

# **Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Master of Science (M.Sc.)

## **Entwicklung einer Bildverarbeitung mit dem Schwerpunkt Personenerkennung für ein autonomes Logistik-Fahrzeug**

**Autor:** Giuliano Montorio  
giuliano.montorio@hs-bochum.de  
Matrikelnummer: 015202887

**Erstgutachter:** Prof. Dr.-Ing. Arno Bergmann  
**Zweitgutachter:** M.Sc. Bernd Möllenbeck

**Abgabedatum:** tt.mm.jjjj

# Eidesstattliche Erklärung

## Eidesstattliche Erklärung zur Abschlussarbeit:

«Entwicklung einer Bildverarbeitung mit dem Schwerpunkt Personenerkennung für ein autonomes Logistik-Fahrzeug»

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Bochum, 25. August 2020

---

Ort, Datum

---

Giuliano Montorio

# Danksagung

Ein großes Dankeschön gilt all jenen Personen, die mich im Rahmen dieser Masterarbeit begleitet und geholfen haben. Insbesondere möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Arno Bergmann, Herrn Bernd Möllenbeck, M.Sc. und Herrn Dr.-Ing. Christoph Krimpmann danken, die unsere Arbeit durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung begleitet haben. Auch beim Fachbereich Elektrotechnik und Informatik der Hochschule Bochum, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Thorsten Bartsch möchten wir uns bedanken. Für die Bereitstellung von Informationen und Dokumente sind wir Herrn Dennis Hotze, M.Sc. und der Smart Mechatronics GmbH sehr dankbar, ohne deren Hilfe und finanzielle Unterstützung dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung des Projekts . . . . .	2
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Eigenschaften von neuronalen Netzen . . . . .	3
2.1.1 Anwendung von neuronalen Netzen . . . . .	3
2.1.2 Lernprozess . . . . .	4
2.1.3 Unterscheidung verschiedener Netze . . . . .	4
2.1.4 Evaluation neuronaler Netze . . . . .	4
2.2 Objekterkennung durch neuronale Netze . . . . .	4
2.2.1 Datensätze . . . . .	4
2.3 Zustandsautomat . . . . .	4
2.4 Bestimmung von Positionskoordinaten . . . . .	4
<b>3 Konzeptionierung</b>	<b>5</b>
3.1 Anforderungserhebung mit CONSENS . . . . .	5
3.2 Konzept und Aufbau der Personenerkennung . . . . .	5
3.2.1 Wirkstruktur der Personenerkennung . . . . .	5
3.2.2 Auswahl und Training der verwendeten neuronalen Netze . . . . .	5
3.2.3 Schnittstelle zwischen Python und ROS . . . . .	5
3.2.4 Erstellung von Objektinformationen . . . . .	5
3.3 Funktionsweise des Gesamtsystems . . . . .	5
<b>4 Verifikation</b>	<b>6</b>

<b>5 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>7</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>A Anhang</b>	<b>10</b>
A.1 Abbildungen . . . . .	10
A.2 Inhalt Datenträger . . . . .	11

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ALF</b>	Autonomes Logistik Fahrzeug
<b>BLDC</b>	Brushless Direct Current
<b>CAN</b>	Controlled Area Network
<b>CONSENS</b>	Conceptual Design Specification Technique for the Engineering of Complex Systems
<b>EPOS</b>	Entwicklungsplattform Ortsfrequenzfilter-Sensor
<b>FMEA</b>	Failure Mode and Effects Analysis
<b>LIDAR</b>	Light Detection and Ranging
<b>LTI</b>	Linear, zeitinvariantes System
<b>MCM</b>	MotorController Module
<b>RALF</b>	Regelung eines Autonomen Logistik Fahrzeugs
<b>ROS</b>	Robot Operating System
<b>RVIZ</b>	ROS Visualization
<b>SLAM</b>	Simultaneous Localization and Mapping
<b>TEB</b>	Timed Elastic Band
<b>TFEST</b>	Transfer Function Estimation
<b>URDF</b>	Unified Robot Description Format
<b>USBFS</b>	Universal Serial Bus Filesystem

# Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung
$D$	Dämpfung der Übertragungsfunktion
$G$	Übertragungsfunktion
$\underline{H}$	Hilfsmatrix
$K_P$	Verstärkungsfaktor
$K_s$	Streckenverstärkung
$\mathcal{L}$	Laplace-Transformation
$M$	Momentanpol
$\mathcal{O}_{\mathcal{T}}$	Menge aller Odometriedaten
$P_a$	Skalierungsfaktor für manuellen Betrieb
$P_m$	Skalierungsfaktor für automatischen Betrieb
$R_c$	Circumscribed Radius
$R_i$	Inscribed Radius
$T$	Abklingzeitkonstante
$T_g$	Anstiegszeit
$T_n$	Nachstellzeit
$T_u$	Verzugszeit
$T_v$	Vorhaltezeit
$U$	Laplacetransformierte Eingangsgröße

