wie funktioniert eine Künstliche Intelligenz?	2
2.2.1	Deep Learning	2
2.2.2	Machine Learning	3
2.2.3	Aufbau eines Neuronalen Netzes	4
2.2.4	Trainieren eines Neuronalen Netzes	5
2.3	Erste Konzepte Künstlicher Intelligenz	5
2.3.1	Logic Theorist - Was konnte es?	6
2.4	Das System der Gesichtsentdeckung	6
2.4.1	Gesichtsentdeckung durch Bildreduzierung um Hintergrundinformationen	6
2.4.2	Gesichtsentdeckung durch Farbinformationen	6
2.4.3	Gesichtsentdeckung durch Bewegungsinformationen	7
2.4.4	Gesichtsentdeckung durch Geometrie	7
2.5	Das System der Gesichtserkennung	7
2.5.1	3D-Verfahren	8
2.5.2	Elastic bunch Graph Matching	8
3	Praktische Anwendung von Gesichtserkennung	9
3.1	Apples „Face-ID“ und Androids „Trusted Face“	9
3.2	Die Massenüberwachung in China	9
3.3	Gesichtserkennung mit Development-Boards	9
4	Hinterfragen der Ethischen korrektheit	10
5	Literatur Verzeichnis	11
5.1	Logic Theorist	11

5.1.1	Memorandum	11
5.1.2	Wikipedia Artikel	11
5.2	Allgemeine Quellen zum Thema KI	11
5.2.1	Wikipedia Artikel zum Thema Künstliche Intelligenz	11
5.2.2	Gesichtserkennung	11
5.3	Aufbau und Funktionsweise Neuronaler Netze	11
5.3.1	JAAI - Aufbau von Neuronalen Netzen	11
5.3.2	Wie lernen Neuronale Netze?	11
5.4	Bücher	12
5.4.1	Buch: Digitale Gesichtserkennung	12
5.4.2	Buch: Künstliche Intelligenz - Wann übernehmen die Maschinen?	12
5.4.3	Buch: Prinzipien der Mathematik	12
5.5	Informationen über das menschliche Gehirn	12
5.5.1	dasgehirn.info - Zellen: spezialisierte Arbeiter des Gehirns	12
5.6	Viola Jones Algorithmus	12
5.7	Facial Recognition	12
5.7.1	Elastic Bunch Graph Matching	13
5.8	„Machine Learning“ und „Deep Learning“	13
5.9	Netflix Research	13
5.9.1	Machine Learning - Learn hoe to entertain the World	13
5.10	Bilder	13
5.10.1	Beispiel eines Neuronalen Netzes	13

1 Einleitung

Vor ungefähr 64 Jahren wurde das erste Programm, welches speziell zur Problemlösung und nachahmung eines Menschen entwickelt wurde, von Herbert Alexander Simon und Allen Newell geschrieben. Dieses Programm war Quellen zufolge das erste Programm welches der Definition von Künstlicher Intelligenz, ein Programm welches speziell dafür entwickelt wurde die Fähigkeiten eines Menschen nachzuahmen, gerecht wurde [vgl. 5.1] wobei zu dem Zeitpunkt der Entwicklung dieser das Wort "Künstliche Intelligenz"[folgend auch als KI bezeichnet] noch nicht existierte bzw. nicht in diesem Kontext verwendet wurde [vgl. 5.1.2]. Seitdem hat sich das Thema KI sowohl in der Hardware aber auch in der Software stark weiterentwickelt. Wo Künstliche Intelligenzen früher nur mit einfachen Zahlen arbeiten konnten, können einige mittlerweile Personen, Gesichter, Objekte und andere Dinge identifizieren und differenzieren. Doch auch hierbei gibt es Probleme die seit der Entwicklung von Gesichtserkennungsprogrammen in den 1960er nicht vollständig gelöst werden konnten, weshalb es bisher auch keine KI gibt welche keine Mängel aufweist. Und gibt es eine KI die momentan eine erfolgchance von 100% hat ist dies aus dem Grund so, dass sie ihrem Schwachpunkt noch nicht begegnet ist. In dieser Facharbeit wird das Thema der Gesichtserkennung, zu engl. "Face recognition", behandelt. Bei dieser Art der Anwendung von Künstlicher Intelligenz liegt die Schwierigkeit besonders bei Unschärfe, Fragmenten, Verzerrungen und Ähnlichkeiten von Objekten und besonders von Gesichtern. Dies ist z.B. bei Zwillingen der Fall an dem viele Systeme noch heute scheitern. Zudem wird die Theorie von Face Recognition mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz erklärt, mit praktischen Beispielen erläutert und auf ethischer Basis analysiert.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Definition Künstliche Intelligenz

