

Bachelorarbeiten 2023
**Bachelor of Science in
Elektrotechnik**



Preisstifter für den Studiengang
Elektrotechnik

SENSIRION Sensirion AG, Stäfa

sonova
HEAR THE WORLD
Sonova AG, Stäfa

steinel Steinel Solutions AG, Einsiedeln

SWISS ENGINEERING
STV UTS ATS
Swiss Engineering STV, Zürich

Vorwort



Prof. Dr. Markus Kottmann
Studiengangsleiter Elektrotechnik

Geschätzte Leserinnen und Leser

Die Studierenden des Studiengangs Elektrotechnik haben ihre Bachelorarbeiten abgeschlossen und sie am 16. Juni 2023 einem breiteren Publikum gezeigt. Familie, Freunde, Projekt- und Industriepartner, Alumni und Dozierende konnten die Arbeiten aus der Nähe bestaunen und mit den Studierenden ins Gespräch kommen.

Die Themenvielfalt war einmal mehr beeindruckend. Die raffinierte Kombination von Hard- und Software, von Analog- und Digitaltechnik, von Virtuellem und Greifbarem, von Theorie und Praxis führt immer wieder zu interessanten Exponaten und verblüffenden Objekten. Aber lesen Sie selbst und lassen Sie sich von den folgenden Seiten überraschen.

Die Diplomandinnen und Diplomanden des Fachs Elektrotechnik müssen ihre Arbeitsergebnisse in Form von lauffähigen Funktionsmustern zeigen. Dieser Ansatz bewährt sich. Unsere Absolventinnen und Absolventen sind in der Industrie sehr gefragt, da sie mit Materie, Energie und Information gekonnt kreative Ideen entwickeln und umsetzen können.

Ich durfte letztes Jahr von Prof. Reto Bonderer den Studiengang Elektrotechnik übernehmen, der in Rapperswil seit über 50 Jahren existiert. Um Veränderungen des Fachgebiets und des Curriculums Rechnung zu tragen, wird der Studiengang neu unter dem Namen Electrical and Computer Engineering auftreten – selbstverständlich in gewohnter Qualität bei der Ausbildung.

Ich gratuliere den frisch gebackenen Ingenieurinnen und Ingenieuren herzlich zu ihrem erfolgreichen Abschluss und wünsche ihnen im Namen des Studiengangs Elektrotechnik für ihre berufliche und private Zukunft alles Gute und viel Erfolg.

Rapperswil, im September 2023

Prof. Dr. Markus Kottmann
Studiengangsleiter Elektrotechnik

Überblick

Referentinnen und Referenten

24 Dorian Amiet

8 | 9 | 10 | 11 | 12 Hannes Badertscher

16 | 17 | 18 Prof. Dr. Andreas Breitenmoser

20 Dr. Turhan Demiray

27 | 28 | 29 | 30 Prof. Michael Hubatka

32 | 33 Prof. Guido Keel

26 | 31 Prof. Dr. Markus Kottmann

13 | 34 | 35 Prof. Dr. Hans-Dieter Lang

25 Lukas Leuenberger

12 Patrik Müller

35 Michel André Nyffenegger

34 Nicola Ramagnano

23 Dr. Jasmin Smajic

9 Raphael Unterer

8 Thomas Unterer

11 Simon Walser

21 | 22 Prof. Dr. Martin Weisenhorn

14 | 15 Prof. Dr. Christian Werner

24 | 25 Prof. Dr. Paul Zbinden

19 Alfred Züger

Überblick

Korreferentinnen und Korreferenten

23	Michael Bösch
20	Prof. Dr. Martin Geidl
14 15	Michael Hvelplund Schneider
16	Amir Shimon Melzer
31	Dr. Markus A. Müller
24 25	Robert Reutemann
26 27 28 29 30	Dr. Antje Rey
19	Michael Roth
13 34 35	Mischa Sabathy
17 18	Theo Scheidegger
21 22	Jonas Schmid
32 33	Arthur Schwilch
8 9 10 11 12	Gabriel Sidler

Überblick

Themen

Artificial Intelligence

- 8 Development of a Recommender Systems for a CRM
- 9 Development of a Machine Learning Powered Foot Gesture Recognition System
- 10 Development of an autonomous RC boat
- 11 Nursing Case Example Generator
- 12 Touchdown Detection for a Manufacturing Machine

Electromagnetic Fields and Waves

- 13 Self-Resonant Coils for Wireless Power Transfer

Embedded Software Engineering

- 14 Evaluation fehlerkorrigierender Codes für IoT-Anwendungen mit Multicast-Kommunikation
- 15 Procedure for Efficient Depth Estimation With Stereo Event Cameras

Embedded Systems

- 16 Akustische Levitation
- 17 Radio Beacon Modules for Relative Localization and Communication
- 18 Testaufbau und Potenzialanalyse für Industriegeräte mit Ultra-Wideband

Energiesysteme

- 19 Effizienzsteigerung bei der Produktion von PET-Flaschen
- 20 Zielnetz WWZ Hochdorf

Image Processing and Computer Vision

- 21 A Toolchain for Computer Vision Algorithm Development
- 22 Subpixel Localization of Active Markers with Event Cameras

Leistungselektronik

- 23 Elektromechanisches Energiespeichersystem

Microelectronics

- 24 Hardware Development of a Transducer Array for Acoustic Levitation
- 25 Wave Union TDC

Regelungstechnik/Control Theory

- 26 Bootsimulation
- 27 Endless Rotating Furutapendulum with Code-Generation
- 28 Implementation von Reglern hoher Systemordnung
- 29 Optimierung einer Wireless Power Transfer-Regelung
- 30 Plasma Air Cleaning System Control
- 31 Testumgebung zur Regelung eines Boots

Sensorik

- 32 Auswerteschaltung für Feuchtesensor
- 33 Induktivsensor mit Temperaturkompensation

Wireless Communications

- 34 Automated IQ Mixer Calibration and Characterization Testbench
- 35 Design and Verification of an Optimized Reconfigurable Intelligent Surface

Überblick

Bachelors, Diplomandinnen und Diplomanden

34	Ammann Silvan	18	Milosavljevic Srdjan
30	Bär Joshua	26	Moeckli Alena
9	Blöchlinger Selvin	12	Moscatelli Ramon
25	Brazerol Gian-Luce	17	Moser Ramana
13	Büchel Patrick	29	Netzer Renato
18	Bucheli Benjamin	17	Oehninger Jerome
11	Buchli Kaya	16	Pedrett Sandro
9	Eberle Robin	8	Peter Flavio
33	Eschenlohr Sebastian	28	Rickenbacher Tobias
22	Halef Markus	32	Rickli Yves
8	Hoffman Nathan	19	Robertz Joanne
28	Hugentobler David	10	Roy Jérôme
11	Jegatheeswaran Sarusan	24	Schmeh Dominic
31	Karakhalil Muhammed	14	Schuler Samuel
35	Keller Sven	22	Squindo Milena
21	Kuhn Andreas	12	Stahel Kevin
16	Kuster Yanik	35	Stöckli Patrik
25	Lippuner Marc	20	Suter Sven
24	Löffler Erik	10	Trottmann Andri
23	Maissen Fabio	15	Wegmann Steven
33	Meile Andreas	27	Werner Sabrina
29	Mignola Michele	27	Wüst Lea

Development of a Recommender Systems for a CRM

Predicting the outcome of sales and recommending actions

Graduate Candidates



Flavio Peter



Nathan Hoffman

Introduction: The Knowledge Transfer Unit (WTT) at the OST is responsible for coordinating practical projects that form an integral part of the undergraduate business program. Through the WTT, a wide range of projects have been acquired and overseen, specifically focusing on designing and implementing Customer Relationship Management (CRM) systems in collaboration with industry partners.

A CRM system serves as a comprehensive repository for documenting all interactions between a company and its customers, including both existing and potential ones. The utilization of this data plays a crucial role in acquiring new customers, managing post-sales activities and enhancing marketing strategies. However, the automated analysis of these substantial data sets poses significant challenges. To address this challenge, the objective of this thesis is to develop a recommender system for the salespeople. This system aims to estimate the probability of a particular sale and subsequently to provide recommendations for the salespeople based on the analysis of past sales, thereby assisting in identifying the most compelling activity to ensure the customers satisfaction.

Approach: The developed solution uses a variety of machine and deep learning models, which are able to predict the probability of a sale and from that sale give suitable recommendations to the salespeople.

Before delving into the customer data, a recommendation system for a book recommender was built in order to understand how recommendation systems are constructed. This recommendation system is able to provide suitable recommendations for future books to be read. The data was acquired from the book crossing data set.

Subsequently, the company data was prepared and processed so that a machine and deep learning model could be trained. It took several iterations until the data was of an acceptable quality and the accuracy and precision of the predictions were sufficient.

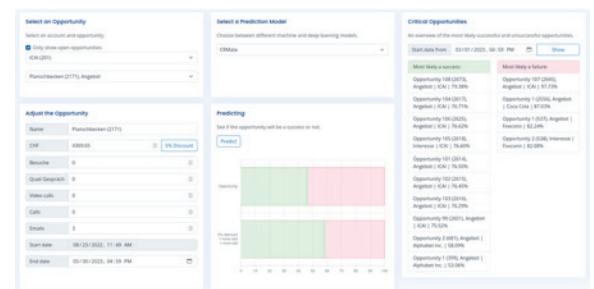
Result: As this thesis shows, it is possible to predict the probability of a sale and provide recommendations from various activities so that the probability of the sale increases. The accuracy and precision of our predictions for both models were over 80%.

Furthermore, a web interface was implemented for ease of use of the recommendation system and a visualization of the increase for different activities was shown. The web interface includes various services, such as a sale prediction and recommendations

how to improve the sale probability, a timeline which shows all activities and sales for each customer and various useful diagrams for an overall insight into the data.

Prediction of a sale for an account.

Own presentation



Filtered and unfiltered timeline of two accounts.

Own presentation



Insights into the data.

Own presentation



Advisors

Hannes Badertscher,
Thomas Unterer

Co-Examiner

Gabriel Sidler, Teamup
Solutions AG, Zürich,
ZH

Subject Area

Artificial Intelligence

Project Partner

WTT Wissenstransfer-
stelle Wirtschaft,
OST – Ostschweizer
Fachhochschule,
St.Gallen

Development of a Machine Learning Powered Foot Gesture Recognition System

Including Sensor Selection, Test Setup Development, Feature Engineering, and Model Training and Evaluation

Graduate Candidates



Robin Eberle



Selvin Blöchlinger

Introduction: The aim of this thesis was the development of a foot gesture recognition system. The project involved selecting a suitable gesture, choosing an appropriate sensor, and designing a test setup for data acquisition and system evaluation. The gesture detection process relies on a machine learning model that classifies input based on engineered features.

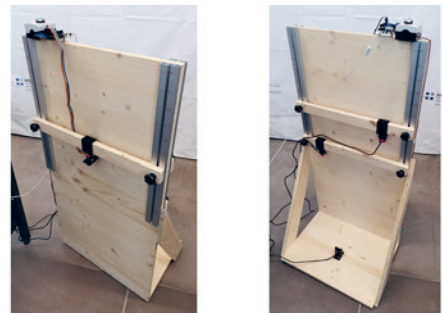
Approach: After extensive research on various sensor types, we identified two radar sensors and a Time-of-Flight(ToF)-based multi-zone infrared sensor as the most promising options for this task. To facilitate experimentation, a wooden test setup was constructed in the wood workshop. Custom fixtures were designed and 3D-printed to allow flexible mounting and positioning of the sensors. The sensor data was then collected and analyzed to develop meaningful features capable of capturing sufficient information for gesture recognition.

Result: Multiple features were tested and analyzed for all three sensor types. To evaluate their performance, various machine learning models were trained using different features and assessed using cross-validation techniques and several classification scores. The Random Forest and Support Vector Classifiers emerged as the most promising models, achieving accuracy scores exceeding 90% for all sensor types, even when accounting for uneven class labels.