Symbol	Bedeutung
$\mathcal{X}_{\mathcal{T}}$	Menge aller Positionsvektoren
$\mathcal{Z}_{\mathcal{T}}$	Menge aller Umgebungsmessungen
$Y$	Laplacetransformierte Ausgangsgröße
$\vec{a}$	Umrechnungsvektor
$a_i$	Koeffizienten der Differentialgleichung der Ausgangsgröße
$b_j$	Koeffizienten der Differentialgleichung der Eingangsgröße
$\vec{b}$	Allgemeines Bewegungsziel
$c$	Rotatorischer Bewegungsbefehl
$d_i$	Reelle Zahl
$f$	Cost Scaling Factor
$g$	Impulsantwort
$h$	Übergangsfunktion
$\vec{h}$	Hilfsvektor
$i$	imaginäre Einheit $i = \sqrt{-1}$
$j$	Komplexe Zahl $j = \sqrt{-1}$
$k$	Komplexe Zahl $k = \sqrt{-1}$
$m$	Karte der Umgebung
$m_i$	Landmarken
$o$	Odometrie
$p$	Wahrscheinlichkeitsfunktion
$\vec{p}$	Orientierungsvektor
$q$	Quaternion



Symbol	Bedeutung
$r$	Distanz
$\vec{r}_a$	Rotatorisches Bewegungsziel aus automatischen Betrieb
$\vec{r}_m$	Rotatorisches Bewegungsziel aus manuellen Betrieb
$s$	Komplexe Frequenz
$t$	Zeit
$\vec{t}_{ma}$	Translatorisches Bewegungsziel aus manuellen oder automatischen Betrieb
$u$	Eingangsgröße
$\hat{u}$	Sprunghöhe
$\vec{v}$	Geschwindigkeitsvektor
$w$	Führungsgröße
$\vec{x}_t$	Positionsvektor
$\vec{x}_0$	Startpositionsvektor
$y$	Ausgangsgröße eines Systems
$z$	Messwert der Umgebung
$\alpha$	Fahrtwinkel
$\beta$	Posenwinkel
$\delta$	Impulsfunktion
$\sigma$	Sprungfunktion

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Das Thema der künstlichen Intelligenz (KI) ist heutzutage allgegenwärtig. Smart Home Geräte wie Amazons Alexa, Siri der Firma Apple oder der Google Assistant gehören mittlerweile in jeden ... deutschen Haushalt und enthalten KI zur Spracherkennung. Derartige Technologien begleiten den Menschen jedoch nicht nur Zuhause sondern auch in der Transport- und Logistikbranche. Eine Potenzialanalyse zur künstlichen Intelligenz der Firma Sopra Steria zeigt, dass bereits im Jahr 2017 20% aller befragten Unternehmen solche Systeme einsetzten. 37% planten den zukünftigen Einsatz. Die Implementierung solcher Systeme hat Einfluss auf verschiedenste Eigenschaften der Wertschöpfungskette. Die Qualität des Fachprozesses wird mit ebenfalls steigender Geschwindigkeit erhöht. Die zur Logistikbranche gehörenden Transportfahrzeuge sind ebenfalls mit KI ausgestattet und sorgen so für weniger Arbeitsunfälle und eine schnellere, präzisere Abarbeitung der Logistikaufgaben.

Das Projekt dieser Masterarbeit wird praktisch am autonomen Logistikfahrzeug angewendet, das aus dem Labor für Antriebstechnik der Hochschule Bochum stammt. Die Idee des ALFs ist es ein Fahrzeug zu entwickeln, das nach seiner Fertigstellung Logistikaufgaben am Standort der Hochschule Bochum lösen soll. Der Entwicklungsprozess stellt sich aus diversen Bachelor- und Masterarbeiten zusammen, die sowohl Hardware, als auch Softwareimplementierungen vorsehen. Bisher wurden zwei Abschlussarbeiten inklusive der praktischen Anwendung am ALF geschrieben. M.Sc. Dennis Hotze und M.Sc. Dominik Eickmann entwickelten in ihrem Masterprojekt das Fahrzeug und konnten Fahraufgaben ferngesteuert und manuell erledigen. Während der darauffolgenden Bachelorarbeit wurde eine Schlupfkompensation entwickelt, die den Drift am Fahrzeug durch Eingabe von Umgebungsinformationen verhindert. Weiterhin wurden Funktionen entwickelt, um grundlegende und autonome Fahraufgaben zu lösen. Das autonome Logistikfahrzeug aus der vorangegangenen Bachelorarbeit dient auch in dieser Masterarbeit als

Versuchsplattform.