Der Interesse an dem Thema Künstliche Intelligenz sowie die Einsatzmöglichkeiten steigen stetig an. Künstliche Intelligenz ist ein sehr großes Thema. Für eine grobe Wiedergabe worum es in diesem Thema geht liefert Wikipedia einen guten Einstieg: *„Künstliche Intelligenz [...] ist ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem maschinellen Lernen befasst.“* [siehe 5.2.1]

Mit dieser Aussage kann man Künstliche Intelligenz im groben Beschreiben. Etwas genauer beschreibt es Klaus Mainzer in seinem Buch „Künstliche Intelligenz - Wann übernehme die Maschinen?“ [siehe 5.4.2]. In diesem geht er auf die Definition der Intelligenz von Systemen ein. Laut ihm heißt ein System intelligent *„wenn es selbstständig und effizient Probleme lösen kann. Der Grad der Intelligenz hängt vom Grad der Selbstständigkeit, dem Grad der Komplexität des Problems und dem Grad der Effizienz des Problemlösungsverfahrens ab“* [siehe S.3 in 5.4.2].

Um es einmal auf den Punkt zu bringen, bezeichnet „Künstliche Intelligenz“ ein System welches selbstständig lernen und effizient Probleme lösen kann und zudem noch lernfähig ist.

2.2 Wie funktioniert eine Künstliche Intelligenz?

Künstliche Intelligenzen funktionieren je nach Abwandlung etwas verschieden aber ähneln sich dennoch in ihrem Aufbau. In dieser Arbeit werden die sogenannten Neuronalen Netzwerke, welche in den meisten Systemen Anwendung finden, behandelt. Dennoch werden zunächst die beiden Definitionen „Deep Learning“ und „Machine Learning“ behandelt, da diese eine große Rolle im Bereich KI spielen.

2.2.1 Deep Learning

Deep Learning ist ein Lernverfahren für eine KI welches selbst auch als Machine Learning bezeichnet werden kann. In einem solchen Verfahren lernt die Software mit Hilfe eines programmierten Neuronalen Netzwerk um im Nachhinein präzise Ausgaben zu tätigen [vgl. 5.8]. Diese spezielle Art des Lernens wird für die Neuronalen Netze verwendet die in dieser Arbeit hauptsächlich behandelt werden. In einem späteren Abschnitt wird das Trainieren eines Neuronalen Netzes noch einmal genauer erklärt. [siehe 2.2.4]