Although incorrect classifications still occur in practical scenarios, this thesis successfully demonstrates the feasibility of classifying foot gestures using relatively simple sensors.

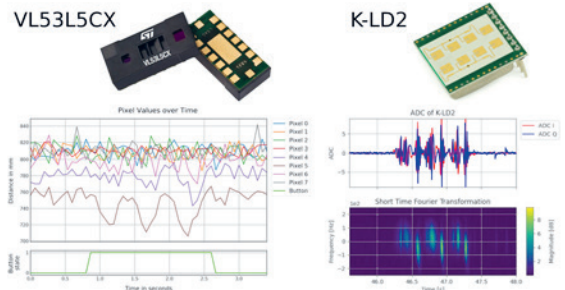
Test setup developed for this project and used for recording sensor data and evaluating classification models.

Own presentation



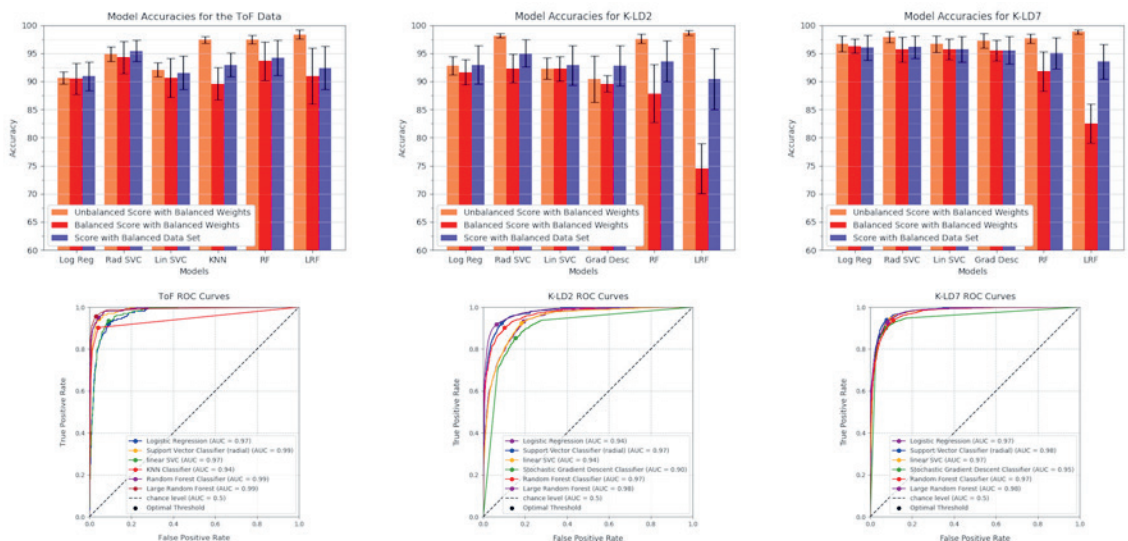
The utilized VL53L5CX ToF sensor (left) and K-LD2 radar sensor (right), with data plots of a performed gesture.

Own presentation including sensor images from STM and RFbeam



Model accuracies (top) and ROC curves (bottom) for the ToF, K-LD2, and K-LD7 sensors (from left to right).

Own presentation



Advisors
Hannes Badertscher,
Raphael Unterer

Co-Examiner
Gabriel Sidler, Teamup
Solutions AG, Zürich,
ZH

Subject Area
Artificial Intelligence

Development of an autonomous RC boat

An autonomous boat employs object recognition to avoid collisions

Graduate Candidates



Jérôme Roy



Andri Trottmann

Introduction: The ICAI (Interdisciplinary Center for Artificial Intelligence) plans a project in which a hydrogen-powered ferry will be developed and operated semiautomatically.

The task is to create an electrically powered model boat as a proof of concept, which can be controlled either via a classic remote control or automatically via an onboard computer. This project aims for the ship to reach a specific coordinate and, in the event of an obstacle, to find a suitable way to avoid it.

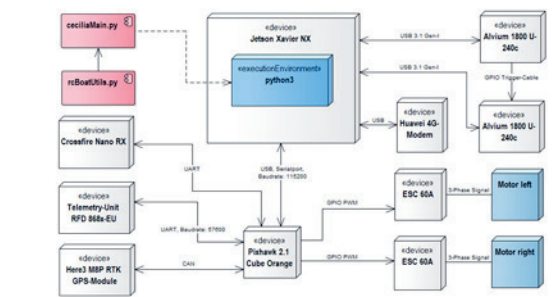
Approach/Technology: To achieve this, a stereo camera system was built, and a Convolutional Neural Network was used to allow the boat to detect and classify objects. For each recognized entity, the Jetson Xavier NX computer runs triangulation calculations and consequently marks danger if too close to the boat.

If an object is indicated as a danger, the ship stops, calculates a possible avoidance route, and tries to overcome the obstacle. While calculating the avoidance path, the coordinates of the detected object are also computed, allowing the collection of data in each mission and the creation of a heat map, showing the location of persistent dangers.

Conclusion: A remote-controlled boat has been built from scratch, and an autonomous driving algorithm was programmed. A Jetson Xavier NX on board the boat performs all necessary calculations for inference, triangulation, and calculation of new pathways. A PixHawk Cube Orange is installed as the main flight controller to control the motors and provide information such as the vessel's position, speed, and heading. The two devices are connected via a serial

port and work closely together. Very long missions are also possible thanks to the 4G connection on the boat, which allows it to be reached even at great distances.

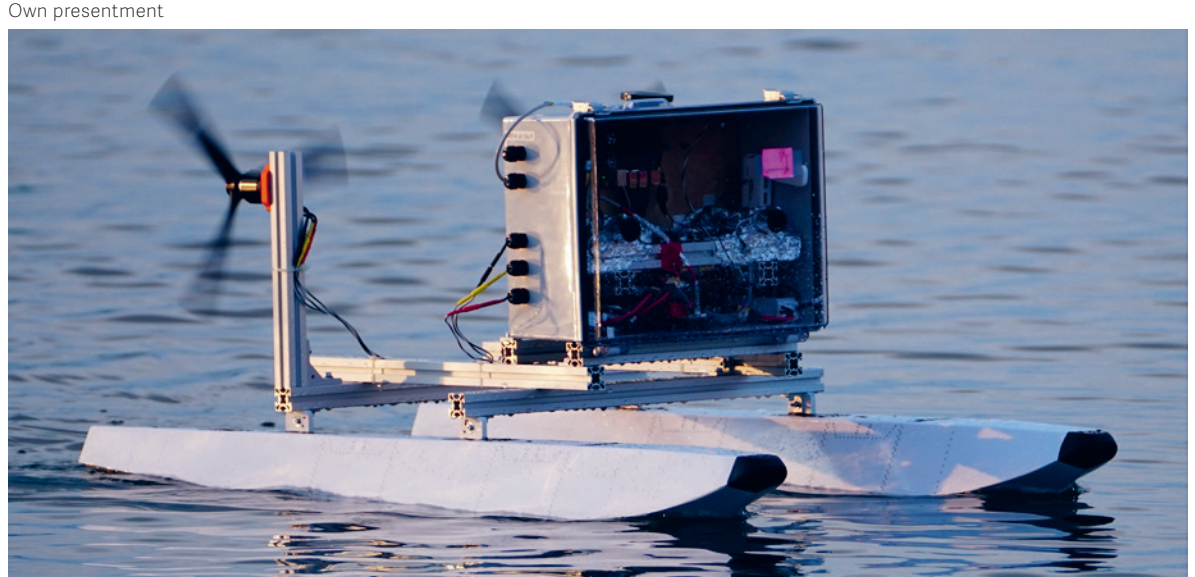
Block diagram of the main components used on board the boat.



How the boat sees the world. Green: buoy not in the way, free to go. Red: buoy in the way, obstacle.



Cecilia (the boat), cruising on the Obersee during a nice sunset.



Advisor

Hannes Badertscher

Co-Examiner

Gabriel Sidler, Teamup Solutions AG, Zürich, ZH

Subject Area

Artificial Intelligence

Project Partner

ICAI Interdisciplinary Center for Artificial Intelligence, OST, Rapperswil, SG

Nursing Case Example Generator

Graduate Candidates



Sarusan Jegatheeswaran



Kaya Buchli

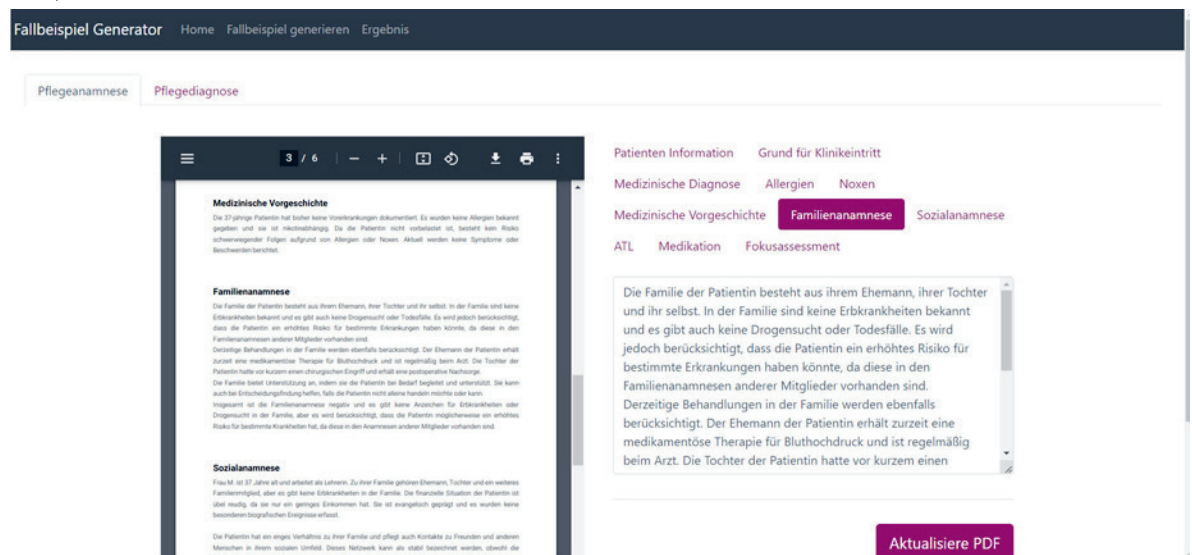
Introduction: The integration of natural language processing (NLP) techniques in healthcare has the potential to significantly impact the education of nursing students. This project aims to harness the power of NLP in the creation and analysis of nursing case examples, with a particular focus on their educational value. The research objectives are to develop an innovative algorithm, implement a software system and evaluate its effectiveness in automating the generation of case examples for educational purposes. In order to improve the usability and accessibility of the system, a web-based graphical user interface (GUI) is developed.

Approach / Technology: The algorithm incorporates a combination of a graph-based model and a selected NLP API to enhance the generation of comprehensive case examples. The graph model plays a crucial role in capturing the intersection relations within the case examples. It is implemented as a Markov random field (MRF) with a star-shaped structure. Additionally prompts exchange keywords between sections to supply the NLP API with additional information, which improves consistency. The purpose of the NLP model is to ensure coherent and cohesive text within each section. We used OpenAI's NLP API of the GPT-3 model. Furthermore, the algorithm estimates typical nursing diagnoses based on relevant patient information. The algorithm categorizes the extracted information using the NANDA Taxonomy classification.

Conclusion: As a result, we developed two models capable of generating case examples and nursing diagnoses. The advanced model was continuously

Website for the generation of the case examples

Own presentation



Advisors

Hannes Badertscher,
Simon Walser

Co-Examiner

Gabriel Sidler, Teamup
Solutions AG, Zürich,
ZH

Subject Area

Artificial Intelligence

Project Partner

Studiengang
Bachelor Pflege,
OST – Ostschweizer
Fachhochschule,
St.Gallen

improved based on the evaluation of healthcare professionals. Furthermore we provided a web GUI with comprehensive editing tools.