## 1.2 Zielsetzung des Projekts

Die Grundidee und Herausforderung dieser Masterarbeit ist die Interaktion zwischen Menschen und Roboter und der dadurch resultierenden Bedienung des Systems ohne Eingabegerät. Bisher wurden anzufahrende Posen per Mausklick eingegeben oder Fahrmodi manuell gewechselt. Der Informationsfluss wird hierbei rein visuell und akustisch passieren. Letzteres wird in der Masterarbeit von Herrn Dittmann behandelt und durch ausgewählte Schnittstellen mit diesem Projekt verknüpft, um ein Gesamtsystem zu bilden. Die visuelle Komponente kann im weiteren Entwicklungsprozess des Roboters für verschiedene Anwendungsbereiche genutzt werden. Ziel dieser Masterarbeit ist die Erkennung und Unterscheidung von Personen. Das System wird zwischen bekannten und unbekannten Personen unterscheiden können und Informationen aus den gegebenen Daten generieren, die in der weiteren Entwicklung nützlich sind.

## 2 Grundlagen

Für ein besseres Verständnis, der in Kapitel Konzept... angewandten Methoden, werden anbei die Grundlagen behandelt. Informationen zu der verwendeten Hard- und Software wurden bereits in der vorangegangenen Bachelorarbeit vermittelt. Aufgrund Anforderung A... ist während der praktischen Anwendung keine Änderung der Hardware vorgesehen.

### 2.1 Eigenschaften von neuronalen Netzen

Das Neuronennetz des menschlichen Gehirns dient als Vorbild für künstliche, neuronale Netze (KNN). Diese werden heutzutage als Lösung diverser Anwendungsprobleme angewendet, in denen komplexe Strukturen und Muster aus großen Datenmengen erkannt werden sollen. Das in diesem Projekt zugrundeliegende Bildverarbeitungsproblem besitzt die beschriebenen Eigenschaften und eignet sich somit für den Einsatz zur Erkennung von Personen. Anders als bei den meisten programmierten Applikationen ist die Ausgabe von KNN's lediglich probabilistisch. Bei dem vorliegenden, autonomen Logistikfahrzeug werden zur Personenerkennung derartige neuronale Netze verwendet.

#### 2.1.1 Anwendung von neuronalen Netzen

Das Grundlage für die Eingabe in ein neuronales Netz ist die Skalierung der vorliegenden Daten auf eine definierte Größe. Diese wäre beispielsweise bei einem Anwendungsfall mit einer Audiospur die Frequenzspektren oder bei einem Bildverarbeitungsproblem die Pixel eines Bildes. Die skalierten Daten werden in einem Tensor gegeben der die Dimensionen der Eingabe hat. Somit unterteilt sich ein Bild in die drei Dimensionen, die Höhe, die Weite und die Farbwerte der Primärfarben pro Pixel.

### **2.1.2 Lernprozess**

### **2.1.3 Unterscheidung verschiedener Netze**

### **2.1.4 Evaluation neuronaler Netze**

Die Ausgabe von neuronalen Netzen ist probabilistisch und nicht vorhersehbar. Folglich bestehen diverse Metriken für Evaluationen, die derartige Systeme messbar machen.

## **2.2 Objekterkennung durch neuronale Netze**

### **2.2.1 Datensätze**

## **2.3 Zustandsautomat**

## **2.4 Bestimmung von Positionskoordinaten**

Während der Durchführung autonomer Fahr- bzw. Logistikaufgaben können diverse Probleme auftreten, die eine erfolgreiche Bearbeitung verhindern können. Beispielsweise können Türen geschlossen sein oder Gegenstände die geplante Route blockieren. Da das ALF nicht über die technischen Möglichkeiten besitzt derartige Problemstellungen zu lösen, müssen Menschen Abhilfe schaffen. Für diese Zwecke ist die Kenntnis über die letzte Position der erfassten Personen relativ zur statischen Karte notwendig. Anstehende Fahraufgaben werden, bedingt durch das Vorgängerprojekt, mithilfe des Robot Operating Systems gelöst. Personen können folglich als Position in das ROS Netzwerk veröffentlicht. Dies ermöglicht dem Roboter die veröffentlichten Positionen anzufahren. Die Eintragung der Position in die statische Karte setzt die Beschreibung der Position als Koordinaten voraus. Für die Bestimmung der Positionskoordinaten wird ein zweidimensionales Bild und die dazugehörigen Tiefeninformationen genutzt. Die Koordinate `xloc` beschreibt hier die longitudinale Entfernung von der Kamera zur Person. Eingehende laterale Distanzen werden durch die Koordinate `yloc` dargestellt.