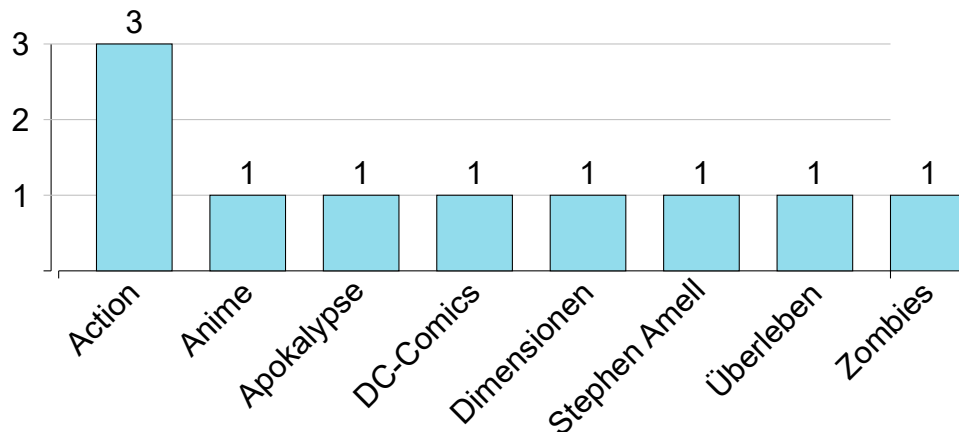
2.2.2 Machine Learning

„Algorithms that parse data, learn from that data, and then apply what they’ve learned to make informed decisions“ [siehe 5.8]. Sinngemäß übersetzt heißt dieser Satz „Algorithmen die Daten analysieren, von diesen lernen, und ihr erlerntes Wissen zu nutzen um sachkundige Entscheidungen zu treffen“. Dies ist die Grunddefinition zu Machine Learning, zu deutsch Maschinelles Lernen, auf die sich in dieser Arbeit berufen wird. Um dies an einem realen Beispiel zu veranschaulichen kann man sich Streaming Dienste wie Spotify, Deezer, Netflix oder Amazon Prime nehmen. Hierbei sei gesagt, dass die folgende Theorie zur Verarbeitung von Daten nicht unbedingt der Wirklichkeit entsprechen muss. Dies ist nur ein Ansatz auf welche Art und Weise ein Machine Learning Ansatz umsetzbar ist.

Für das Maschinelle Lernen ist keine komplexe Struktur nötig. Wenn man einfach nur ein System möchte welches einem Nutzer z.B. auf der Seite Netflix neue Serien und Filme, basierend auf den vergangen geschauten Inhalten, vorschlägt und man keinen Wert auf einen zu 100% Leistungsoptimierten Ansatz vorraussetzt, so kann man mit einfachen Tags und Textdateien arbeiten. Tags ist Englisch und bedeutet Etikett oder Stichwort. Einfach gesagt werden diese Tags an alles angeheftet was man analysieren und kategorisieren möchte. Man kann diese mit den sogenannten Hashtags von Instagram, Twitter und anderen sozialen Netzwerken vergleichen. Diese werden auch zum kategorisieren verwendet. Sucht ein Nutzer z.B. nach Katzen oder dem Hashtag Katzen werden ihm Inhalte bevorzugt angezeigt die genau diesen tag, also mit dem Etikett „Keatze“ versehen sind, versehen sind. Nehmen wir für unser Beispiel einen Nutzer, welcher folgende Serien in seinem Verlauf hat. In der linken Spalte der vorliegenden Tabelle wird dabei der Serien Name angezeigt und in der rechten Spalte werden die Tags zu der Serie angezeigt (diese können von den tatsächlichen Tags abweichen und dienen nur zur veranschaulichung)

Serie	Tags
The Walking Dead	Zombies, Apokalypse, Überleben, Action
Arrow	DC-Comics, Action, Stephen Amell
World Trigger	Anime, Action, Dimensionen

Dies sind zwar nur wenig Daten aber zum Verständnis reicht es vollkommen aus. Nehmen wir nun die einzelnen Tags, können wir sehen bzw. vermuten welche Serien der Nutzer gerne schaut und ihm dementsprechend Empfehlungen geben. Hier in einem Säulendiagramm dargestellt.



In einer für und Menschen anschaulichen Version dargestellt, ist nun deutlich zu sehen, dass der Nutzer Action-Serien priorisiert, denn im Gegensatz zu anderen Tags ist der Tag Action drei mal vorgekommen. Wie gesagt ist dies eine sehr ungenaue Vorhersage aufgrund der geringen Datenmenge. Nutzt man den jeweiligen Service aber nun schon eine Weile kann man daraus sehr interessante Daten gewinnen. Aber was bringt uns nun zu wissen welche Tags häufig im Serienverlauf des Nutzers vorkommen? Ganz einfach. Wenn in einem Monat z.B. 40 neue Serien auf Netflix lizenziert werden, ist es sinnlos dem Nutzer einfach alle auf dem Startbildschirm zu zeigen. Sinnvoller wäre es dem Nutzer erst die Serien zu zeigen die mit ähnlichen Tags markiert sind wie diese die der Nutzer mag. So kann in der Theorie für den Nutzer ein spannender und nicht langweiliger Filmabend gesichert werden. Zudem werden diese Informationen an Marketing Firmen weiterverkauft, wodurch versucht wird den Nutzer zu neuen Inhalten zu bewegen die seinem Interessengebiet entsprechen [vgl. 5.9.1]