The integration of this project into healthcare education could have the potential to significantly reduce the time commitment of nursing professionals.

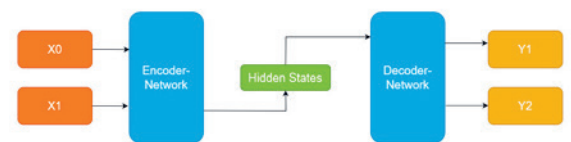
Mathematical model of interrelations between sections

Own presentation



Encoder-decoder architecture of transformers used for natural language processing

Own presentation



Touchdown Detection for a Manufacturing Machine

Graduate Candidates



Kevin Stahel



Ramon Moscatelli

Introduction: This thesis was done in cooperation with a manufacturing company. Their machines record data from various sensors during the production process. The main objective of this thesis was to use this data, to predict the touchdown point. Due to unique conditions for every machine and workpiece, the sensor signals often have very different characteristics from one another and a small signal-to-noise ratio. Therefore, giving a sophisticated estimation proves to be a rather difficult task for both humans and algorithms alike.

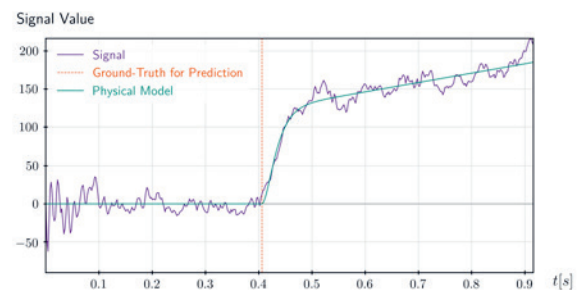
Approach: First, the authors analysed the data at hand. Once they got a good understanding of the situation, they developed a mathematical model of the physical process to be able to generate an unlimited amount of artificial data. The main reason this is desirable is that the generated data contains some known ground truth, which opens up the possibility for supervised learning. After establishing all this groundwork, the authors implemented several schemes which are able to predict the touchdown point. Some of those detection methods are purely analytical, like the time-frequency analysis, which can not only be used to make a prediction but also to gain insights on the characteristics of the sensor signal. Other approaches are rooted in machine learning, where the authors explored classical and deep learning techniques, such as fully connected, recurrent, and convolutional neural networks. A whole framework was established to evaluate and compare the performance of all the developed detection methods.

Result: The authors developed a simulation that can describe the underlying physical process. With

it, they are able to generate artificial data on a large scale. Several methods achieve promising results on this data and make reasonable predictions on the recorded machine data. Especially the convolutional neural network performs well with a mean absolute error of 9,63 ms on the generated data, which corresponds to around five samples in time. Additionally, some interesting details about this specific manufacturing process were revealed which might prove useful to the collaboration partner in the future.

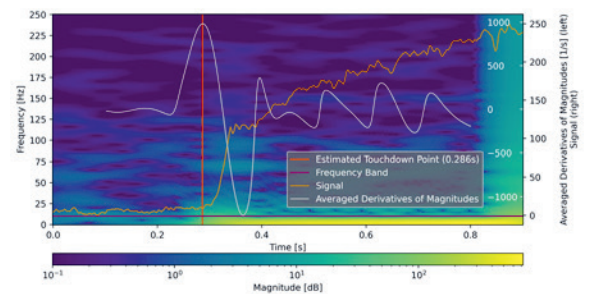
Recreation of a Real Signal by the Physical Model

Own presentation



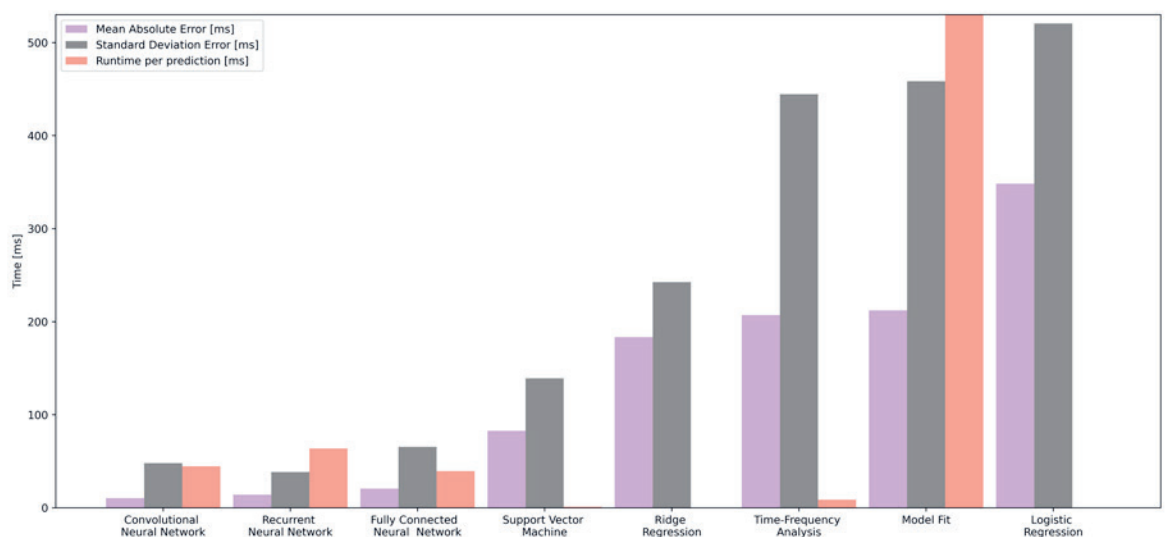
Time-Frequency Analysis of a Signal

Own presentation



Performance Comparison Between Different Prediction Methods

Own presentation



Advisors

Hannes Badertscher,
Patrik Müller

Co-Examiner

Gabriel Sidler, Teamup
Solutions AG, Zürich,
ZH

Subject Area

Artificial Intelligence,
Digital Signal
Processing

Self-Resonant Coils for Wireless Power Transfer

PCB Coil-based WPT System for up to 11kW

Graduate Candidate



Patrick Büchel

Introduction: The growing focus on sustainability is driving technological advancements for electric vehicles and equipment largely dependent on battery power. Small devices such as smartphones and watches already frequently use wireless power transfer (WPT) to charge their batteries. However, for high-power applications, including charging of electric vehicles, it is still an emerging technology. It offers a few key advantages over wired connections, notably the ability to transfer power without degradation due to contact wear or obstruction by mud and dirt.

Approach: This project explores the possibilities of self-resonant coils for high-power WPT. They promise cost savings compared to traditional wound coils used in combination with expensive high-performance ceramic capacitors. Several publications and patents covering such approaches are available in literature. However, most of them operate in the MHz frequency range.

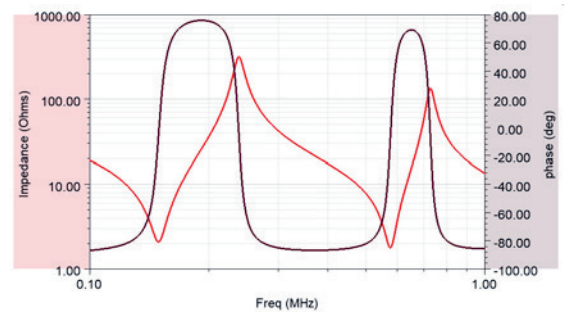
The existing BRUSA ICS (Inductive Charging System) complies with SAE J2954 and, therefore, operates in the 79 to 90 kHz frequency range. To reuse this existing inverter technology, the operating frequency of the self-resonant coil must be lowered considerably. Various coil designs are investigated using analytical methods where applicable, and FEM simulations in ANSYS HFSS as well as Maxwell 2D/3D. The most promising approach is then further developed into a prototype which uses aluminum sheets for magnetic shielding instead of ferrites, thereby offering additional cost savings.

Conclusion: The investigations revealed that achieving a self-resonant coil design for an operating fre-

quency below a few hundred kHz is challenging. Some of the investigated approaches may work well in the MHz range, but reducing the operating frequency leads to a significant increase in dielectric loss. The realized prototype was tested, demonstrating good agreement with simulation results and affirming that such designs can indeed be utilized for high-power WPT applications.

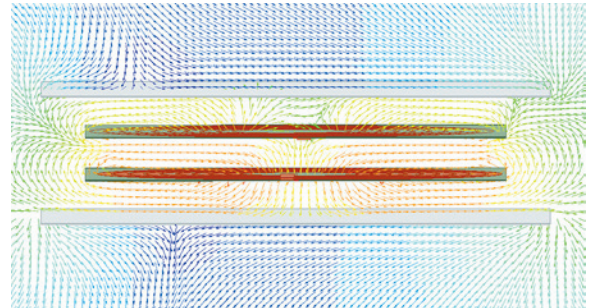
Impedance plot illustrating the rather complex behavior of a certain self-resonant coil.

Own presentation



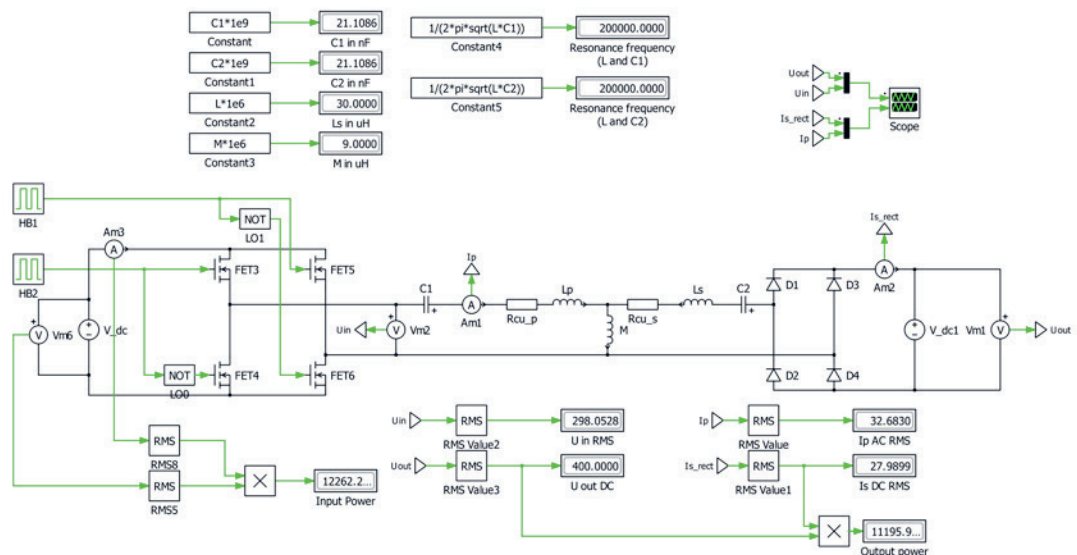
Magnetic field plot of the self-resonant coil with aluminum sheets for magnetic shielding.

Own presentation



PLECS simulation of the WPT system, including rectifier and FBI (Full Bridge Inverter).

Own presentation



Advisor
Prof. Dr. Hans-Dieter Lang

Co-Examiner
Misha Sabathy,
SPEAG, Zürich, ZH

Subject Area
Electromagnetic Fields
and Waves

Project Partner
BRUSA Elektronik AG,
Buchs, SG

Evaluation fehlerkorrigierender Codes für IoT-Anwendungen mit Multicast-Kommunikation

Diplomand



Samuel Schuler

Problemstellung: Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden fehlerkorrigierende Codes auf der Applikationsebene im Embedded-IoT-Bereich analysiert. Diese ermöglichen es, eine Payload korrekt zu übermitteln, obwohl bei der Übertragung Fragmente verloren gingen. Dabei soll ein Augenmerk auf die Multicast-Kommunikation gelegt werden. Insbesondere bei dieser ist es ein grosser Vorteil, wenn die Empfänger keine Fragmente neu anfordern müssen, da dies den Übertragungskanal belastet.