# **3 Konzeptionierung**

## **3.1 Anforderungserhebung mit CONSENS**

## **3.2 Konzept und Aufbau der Personenerkennung**

### **3.2.1 Wirkstruktur der Personenerkennung**

### **3.2.2 Auswahl und Training der verwendeten neuronalen Netze**

### **3.2.3 Schnittstelle zwischen Python und ROS**

### **3.2.4 Erstellung von Objektinformationen**

## **3.3 Funktionsweise des Gesamtsystems**

## **4 Verifikation**

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**



# Quellenverzeichnis

- [1] *Autonomes Fahren in der Logistik*. Zugriff: 11. Feb. 2019. <https://www.iml.fraunhofer.de>.
- [2] Dominik Eickmann und Dennis Hotze. *Entwicklung und Verifikation eines autonomen Logistik-Fahrzeugs*. Masterthesis. Hochschule Bochum - Bochum University of Applied Sciences, Feb. 2018.
- [3] FabianSacilotto. *ROS.org*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/de>.
- [4] TullyFoote. *ROS.org Concepts*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/de/ROS/Concepts>.
- [5] BradMiller. *ROS.org Parameter Server*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/Parameter%20Server>.
- [6] YanqingWu. *ROS.org Master*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/Master>.
- [7] H. Unbehauen. *Regelungstechnik I: Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme*. 9. Auflage. Vieweg + Teubner, 1997.
- [8] Jan Lunze. *Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen*. 10. Auflage. Springer Vieweg, 2014.
- [9] Serge Zacher und Manfred Reuter. *Regelungstechnik für Ingenieure: Analyse, Simulation und Entwurf von Regelkreisen*. 15. Auflage. Springer Vieweg, 2017.
- [10] NM203AR 203mm Heavy duty Mecanum Wheel ,Right. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://robotchassisparts.com/wp-content/uploads/2016/09/NM203A-layout.pdf>.
- [11] Mecanum wheels (Ilon wheel). Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://robotchassisparts.com/wp-content/uploads/2016/09/Mecanum-wheel1-16.pdf>.
- [12] L. Xie u. a. *Heavy-duty omni-directional Mecanum-wheeled robot for autonomous navigation: System development and simulation realization*. 2015 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), März 2015.

- [13] Joachim Hertzberg, Kai Lingemann und Andreas Nüchter. *Mobile Roboter*. Springer Vieweg, 2011.
- [14] Ralph Pütz und Ton Serné. *Rennwagentechnik - Praxislehrgang Fahrdynamik: Eine praktische Anleitung für Amateure und Profis*. Springer Vieweg, 2017.
- [15] Hietzinger Friedhof. *Illustration of Ackermann steering geometry*. Zugriff: 31. Jan. 2019. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Ackermann\\_radius\\_M.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Ackermann_radius_M.svg).
- [16] Peter Pfeffer und Manfred Harrer. *Lenkungsbandbuch: Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen*. 2. Auflage. Springer Vieweg, 2013.
- [17] Ltd. Shanghai Slamtec Co. *RPLIDAR A2*. 2016. <http://www.slamtec.com/en/Lidar/A2>.
- [18] Evan-Amos. *Xbox-One-Kinect.jpg*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Xbox-One-Kinect.jpg>.
- [19] Bruno Siciliano und Oussama Khatib. *Handbook of Robotics*. Springer, 2007.
- [20] Matthias Haun. *Handbuch Robotik: Programmieren und Einsatz intelligenter Roboter*. 2. Auflage. Springer Vieweg, Dez. 2006.
- [21] Leonie Sautter. *Graphbasiertes SLAM mit integrierter Kalibrierung für mobile Roboter*. Diplomarbeit. Karlsruher Institut für Technologie, 2015.
- [22] Kai Arrasm Maren Bennewitz Wolfram Burgard, Cyrill Stachniss. *Introduction to Mobile Robotics*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/teaching/ss12/robotics/slides/12-slam.pdf>.
- [23] Kristof Schroeter. *Probabilistische Methoden für die Roboter-Navigation am Beispiel eines autonomen Shopping-Assistenten*. Doktorarbeit. Technische Universität Ilmenau, 2009.
- [24] Herbet Süße und Erik Rodner. *Bildverarbeitung und Objekterkennung: Computer Vision in Industrie und Medizin*. Springer Vieweg, 2014.
- [25] jarvisschultz. *ROS.org tf*. Zugriff: 31. Jan. 2019. <http://wiki.ros.org/tf>.

# **A Anhang**

## **A.1 Abbildungen**

## **A.2 Inhalt Datenträger**

- 1** Datenblätter
- 2** Programm
- 3** Lastenheft