2.2.3 Aufbau eines Neuronalen Netzes

Neuronale Netze sind nach der Theorie wie unser Gehirn funktioniert aufgebaut. Hierbei arbeiten viele Neurone zusammen um Daten und Befehle zu verarbeiten [vgl. 5.5.1]. Die Neuronale Netze besitzen 3 verschiedene Layer welche zur Datenverarbeitung genutzt werden können.

Diese Layer werden „Input Layer“, „Hidden Layer“ und „Output Layer“ genannt. Innerhalb dieser gibt es sogenannte Neuronen, welche mit jeweils jedem Neuron der vorherigen und der nächsten Schicht verbunden ist. Jedes dieser Neuronen hat ein Gewicht welches das Ergebnis im „Output Layer“ beeinflussen kann. Wie viele Neuronen-Verbindungen es gibt hängt von der Anzahl der Neuronen sowie der „Hidden Layers“ ab. Im Beispiel [Abbildung 1] ist diese Rechnung noch sehr simpel.

$$3 \cdot 4 = 12 + (4 \cdot 4) = 28 + (4 \cdot 1) = 32 \quad (1)$$

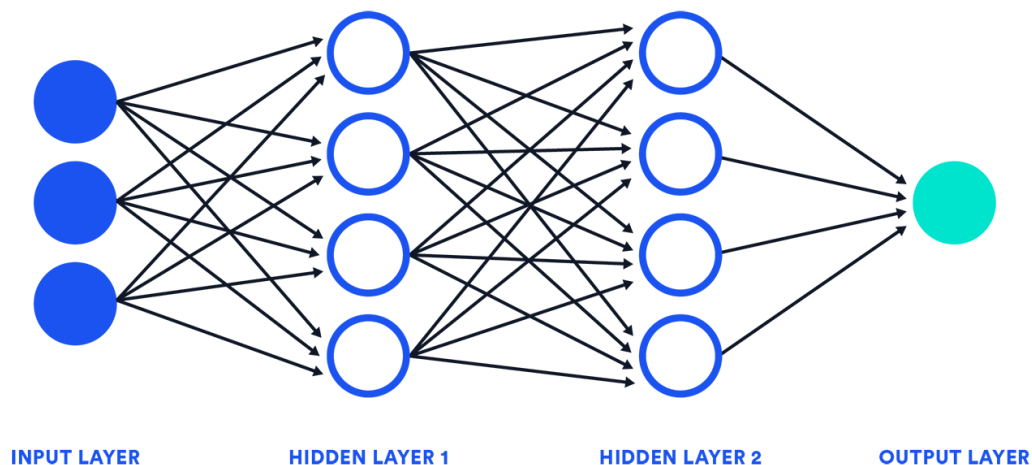


Abbildung 1: Beispiel eines Neuronalen Netzes [Quelle: 5.10.1]

Das Beispiel hat also insgesamt 32 Neuronen Verbindungen. Dies ist noch ein sehr kleines Netz, welches für Anschauungszwecke allerdings völlig ausreicht.