Vorgehen / Technologien: In einem ersten Schritt wurden verschiedene Codierungsmethoden untersucht. Zwei wurden ausgewählt und anschliessend auf einem Embedded-System mit C++ implementiert. Verschiedene Parameter, wie Fragment- und Payload-Grösse, wurden auf eine mögliche Anwendung angepasst: Mehrere Endgeräte empfangen A-GPS-Daten von einer Basisstation über das LPWAN-Protokoll mioty. Um die Implementierungen automatisiert testen zu können, wurde ein Python-Skript geschrieben.

Fazit: Verschiedene Tests haben gezeigt, dass eine LDPC-Codierung für diesen Anwendungsfall geeignet ist. Sowohl Empfänger, zu welchen Daten ohne grosse Verluste gesendet werden können, als auch Empfänger, bei welchen viele Fragmente verloren gehen, können die Payload effizient empfangen. Der durch die Codierung entstandene Overhead ist dabei minimal. Die LT-Codierung benötigt einiges mehr an Overhead. So müssen für eine erfolgreiche Decodierung bedeutend mehr Daten übertragen werden. Insbesondere für den untersuchten Anwendungsfall mit mioty ergibt sich durch den grösseren Overhead der Nachteil einer längeren Übertragungszeit, da

die Datenraten bei LPWAN-Protokollen vergleichsweise gering sind. Da aus regulatorischen Gründen nicht dauerhaft gesendet werden darf, verringert sich durch diesen zusätzlichen Zeitbedarf die Kanalkapazität bezogen auf die Nutzdaten.

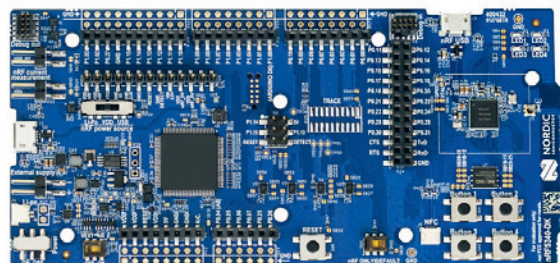
Multicast-Kommunikation

mioty - A Technical Overview, Fraunhofer Institut

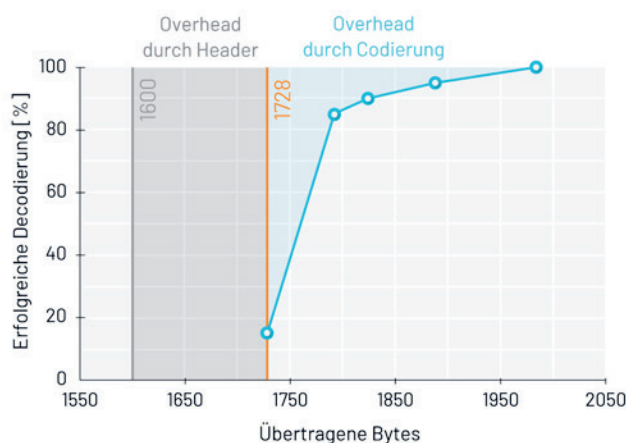


Development Kit nRF5340

Nordic Semiconductor



Übertragene Bytes in Relation zur erfolgreichen Decodierung einer LDPC-codierten Payload mit 32 Bytes grossen Fragmenten
Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Christian Werner

Korreferent

Michael Hvelplund Schneider, Premium Design Group AG, Altendorf, SZ

Themengebiet

Embedded Software Engineering

Procedure for Efficient Depth Estimation With Stereo Event Cameras

Graduate Candidate



Steven Wegmann

Introduction: Depth estimation is an important topic in computer vision applications. Humans perceive depth by the slight horizontal difference between both eyes when looking at an object. This difference is called disparity. It is inversely proportional to the distance of the object. The same principle can be applied with two cameras each simulating a human eye. The disparity can be calculated by finding the same point of interest between these two cameras. Conventional cameras have proven to be a viable and cost-efficient method to solve these stereo-matching problems, but they do not give good results in certain scene properties.

New milestones in event cameras provide a novel approach to solve these problems. These cameras are in possession of a special pixel architecture that allows each pixel to asynchronously respond to lighting changes. Each pixel can generate an event if this change reaches a certain adjustable threshold. Event cameras provide a sparse amount of relevant data at object borders.

The goal of this thesis is twofold. To evaluate the compatibility of event cameras with embedded systems which are limited in computational power and to implement event-based depth estimation that strives towards a good trade-off between accuracy and speed.

Approach: Many existing algorithms only utilize the most recent event at every pixel location. This completely disregards the high time resolution event cameras are capable of. Most methods with high accuracy usually need to consider a large spatial neighborhood around each pixel in a costly operation. Algorithms that match individual events often lead to inaccurate results in more complex scenes.

The proposed method matches pixels between cameras by utilizing past events in a certain time frame. Downsampling the event stream into coarser blocks of data decreases the amount of individual matching procedures and adds an additional parameter in how different regions of data can be compared.

Conclusion: The sparse event stream removes a lot of redundant data, which decreases the amount of information an algorithm has to process. On the other hand, this sparsity may not be able to provide enough information to differentiate image regions with similar event generation. These regions require costly algorithms not feasible for embedded systems.

The proposed method provides a trade-off between accuracy and speed with an additional reduction

in spatial resolution. Accuracy may be improved by using more sophisticated methods for calculating similarity. The disparity map could also be improved by removing disparity outliers in a post-processing step. Speed improvements could certainly be made by optimizing the code implementation. Future work may also look into improving matching accuracy by adjusting the event generation itself.

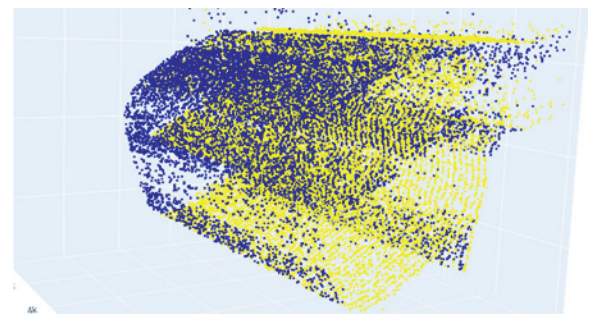
Events generated with an event camera.

Own presentation



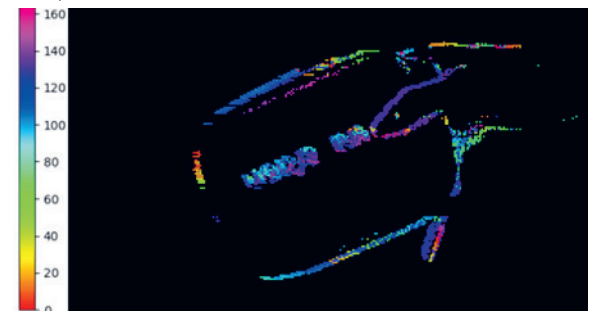
A time frame of events in three-dimensional space.

Own presentation



Disparity map created by the proposed method.

Own presentation



Advisor

Prof. Dr. Christian Werner

Co-Examiner

Michael Hvelplund Schneider, Premium Design Group AG, Altendorf, SZ

Subject Area

Embedded Software Engineering

Akustische Levitation

Berührungsloser Transport von schwebender Materie im Raum mittels akustischer Levitation

Diplomanden



Sandro Pedrett



Yanik Kuster

Einleitung: Mittels akustischer Levitation wird das kontaktlose Bewegen von Objekten diverser Materialien ermöglicht. Diese Technologie hat z.B. in der Handhabung empfindlicher Stoffe grosses Potenzial. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Demonstrator zu bauen, der diese Technologie nutzt und Studierenden wie auch Industriepartnern die Herausforderungen und Möglichkeiten moderner Mikroelektronik und eingebetteter Systeme anschaulich aufzeigt. Die Arbeit beinhaltet das Entwickeln einer Visualisierung zusammen mit der echtzeitfähigen Ansteuerung von über tausend 40-KHz-Ultraschall-Transducern. Dies soll es ermöglichen, mehrere Objekte, unter anderem auch Flüssigkeitstropfen, berührungslos zu bewegen.

Vorgehen / Technologien: Als Erstes wurde ein Prototyp entwickelt, der aus einem Mainboard und zwei Levitationboards (entwickelt in einer zweiten Bachelorarbeit vom Team Erik Löffler und Dominic Schmeb bei Prof. Dr. Paul Zbinden) besteht. Das Mainboard beinhaltet einen Zynq-7000, welcher die Koordination zwischen Levitation Planner und Levitationboards ermöglicht (Abbildung 3). Die Berechnung zur Ansteuerung der Transducer wird mit dem Iterativen-Backpropagation (IB)-Algorithmus durchgeführt. Die erste Implementierung mit C++ zeigte, dass nur eine Wiederholrate von 2 Hz möglich ist. Um eine flüssige Bewegung der Objekte zu gewährleisten, wurde der Algorithmus in einen HW-Beschleuniger ausgelagert, wodurch eine Leistungssteigerung von 600% erzielt werden konnte. Das von den Transducern erzeugte Druckfeld kann durch den Levitation Planner mit OpenGL/CL in Echtzeit in einer 3D-Vorschau dargestellt werden (Abbildung 2). Aufgrund des modularen Systemansatzes war es anschliessend problemlos

möglich, den Prototyp auf den finalen Demonstrator zu erweitern.

Ergebnis: Das System (Abbildung 1) ist in der Lage, mehrere Objekte mit einem Durchmesser bis zu 4 mm zu levitieren. Durch den neuen IB-Hardwarebeschleuniger und das modulare System wurde die Basis für den berührungslosen Transport von empfindlicher Materie geschaffen, welche eine neuartige Methode zum Handling von Materie für Industrie und weitere Anwendungsbereiche erschliesst.

Abbildung 1: 3D-Modell des Demonstrators mit Feld-Simulation.
Eigene Darstellung

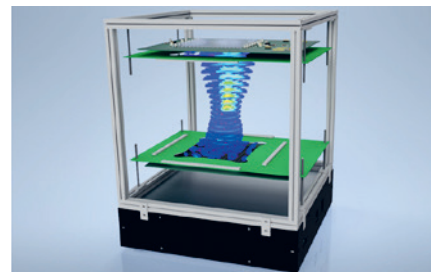


Abbildung 2: Desktop-Anwendung C# WPF und C++ 3D OpenGL Visualisierung.
Eigene Darstellung

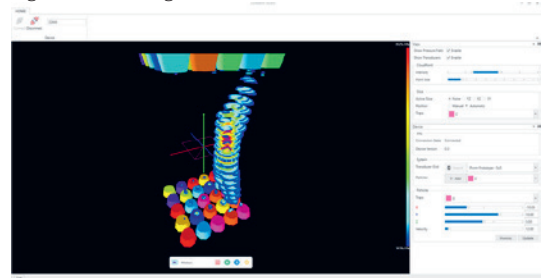
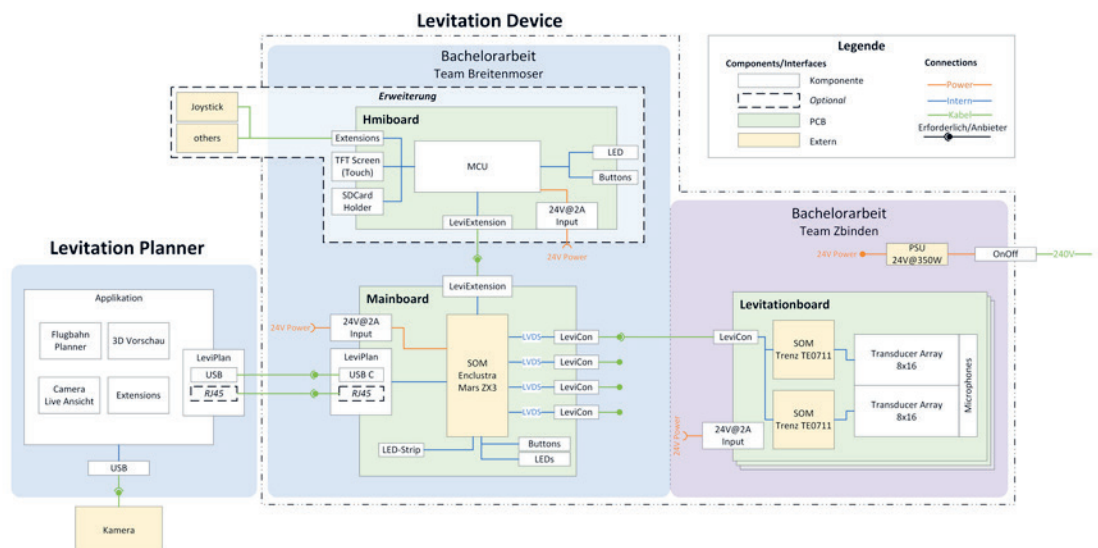