2.2.4 Trainieren eines Neuronalen Netzes

Mit einem gerade erstellten Neuronalen Netz können noch keine Daten sinnvoll verarbeitet werden. Zunächst muss dieses auf das Anwendungsgebiet trainiert werden. In diesem Training bekommen die Neuronen zunächst ein zufälliges Gewicht welches meist zwischen -1 und 1 liegt. Als nächstes werden Daten in das Neuronale Netz gegeben. Natürlich wird die Ausgabe größtenteils falsch sein und nur durch Glück einen richtigen Ansatz haben. Nach dem der erste Datensatz durchgelaufen ist, passt das Netz seine Gewichte automatisch an. Hierbei erkennt es welche Neuronen den größten Einfluss auf das aktuelle Ergebnis hatten und berechnet dabei die Abweichung vom erwarteten Ergebnis die diese verursachten. Im Anschluss werden diese fehlerhaften Gewichte ein kleines bisschen angepasst sodass die Ergebnisse am „Output Layer“ ein wenig näher am erwarteten Ergebnis sind als vorher [vgl. 5.3.2]. Dieser Vorgang wird nun mit einem großen Datensatz mehrere hunderte oder tausend mal wiederholt. Hierbei gilt je größer der Datensatz desto genauer und „intelligenter [vgl. 2.1]“ das Neuronale Netz.

2.3 Erste Konzepte Künstlicher Intelligenz

Wie in der Einleitung schon erwähnt, begann die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz schon vor mehreren Jahrzehnten. Am Anfang gab es die Bezeichnung „Künstliche Intelligenz“ noch nicht. Dennoch schafften es die beiden Wissenschaftler Herbert Alexander

Simon und Allen Newell ein Lernfähiges Computersystem zu erschaffen, welches einen menschlich-orientierten Lösungsansatz verwendete [Bezug zu 1]. Dieses System hieß „Logic Theorist“

2.3.1 Logic Theorist - Was konnte es?

Der Logic Theorist sollte dazu dienen Mathematische Behauptungen zu beweisen. Von dem zweiten Kapitel der „Prinzipien der Mathematik“, ein Buch Trilogie welche Grundlagen der Mathematik zusammenfasst [siehe 5.4.3], konnte das Programm von den ersten 52 Theorien insgesamt 38 beweisen. Einige dieser Lösungen waren laut Quellen sogar „schöner“ gelöst als die handschriftliche Lösung der Autoren Bertrand Russel und Alfred North Whitehead.

2.4 Das System der Gesichtsentdeckung

Die Gesichtsentdeckung, zu englisch „face detection“, bildet die Basis der Erkennung bzw. Wiedererkennung von Gesichtern. Um ein Gesicht in einem Bild oder Video erkennen zu können, müssen zunächst die biometrischen Daten der Gesichter auf dem Bild extrahiert werden. Dabei werden Bilder systematisch nach Gesichtern untersucht sowie die Lage, die Pixelkoordinate im Bild, der dabei gefundenen Merkmale gespeichert. Hierbei gibt es verschiedene Methoden die in den folgenden Unterkapiteln behandelt werden [vgl. 5.4.1]. Hierbei sei zu beachten, dass es einen Unterschied zwischen der Gesichtsentdeckung und der Gesichtserkennung gibt. Während die Gesichtsentdeckung nur dazu dienen soll Gesichter zu erkennen, geht die Gesichtserkennung noch weiter und kann diese analysieren und zuordnen.

2.4.1 Gesichtsentdeckung durch Bildreduzierung um Hintergrundinformationen

Wenn in einem Bild der Hintergrund bekannt ist, z.B. von einer Kamera die auf einem Stativ still an einem Ort verweilt, können Gesichter durch Subtraktion des gespeicherten Hintergrundes und des aufgenommenen Bildes aus dem Bild extrahiert werden. Hierbei ist wichtig, dass das Gesicht nur in der Frontalansicht ordnungsgemäß erkannt werden kann. Zudem ist es wichtig, dass sich der Hintergrund nicht verändert und durchgehend statisch bleibt. [vgl. 5.4.1]

2.4.2 Gesichtsentdeckung durch Farbinformationen

Das Menschliche Gesicht kann in einem Bild auf einer relativ großen Fläche in einem Bild eine sehr monotone Farbgebung darstellen. Dies kann man sich zu nutze machen,

und in einem Bild nach diesen Ansammlungen suchen. Dazu wird zunächst eine Analyse gestartet, welche die Sättigung pro Farbton angibt. Durch die relativ dichte und monotone Farbgebung eines Gesichtes, kann durch dieses Analyseverfahren auf ein Gesicht geschlossen werden.

Diese Methode ist allerdings nicht perfekt und birgt zwei große Nachteile. Zunächst gibt es das Problem mit den Lichtverhältnissen. In dunklen Bildern werden Menschen mit dunkler Hautfarbe eher weniger erkannt als Menschen mit heller Hautfarbe sowie in hellen Bildern eher dunkelhäutige Menschen erkannt werden. Außerdem gibt es das Problem, dass große Ansammlungen von ähnlichfarbigen Pixeln die Ausgabe beeinflussen können. [5.4.1]

2.4.3 Gesichtsentdeckung durch Bewegungsinformationen

So wie Gesichter durch Farbinformationen erkannt werden können sie ähnlich auch durch Bewegungsinformationen erkannt werden. Diese Art der Gesichtsentdeckung ist aufgrund der benötigten Daten auf Videos beschränkt. In diesem Verfahren wird sich zu Nutzen gemacht, dass das Gesicht fast dauerhaft in Bewegung ist. Der Algorithmus vergleicht die korrespondierenden Pixel und geht von einem neuen Bild aus, wenn diese sich um einen bestimmten Betrag verändern. Aus diesen wird dann eine Differenz gebildet wodurch ein Gesicht erkannt werden kann. Welcher Bildausschnitt betrachtet werden soll, wird im Vorhinein festgelegt. Allerdings produziert dieses Verfahren eine Vielzahl an Fehlern, da auch bewegte Objekte als „Gesichter“ erkannt werden [5.4.1].

2.4.4 Gesichtsentdeckung durch Geometrie

Face detection durch Geometrie ist wohl mit eine der genauesten Arten Gesichtsentdeckung durchzuführen. Hierbei wird ein Bild soweit gefiltert, dass es nur noch eine Binäre Kantenebene hat. Das bedeutet, dass z.B. von einem Gesicht nur noch die Umrisse von Augen, Nase, Mund, Haare und Form sichtbar sind. Dieses Kantenbild, wird dann mit dem Kantenbild eines typischen Gesichts verglichen indem die Hausdorff-Distanz berechnet wird. Diese Distanz beschreibt den kleinstmöglichen Abstand einer Punktmenge zu einer zweiten Punktmenge. Dieses Verfahren führt man dann mit einem detaillierten Bild einer Augenpartie durch und kann dann, aufgrund der Hausdorff-Differenz, entscheiden ob es sich um ein Gesicht handelt oder nicht [vgl. 5.4.1].

2.5 Das System der Gesichtserkennung

Noch weiter als die Gesichtsentdeckung geht die Gesichtserkennung. Sie beschäftigt sich nicht nur mit der Erkennung von Gesichtern, sondern auch mit der Identifizierung von Personen anhand biometrischer Daten [vgl. 5.4.1 & 5.7]. Hierbei wird zwischen der Lernphase und Erkennungsphase unterschiedet. In diesem Abschnitt wird auf die

Funktionsweise verschiedener Algorithmen eingegangen, die zur Gesichtserkennung genutzt werden.

In den Anfängen der Gesichtserkennung wurde ein Bild nach Augen, Mund und Nase durchsucht. Von diesen wurden die relativen Abstände bestimmt wodurch ermittelbar war ob es sich um ein Gesicht handelt oder nicht. Der Nachteil dieser Methode (welche auch 2D-Verfahren genannt wird) ist, dass nur Frontalaufnahmen von Gesichtern ordnungsgemäß erkannt werden konnten.

2.5.1 3D-Verfahren

Im Gegensatz zum 2D-Verfahren nutzt das 3D-Verfahren den 3-dimensionalen Raum. Hierbei wird nicht einfach nur der Abstand von Augen, Nase, Mund und anderen Gesichtsmerkmalen auf der X und Y-Achse bemessen sondern mit Hilfe von Streifenprojektion auch auf der Z-Achse bemessen. Durch diese drei Achsen ist es auch möglich Winkelberechnungen anzustellen welche bei der Differenzierung von verschiedenen Gesichtern nützlich sein kann. Für diese Methode sind allerdings auch spezielle Sensoren notwendig [vgl. 5.4.1 & 5.2.2]. Diese sind mittlerweile aber auch schon in vielen Smartphones verbaut. Eine genauere Erklärung dieser Sensoren ist in dem Abschnitt [3.1] zu finden.