Abbildung 3: Übersicht Gesamtsystem: Blau hinterlegt sind alle Komponenten, die in dieser Arbeit umgesetzt wurden.
Eigene Darstellung



Referent
Prof. Dr. Andreas Breitenmoser

Korreferent
Amir Shimon Melzer, Wyss Zurich Translational Center, Zürich, ZH

Themengebiet
Embedded Systems, Embedded Software Engineering, Physik, Image Processing and Computer Vision

Radio Beacon Modules for Relative Localization and Communication

Graduate Candidates



Jerome Oehninger



Ramana Moser

Introduction: These days the use of autonomous robots is increasing. When the robots are outdoors, they can be located with the global navigation satellite system (GNSS). However, when they are indoors, this is no longer feasible. The goal of this thesis is to develop a system consisting of multiple beacon modules that is capable of locating the devices indoors as well as outdoors. The localization process should be accurate, quick and applicable to networks of varying sizes. Besides localization, the system should also allow for data transfer between its members. This work is intended to modularly extend an existing system rather than being a stand-alone product. It provides the required information and means to control and coordinate the networked devices but does not necessarily need to serve as the main control instance.

Approach / Technology: The RF standard chosen for this thesis is ultra-wideband (UWB). It has been chosen for its unmatched accuracy for indoor localization, even in non-line-of-sight conditions. For the communication over UWB the Qorvo DWM3000 module has been selected, together with a STM32WB55 microcontroller. The circuit board has been designed by us for the best possible flexibility. The board provides for different communication interfaces and power supplies as well as possible extensions like the integration of an inertial measurement unit (IMU) or a second UWB module. The distance measurement between two points is done with double-sided two-way ranging, where two ranging message exchanges are done between the points. A timestamp is recorded from each transmission and reception, which allows for the calculation of the duration between initial transmission and final reception without propagation delay.

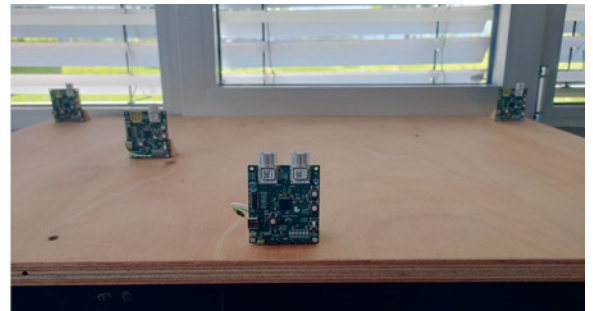
Result: This thesis serves as a proof of concept. Our hard- and firmware are designed as versatile as possible. There is a variety of possible extensions that could be made, depending on the application. With our work we were able to measure the accuracy of the position as well as the position update rate. It was confirmed that the system works up to a range of ten meters with sub meter accuracy and in a network with ten devices with a refresh rate of 5 Hz. Ultra-wideband proved itself as a well-suited technology for the purpose of relative localization and communication among multiple networked devices, by virtue of its precision, speed and reliability.

Advisor
Prof. Dr. Andreas Breitenmoser

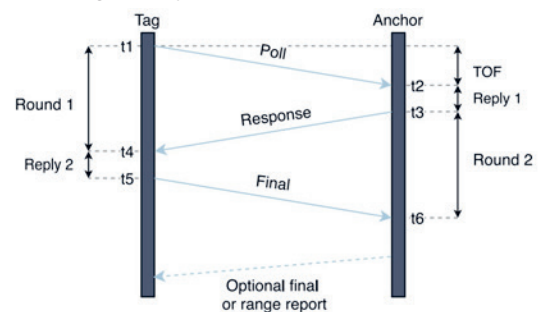
Co-Examiner
Theo Scheidegger,
Swens GmbH, Schänis, SG

Subject Area
Embedded Systems

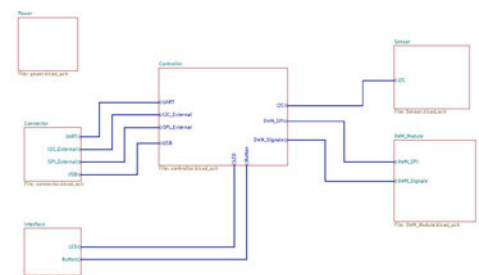
Radio beacon modules deployed in a test setup.
Own presentment



Double-sided two-way ranging
(TOF: Time of Flight, $[t_1, \dots, t_6]$: timestamps).
<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102637>



Schematic block diagram of the designed radio beacon modules.
Own presentment



Testaufbau und Potenzialanalyse für Industriegeräte mit Ultra-Wideband

Diplomanden



Benjamin Bucheli



Srdjan Milosavljevic

Einleitung: Drahtlose Kommunikationssysteme sind heute weltweit von zentraler Bedeutung und werden zunehmend in neuen elektronischen Geräten eingesetzt. Die aufkommende Drahtlostechnologie Ultra-Wideband (UWB) ist für den Einsatz über kurze Distanzen geeignet. Durch Messmethoden wie zum Beispiel Triangulation lassen sich verschiedene Industriegeräte genauestens lokalisieren. Daraus lassen sich neue Anwendungen herleiten, die nicht nur im Verbrauchermarkt (z.B. bei Smartphones) auf Interesse stossen. Es stellt sich die Frage nach dem Potential der UWB-Technologie für den Einsatz in der Industrie.

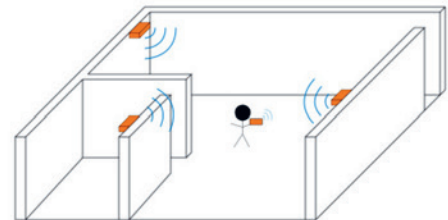
Problemstellung: Unser Projektpartner ist an der Verwendung der UWB-Technologie in seinen Systemen und Anwendungen interessiert. Mit einem Testaufbau und einem massgeschneiderten Evaluationsboard soll der Projektpartner nun die Möglichkeit erhalten, verschiedene UWB-Module einfach zu testen und zu evaluieren. Das Evaluationsboard ist dabei als zentrales Interface so zu entwerfen, dass UWB-Module verschiedener Hersteller aufgesteckt und mit dem PC zur Test-Steuerung verbunden werden können. Zudem soll das Evaluationsboard an ein Industriegerät angeschlossen werden können.

Ergebnis: Die Hardware und die Firmware für das Evaluationsboard wurden vollständig gemäss Anforderungen entwickelt und in Betrieb genommen. Das Evaluationsboard unterstützt mit NXP, Qorvo und Microchip die wesentlichen zurzeit erhältlichen UWB-Module. Mit den erarbeiteten Testcase-Szenarien wurden die Genauigkeit, die Leistungsaufnahme und die Übertragungsbandbreite der Qorvo-Module

gemessen. Distanzen konnten mit einer Standard-Abweichung von 15 Zentimetern gemessen werden, was für unseren Projektpartner ausreichend ist.

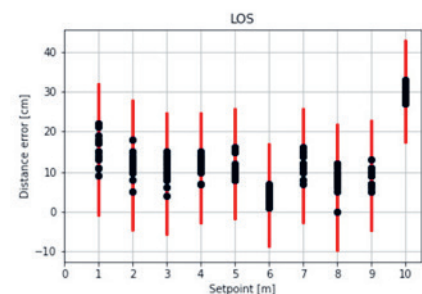
Darstellung einer möglichen Industrieanwendung

Eigene Darstellung



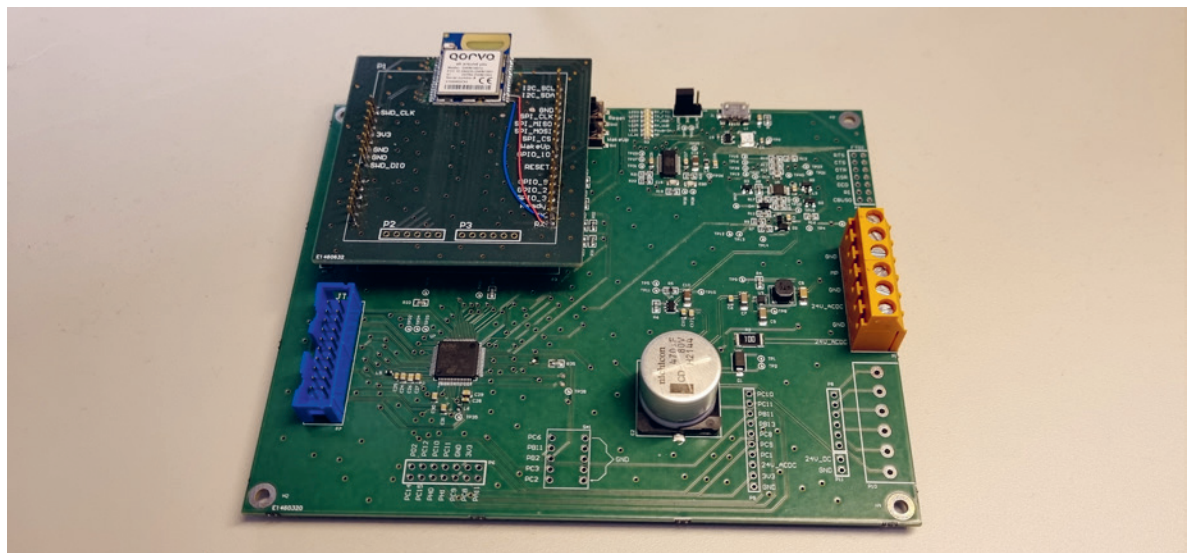
Distanzfehler bei Line of Sight mit dem Qorvo-UWB-Modul

Eigene Darstellung



Evaluationsboard mit aufgestecktem Qorvo-UWB-Modul

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Andreas Breitenmoser

Korreferent

Theo Scheidegger,
Swens GmbH, Schänis, SG

Themengebiet

Embedded Systems

Projektpartner

Belimo Automation AG,
Hinwil, ZH

Effizienzsteigerung bei der Produktion von PET-Flaschen

Diplomandin



Joanne Robertz

Aufgabenstellung: Die Firma Resilux Schweiz AG ist im Bereich Recycling sowie in der Herstellung von PET-Flaschen tätig. Dabei wird die komplette Prozesskette «Bottle to Bottle» abgedeckt. Zu den Prozessschritten gehören das Sortieren, Waschen und Schreddern von gebrauchten PET-Flaschen sowie das Aufschmelzen, Extrudieren zu Granulat und schliesslich das Spritzgiessen zu Vorformlingen sowie das Aufblasen zu neuen PET-Flaschen. Dazu ist viel elektrische Energie notwendig. Die Elektrizität wird in Nutzenergien umgewandelt. Zu diesen zählen Kühlwasser, Druckluft sowie Warm- und Heisswasser. Im Rahmen der Bachelorarbeit sollen die Produktionsprozesse im Werk der Resilux Schweiz AG analysiert und in der Folge Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden. Des Weiteren werden auch Möglichkeiten zur Minimierung von Energieverlusten ausgearbeitet. Sämtliche am Standort in der Schweiz gewonnenen Erkenntnisse sollen, sofern lukrativ, direkt bei den in Bau befindlichen Werken in Spanien und Rumänien umgesetzt werden.

Vorgehen: Das Vorgehen beschränkt sich auf das Erarbeiten verschiedener energiesparender Lösungen. Der Fokus liegt somit auf dem Finden von Methoden, welche die besten Verbesserungen und den grössten Ertrag erzielen, sowie auf jenen, welche unmittelbar umgesetzt werden können. Die Produktionsgrundlagen werden von Resilux zur Verfügung gestellt. Relevante Randbedingungen bestehen keine.

Ergebnis: Seitens der Resilux Schweiz AG besteht grösstes Interesse, Energie respektive Kosten zu sparen. Dazu wurde die auf dem Markt befindliche Technologie «E-Power Filter» zur Kostenreduktion mittels Verbesserung der Netzqualität analysiert und es wurde deren Umsetzung aufgezeigt sowie die Wirtschaftlichkeit nachgewiesen. Weiter wurde eine Lösung ausgearbeitet, um die bis dato nicht genutzte warme Abluft der Druckluftkompressoren im Rahmen von Wärmerückgewinnung nutzbar zu machen und somit ebenfalls Energie einzusparen. Die Druckluftanlagen wurden detailliert analysiert, die möglichen Einsparungen berechnet sowie die Behebung der Leckagen aufgezeigt. Im Weiteren wurde der Warm- und Heiss-Wasserkreislauf untersucht und es wurden Vorschläge zur Optimierung erarbeitet. Für das im Bau befindliche Werk in Higuera, Spanien, wurde die Nutzung von Sonnenenergie mittels einer sogenannten Agri-Photovoltaik-Anlage aufgezeigt und es wurden deren Baukosten abgeschätzt und der Nutzen unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit nachgewiesen. Die geplante Photovoltaik-Anlage erlaubt eine optimierte Nutzung der überbauten Fläche.

Referent
Alfred Züger

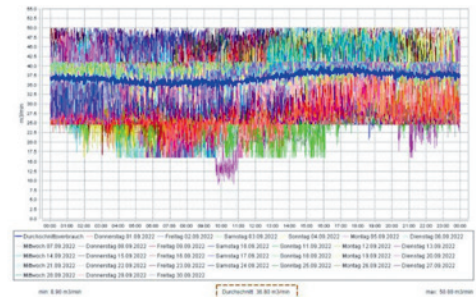
Korreferent
Michael Roth, Repower
AG, Poschiavo, GR

Themengebiet
Energiesysteme

Projektpartner
Resilux Schweiz AG,
Bilten, GL

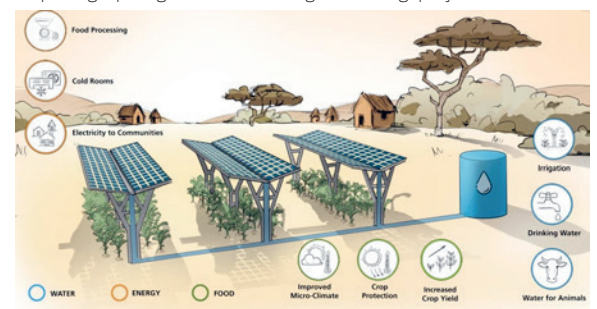
Untersuchungen an Druckluftanlagen im Werk Bilten

Eigene Darstellung



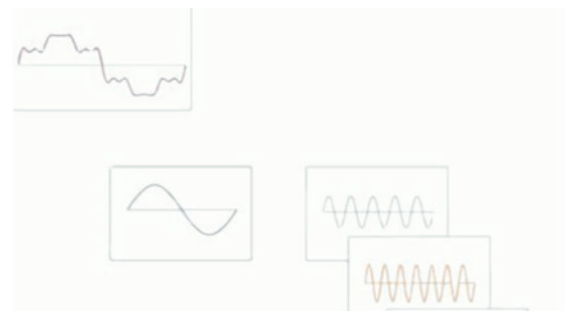
Agri-PV-Anlage - Eine Umsetzung der doppelten Ernte

<https://agri-pv.org/de/unser-beitrag/forschungsprojekte/>



Dekomposition einer verzerrten Wellenform - Filtern von Oberschwingungen

Schaffner, 2014 (Autor: Alexander Kamenka)



Zielnetz WWZ Hochdorf

Pilotprojekt zur strategischen Zielnetzplanung bei WWZ

Diplomand



Sven Suter

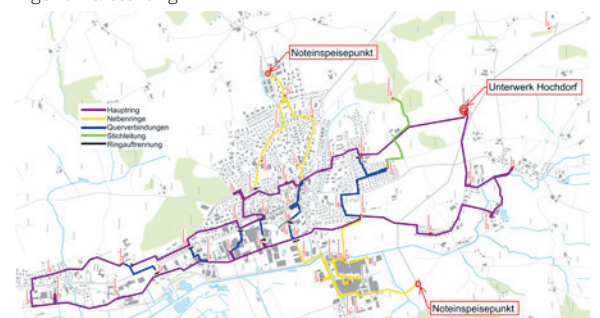
Ausgangslage: Die Verteilnetze befinden sich im Umschwung. Die Regeln, welche seit Jahrzehnten den Erbauern zuverlässig dienten, werden in Frage gestellt. Ab wann machen Flexibilitäten im Netz Sinn und ist mehr Kupfer im Boden wirklich teuer? Mit der Energiestrategie 2050 des Bundes, welche das Netto-Null-Szenario verfolgt, werden die Verteilnetze an ihre Belastungsgrenzen gelangen. Um die Herausforderung zu meistern, wird im Rahmen dieser Arbeit eine strategische Zielnetzplanung in Bezug auf die Topologie angestrebt. Mit Lastflussdaten für das Jahr 2045 kann mit geeigneten Softwarelösungen das Netz in NE5 simuliert und analysiert werden.

Ziel der Arbeit: Mit Hilfe geeigneter Softwarelösungen soll die Machbarkeit eines Zielnetzes mit den gegebenen Grundlagen bei WWZ geprüft und es soll anschliessend das Zielnetz für die Region Hochdorf erstellt werden. Die als Grundlage dienenden «Planungsprämissen im WWZ-Stromnetz» sollen überprüft und mit den neu gewonnenen Erkenntnissen erweitert werden. Dabei stehen die technisch-betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte im Vordergrund. Diese Arbeit gilt für WWZ als Pilotprojekt für die restlichen Netzregionen.

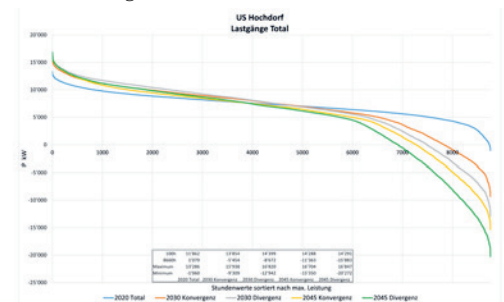
Ergebnis: Der Prozess zur Zielnetzplanung bei WWZ funktioniert. Die Schnittstellen der verschiedenen Programme und die gewünschte Verfügbarkeit der Daten konnte hergestellt werden. Wird das heutige Netz mit den Lastflussdaten für das Jahr 2045 simuliert, ist schnell ersichtlich, dass ein Netzausbau oder zumindest ein Umdenken nicht vermeidbar ist. Die Planungsprämissen stellen eine solide Basis dar und

können mit den gewonnenen Erkenntnissen ergänzt werden. Soll die Zielnetzplanung professionell auf grössere Netzregionen ausgeweitet werden, so ist es unerlässlich, einen Export der relevanten GIS-Informationen NE5 nach Neplan10 zu erstellen. Für die umfangreiche Zielnetzplanung bieten die Neplanmodule «ERIS» und «Schutzbeurteilung» eine hilfreiche Unterstützung.

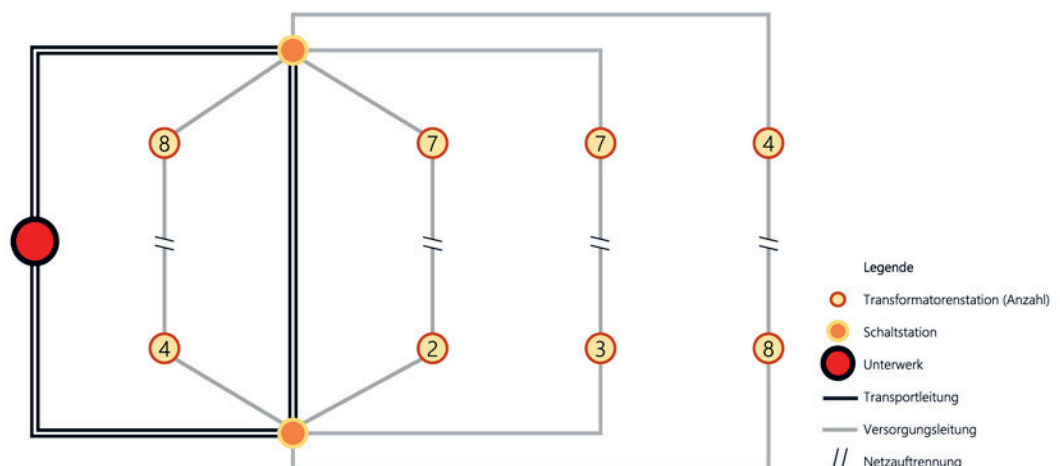
NE5 in Hochdorf 2023
Eigene Darstellung



Szenarienvergleich US Hochdorf sortiert nach Stundenwerten
Eigene Darstellung



Beispiel Zielnetz Hochdorf NE5 Variante 1, schematisch dargestellt
Eigene Darstellung



Referent
Dr. Turhan Demiray

Korreferent
Prof. Dr. Martin Geidl,
FHNW Fachhochschule
Nordwestschweiz,
Windisch, AG

Themengebiet
Energiesysteme

Projektpartner
WWZ Energie AG, Zug,
ZG

A Toolchain for Computer Vision Algorithm Development

Graduate Candidate



Andreas Kuhn

Problem: After initial prototyping of computer vision algorithms in Python, it often makes sense to implement the time-critical section of the algorithm in C/C++, to be able to assess the full performance potential. For development of computer vision applications in general and especially for a mixed language workflow as described above, many different tools and technologies are involved. Building, configuring and integrating these technologies into a cohesive development environment for the project-specific needs are elaborate, time-consuming and system-dependent task which have made exploring this area of computer vision development burdensome in practical labs if the computer software is being updated or changed.

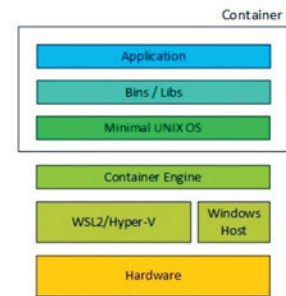
Approach: The Docker containerization technology is used to package the complex toolchain and the practicality of such a solution is evaluated. To streamline development on the container, options for accessing and interacting with the container are evaluated and integrated. The development environment is extended beyond Docker by including a CI/CD pipeline on GitHub, where the integrity of the container as well as the application developed within it are tested.

Result: Docker was proven to be a valid solution for the posed problem as well as for streamlining computer vision software development in general. The final solution provides a local-quality development environment including access to local hardware such as the GPU, while simultaneously being highly portable. Two container images were built: The first is a lightweight solution providing the base toolset for develop-

ping mixed language projects using OpenCV, CMake and Pybind11. The second image additionally integrates the CUDA Toolkit as well as the OpenCV CUDA modules for building custom CUDA kernels to be executed on a Nvidia graphics card. For each of the containers, a sample application was developed, showcasing usage as well as the efficacy of C++ and CUDA acceleration.