2.5.2 Elastic bunch Graph Matching

3 Praktische Anwendung von Gesichtserkennung

3.1 Apples „Face-ID“ und Androids „Trusted Face“

3.2 Die Massenüberwachung in China

3.3 Gesichtserkennung mit Development-Boards

4 Hinterfragen der Ethischen korrekttheit

5 Literatur Verzeichnis

5.1 Logic Theorist

Letzter Zugriff: 12.02.2020

URL: <https://history-computer.com/ModernComputer/Software/LogicTheorist.html>

5.1.1 Memorandum

Letzter Zugriff: 18.02.2020 12:38

URL: <https://history-computer.com/Library/Logic%20Theorist%20memorandum.pdf>

5.1.2 Wikipedia Artikel

Letzter Zugriff: 18.02.2020

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_Theorist

5.2 Allgemeine Quellen zum Thema KI

5.2.1 Wikipedia Artikel zum Thema Künstliche Intelligenz

Letzter Zugriff: 19.02.2020 12:25

URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliche_Intelligenz

5.2.2 Gesichtserkennung

Letzter Zugriff: 02.03.2020 17:19

URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gesichtserkennung>

5.3 Aufbau und Funktionsweise Neuronaler Netze

5.3.1 JAAI - Aufbau von Neuronalen Netzen

Letzter Zugriff: 22.02.22 15:04

URL: <https://jaai.de/kuenstliche-neuronale-netze-aufbau-funktion-291/>

5.3.2 Wie lernen Neuronale Netze?

Letzter Zugriff: 23.02.2020 17:49

URL: <https://jaai.de/machine-deep-learning-529/>

5.4 Bücher

5.4.1 Buch: Digitale Gesichtserkennung

Untertitel: Theoretischer Überblick und praktische C++-Implementierung

Autor: Andreas G. Ranftl

Jahr: 2012

Ort: Hamburg

ISBN: 978-3-86341-432-0

5.4.2 Buch: Künstliche Intelligenz - Wann übernehmen die Maschinen?

Autor: Klaus Mainzer

Jahr: 2016

ISBN: 978-3-662-48452-4

ISBN: 978-3-662-48453-1 (eBook)

5.4.3 Buch: Prinzipien der Mathematik

Letzter Zugriff: 24.02.2020 12:14

Autor: Bertrand Russel, Alfred North Whitehead

URL: <https://plato.stanford.edu/entries/principia-mathematica/>

5.5 Informationen über das menschliche Gehirn

5.5.1 dasgehirn.info - Zellen: spezialisierte Arbeiter des Gehirns

Letzter Zugriff: 22.02.2020 18:03

URL: <https://www.dasgehirn.info/grundlagen/kommunikation-der-zellen/zellen-spezialisierte-arbeiter-des-gehirns>

5.6 Viola Jones Algorithmus

Letzter Zugriff: 02.03.2020 12:52

URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/40b1/0e330a5511a6a45f42c8b86da222504c717f.pdf>

5.7 Facial Recognition

Letzter Zugriff: 02.03.2020 13:47

URL: <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/facial-recognition>

5.7.1 Elastic Bunch Graph Matching

Letzter Zugriff: 02.03.2020 19:42

URL: http://www.scholarpedia.org/article/Elastic_Bunch_Graph_Matching

5.8 „Machine Learning“ und „Deep Learning“

Letzter Zugriff: 01.03.2020 22:22

URL: <https://www.zendesk.com/blog/machine-learning-and-deep-learning/>

5.9 Netflix Research

5.9.1 Machine Learning - Learn hoe to entertain the World

Letzter Zugriff: 02.03.2020

URL: <https://research.netflix.com/research-area/machine-learning>

5.10 Bilder

5.10.1 Beispiel eines Neuronalen Netzes

Download am: 22.02.2020 15:20

URL: <https://de.cleanpng.com/png-jxw2np/>