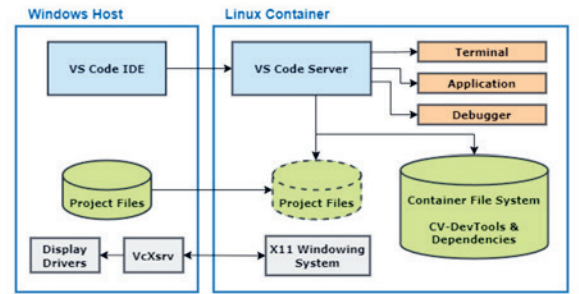
Docker container technology stack.

Own presentation



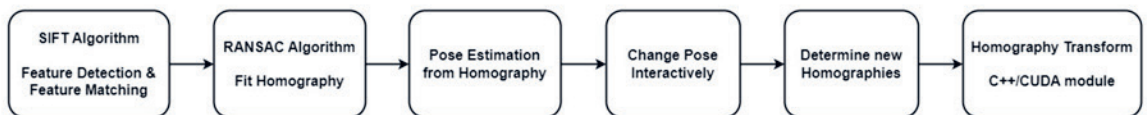
CV-DevContainer Toolchain.

Own presentation



Mixed Python/C++/CUDA application: Input image with wireframe; interactive real-time (5 ms) re-render in arbitrary pose.

Own presentation



Advisor
Prof. Dr. Martin Weisenhorn

Co-Examiner
Jonas Schmid,
Stettbacher Signal Processing, Dübendorf, ZH

Subject Area
Image Processing and Computer Vision

Subpixel Localization of Active Markers with Event Cameras

Graduate Candidates



Milena Squindo



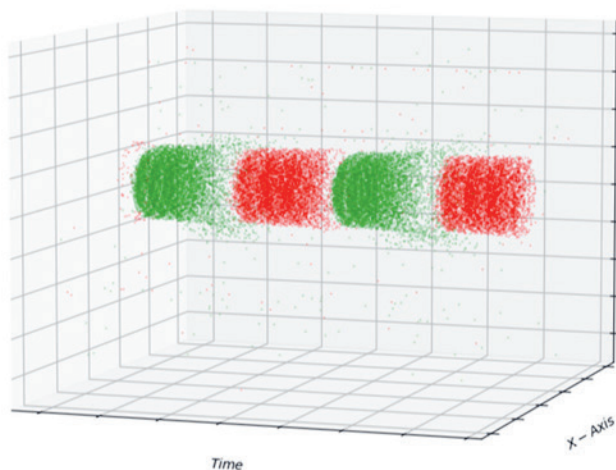
Markus Halef

Introduction: Event cameras are a specific type of imaging sensors that differ from traditional frame-based cameras. Unlike conventional cameras, event cameras operate based on the principle of asynchronous event-driven sensing. Rather than capturing entire frames at fixed intervals, event cameras only report changes in pixel intensity, known as events, with extremely high temporal resolution. Furthermore, the amount of data is reduced significantly in comparison, which therefore reduces the computing power required to handle events. Many applications can benefit from these traits, one of them is active marker tracking, where accuracy is just as important. Different subpixel processing methods were already developed to enhance the precision of tracking algorithms. However, the unique data structure of events does not allow for direct application of most known image-processing algorithms.

Objective: The objectives of this thesis were focused on the development and evaluation of new algorithms for active marker tracking using event cameras. The primary goal was to enhance the precision of object localization by finding ways to apply subpixel-processing methods to event camera-generated data. Furthermore, exploration of the event formation process and the choice of an appropriate active marker were essential steps to find a proper solution.

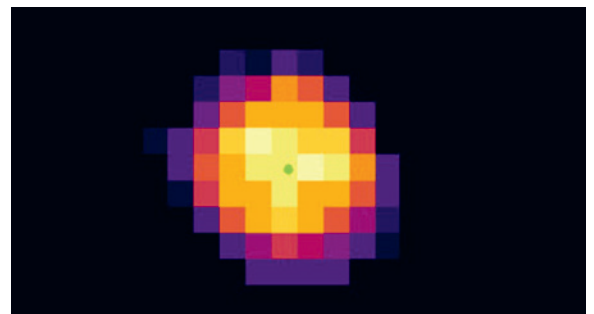
Result: An algorithm that could accurately estimate the center of an active marker was successfully designed. By exploiting the information captured by the event camera, the marker could be localized with the standard deviation up to a precision of 0.27

Point cloud of events generated from a flashing LED and visualization of event generation on the sensor.
Own presentment

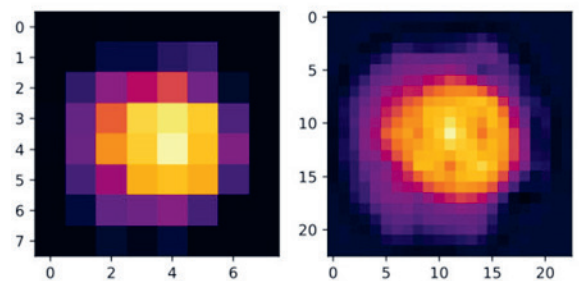


pixels. This can easily be extended to achieve subpixel-precise tracking. Additionally, a second algorithm that uses super-resolution imaging techniques to enhance the precision of object tracking in low-resolution images was developed. The limitations imposed by the camera's resolution were surpassed and resolution enhancements up to a factor of nine were generated.

First algorithm: Calculated subpixel center position (green dot) on an intensity image of an active marker.
Own presentment



Second Algorithm: Calculated super-resolution image with resolution enhancement of factor 9.
Own presentment

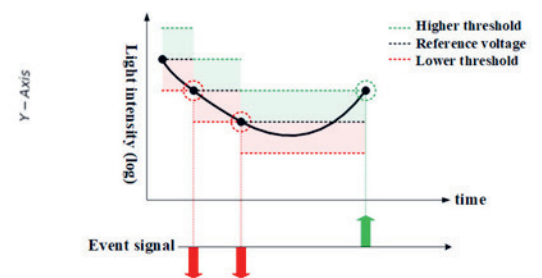


Advisor
Prof. Dr. Martin Weisenhorn

Co-Examiner
Jonas Schmid,
Stettbacher Signal Processing, Dübendorf, ZH

Subject Area
Image Processing and Computer Vision

Project Partner
AlpsenTek GmbH,
Zürich



Elektromechanisches Energiespeichersystem

Diplomand



Fabio Maissen

Ausgangslage: Photovoltaikanlagen erleben zurzeit einen regelrechten Boom. Zum einen sind die Klimaziele 2050 eine treibende Kraft. Andererseits hat aber auch die drohende Energieknappheit die Nachfrage erhöht.

Die Sonnenenergie ist um die Mittagsstunden am höchsten, entsprechend erzielt man in diesem Zeitraum den höchsten Ertrag. Der Stromverbrauch eines Schweizer Haushaltes verlagert sich allerdings immer mehr in die Abend- und frühen Morgenstunden. Dies führt dazu, dass Speichermöglichkeiten für die Photovoltaik-Energie benötigt werden. In Einfamilien- oder in kleineren Mehrfamilienhäusern überwiegt heutzutage die Speicherung, sofern überhaupt vorhanden, in Batterien. Ein Vorteil von Batteriespeichern ist die einfache Einbindung in das System. Allerdings sind sie in der Anschaffung teuer und nicht sehr ökologisch. Deshalb werden immer mehr alternative Speichermöglichkeiten gesucht.

Aufgabenstellung: Es soll eine elektromechanische Alternative zur Batteriespeicherung untersucht werden. Dabei soll die mechanische Uhr als Inspiration dienen. Das System sollte eine rotatorische Feder beinhalten. Für die kurzfristige Speicherung von Energie soll zudem ein Schwungrad eingebaut werden.

Zur langfristigen Speicherung soll noch die mögliche Ankopplung eines Aufzugs mit grosser Masse untersucht werden.

Ergebnis: Bereits einfachste Berechnungen zeigen, dass eine Feder kein geeignetes mechanisches Element ist, um solche Mengen an Energie zu speichern. Die benötigten Dimensionen sind viel zu gross, um in einem Haus eingesetzt werden zu können. Eine Spiralfeder, die rund 10 kWh an Energie speichern kann, müsste mit zehn Windungen etwa zwei Meter Durchmesser haben und einen Meter hoch sein. Dabei müsste das Federblatt eine Dicke von mindestens 44 mm aufweisen. Auch wenn diese vier Kubikmeter an Platz, die sie benötigen würde, in einem Haus sicherlich zu finden wären, würde die Masse problematisch werden. Eine solche Spiralfeder hätte eine Masse von über 14,5 Tonnen. Würde die Herstellung einer solchen Feder möglich sein, wären die Herstellungskosten selbst in grossen Mengen weitaus höher als die einer Batterie. Nicht zu vernachlässigen wäre auch die Gefahr, die eine solche Spiralfeder mit sich bringt. Ein Materialversagen hätte verheerende Folgen. Auch die Idee eines Aufzuges für die Energiespeicherung ist nicht sonderlich gut geeignet. An einem Haus mit fünf Metern Höhe würde eine Masse von einer Tonne lediglich ein Speichervolumen von ca. 13,6 Wh ergeben. Ein durchschnittlicher Schweizer Haushalt benötigt am Tag etwa 9,6 kWh. Um diese

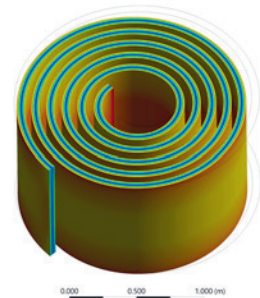
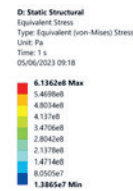
Energie mit einer solch geringen Höhe speichern zu können, wäre eine Masse von über 700 Tonnen erforderlich.

Grundsätzlich kann man sagen, dass mechanische Elemente wie Federn für die Speicherung von grossen Mengen an Energie ungeeignet sind - ganz im Gegensatz zur Speicherung von kleinen Energiemengen.

Der Aufzug als Energiespeicher macht erst dann Sinn, wenn auch eine entsprechende Höhe damit überwunden werden kann.

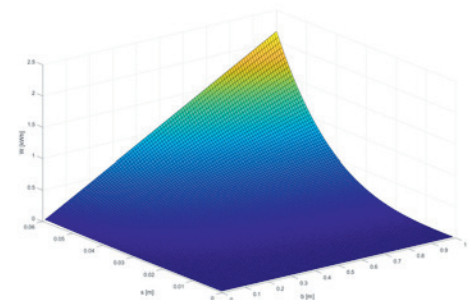
Spannungsverlauf einer Spiralfeder mit 30 kWh gespeicherter Energie

Eigene Darstellung



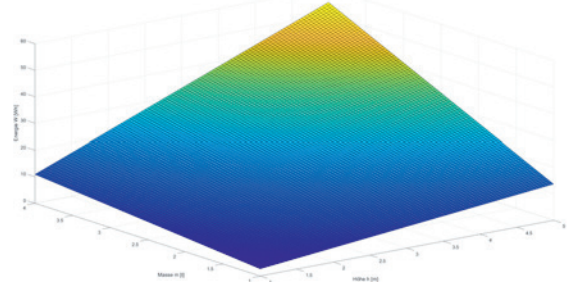
Speicherbare Energie in einer Spiralfeder in Abhängigkeit von der Federblattbreite und -höhe

Eigene Darstellung



Potentielle Energie in Abhängigkeit von Höhe und Masse

Eigene Darstellung



Referent

Dr. Jasmin Smajic

Korreferent

Michael Bösch,
SAK St.Gallische
Appenzellische
Kraftwerke AG,
St.Gallen, SG

Themengebiet

Leistungselektronik

Hardware Development of a Transducer Array for Acoustic Levitation

Levitating and Moving Particles Using Ultrasonic Waves

Graduate Candidates



Dominic Schmech



Erik Löffler

Definition of Task: The scope of this project is to evaluate and implement a design for an ultrasonic transducer array that enables levitation and motion control of up to two particles. Levitation is achieved by controlling the phases of multiple transducers, resulting in standing waves that create trap points in 3D space. By changing the phases of the transducers, these trap points can be moved.

This project was carried out in collaboration with another group that designed the algorithm to control the transducer array and developed an FPGA-based control system.

Approach: We decided to develop a prototype on a smaller scale first to test the design of key parts of the system. The prototype has an array size of 5x5 at the top and bottom. This resulted in reduced capabilities, but still provided enough flexibility for both groups to test their concepts and ideas.

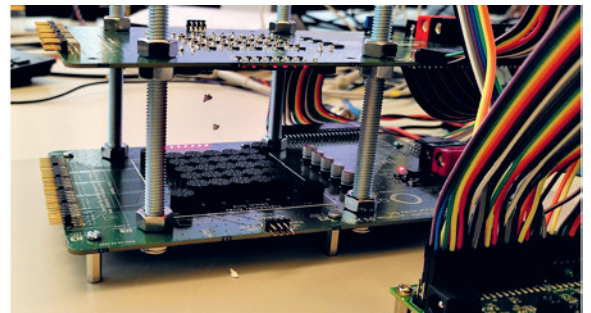
Due to the reduced distance between the two arrays and the reduced force on each particle, interference from reflections is more noticeable. This means that the operating range is reduced and only one particle can be controlled. Nevertheless, it is possible to demonstrate that the simulations are correct and that hardware and firmware work properly.

After the tests with the prototype, the hardware was scaled up to the intended array size of 16x16. The larger size reduces the interference problems, allows for better control of the trapped particles, provides much more levitation space and allows to handle multiple particles.

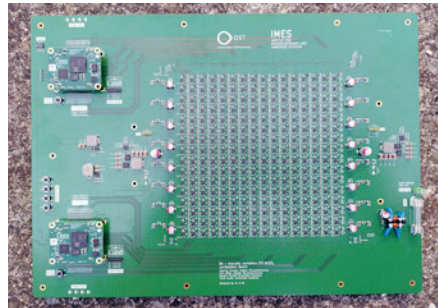
Result: During the thesis, a 5x5 prototype array and a larger 16x16 array were designed and manu-

red. While the 5x5 prototype array is fully functional, the larger array has a hardware error that prevents its FPGAs from powering up. Therefore, the 16x16 array is currently not operational, but additional hardware that solves the problem is in progress. Nonetheless, the 5x5 prototype array demonstrates the controlled movement of a single particle.

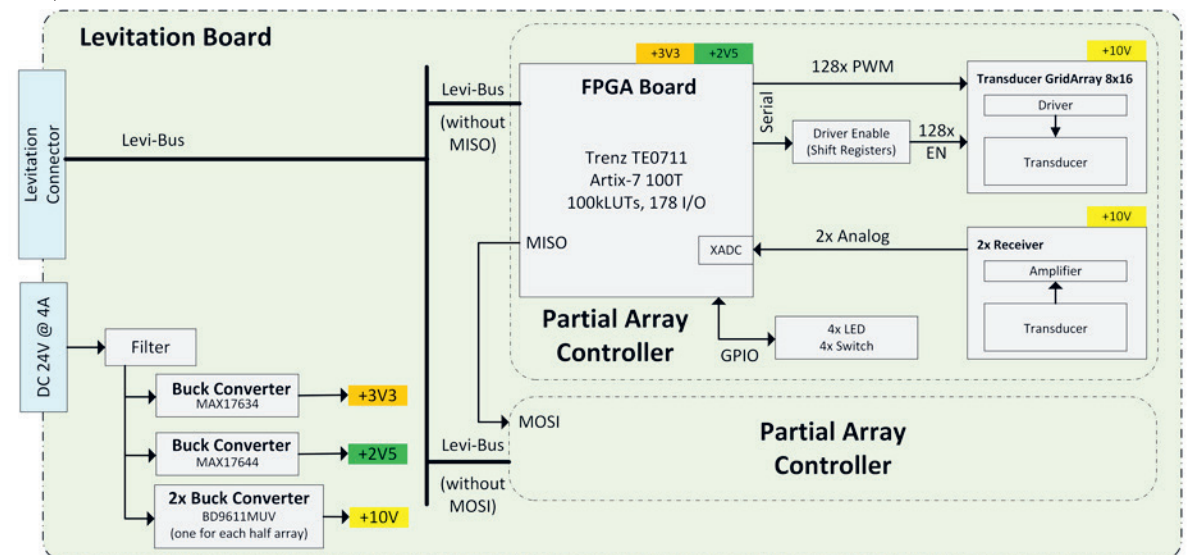
Levitation Board Prototype (5x5) with levitating particles
Own presentation



Levitation Board (16x16)
Own presentation



Block diagram of Levitation Board
Own presentation



Advisors

Prof. Dr. Paul Zbinden,
Dorian Amiet

Co-Examiner

Robert Reutemann,
MiroMico AG, Zürich,
ZH

Subject Area

Microelectronics

Project Partner

IMES Institut für
Mikroelektronik und
Embedded Systems,
OST – Ostschweizer
Fachhochschule,
Rapperswil, SG

Wave Union TDC

Improving Sub-Clock time measurement by using multiple Signal Edges and the Decomposition Scheme

Graduate Candidates



Marc Lippuner



Gian-Luca Brazzerol

Introduction: High-accuracy time measurements in the order of picoseconds, required in Fluorescence Lifetime Microscopy and Time of Flight (ToF) applications can be achieved with Time to Digital Converters (TDC). Classical timing methods require high-frequency clock counters which are impractical for such small time units, as running at clock speeds in the upper gigahertz range introduces additional high-frequency effects. A possible solution is to produce an Application-Specific Integrated Circuit (ASIC), but the cost and the development time for one specific use case are enormous. Instead, the hardware of a Field Programmable Gate Array (FPGA) can be used to achieve sub-clock time resolutions. Wave Union TDCs (WU TDC) can be superior to other architectures in terms of performance. Unlike classic TDCs, they use multiple edges to measure how far a signal has travelled through a series of delay elements during a clock cycle. With the desired improvement in time resolution, new problems arise which are not obvious but must be considered when designing this type of TDC. A possible solution with all its components is presented and explained in this work.

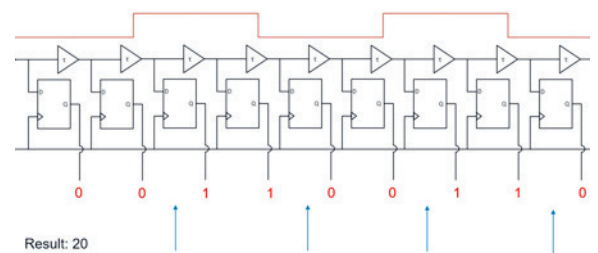
Approach: Several designs of WU TDCs have been published. After a thorough literature study on WU TDCs, the Decomposition Encoding Scheme was chosen. This was combined with a WU Launcher with a finite number of transitions, since a very large number of transitions does not improve the resolution significantly. This encoding scheme has an integrated bubble filter and its functionality is easy to comprehend. For this type of TDC, two parameters are of great importance: the maximum bubble depth, which greatly affects the structure of the encoder and launcher, and the propagation speed of an edge within one clock cycle. Appropriate measurements revealed the specific design parameters of the FPGA at hand, which was an Artix-7 embedded in a Xilinx Zynq-7020. According to these characteristics, the WU launcher and the encoder were implemented step by step. As this TDC operates at a system frequency of 360 MHz, meeting the timing requirements proved to be the biggest challenge. As FPGAs were designed for synchronous operation, the handling of asynchronous signals presented additional challenges.

Result: Measurements revealed that the performance of the TDC is highly dependent on the hardware used. Several implementations on different Zynq-7020s resulted in varying time resolutions. The best resolution of 5.3 ps was achieved with a four-edge WU TDC. A TDC with two edges achieved a resolution of 10.9 ps. The precision was specified by conducting a reference measurement, where a spe-

cific time value is measured multiple times, resulting in a Gaussian curve. The precision was specified as 14,9 ps and 13,5 ps for two- and four-edge TDCs, respectively. Higher numbers of edges could not be measured due to timing issues of the design. Of the designs that could be measured, the resolution and the precision were determined and compared to a Tapped Delay Line TDC (TDL TDC). This thesis proves that the concept of WU TDCs using the decomposition scheme achieve better resolutions than the previous TDL architecture. As previously published papers did not discuss the whole design in detail and focused more on the results, this work builds a foundation for future undertakings by explaining all design steps in detail. Key performance limiting factors have been identified and described so that this design can be further improved in the future.

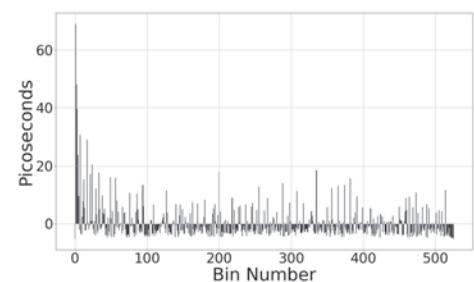
Schematic of a Wave Union within a delay chain sampled with registers.

Own presentation



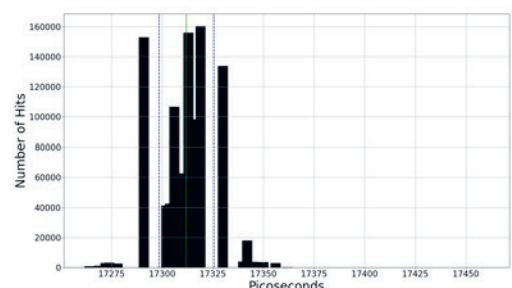
DNL of a Wave Union TDC with four Edges

Own presentation



Gaussian curve resulting from multiple reference measurements with a standard deviation of 13,5ps.

Own presentation



Advisors

Prof. Dr. Paul Zbinden,
Lukas Leuenberger

Co-Examiner

Robert Reutemann,
Mirocom AG, Zürich,
ZH

Subject Area

Microelectronics

Project Partner

IMES Institut für
Mikroelektronik und
Embedded Systems,
OST – Ostschweizer
Fachhochschule,
Rapperswil, SG

Bootsimulation

Flexible Umgebung zur Regelung und Simulation von Booten

Diplomandin



Alena Moeckli

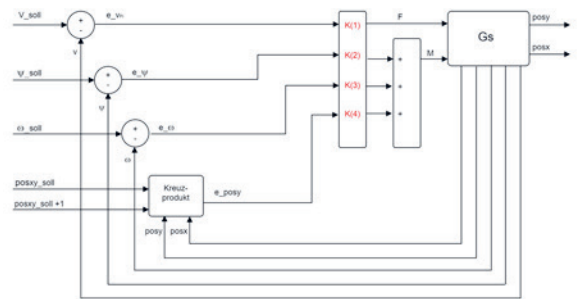
Aufgabenstellung: Das Hauptziel ist, eine Simulation und Regelung für Boote zu implementieren, die zeitgleich einen definierten Flussverlauf befahren. Die Boote sollen durch Regler, welche mittels benutzerdefinierter Parameter initiiert werden, so geregelt werden, dass sie sich möglichst exakt an der Flussmittellinie bewegen. Durch einen Joystick soll die Regelung auch manuell möglich sein. Eine Beurteilung der Regelgenauigkeit soll verfügbar sein und visualisiert werden können.

Vorgehen: Zunächst soll eine Klassenstruktur implementiert werden, welche die Aufgaben der Simulation in Klassen unterteilt. Zur Visualisierung wird eine grafische Benutzeroberfläche erstellt, welche die Bootspositionen darstellt und dem Nutzer die Möglichkeit gibt, Einstellungen an den Reglern vorzunehmen. Abschliessend geht es darum, einen Regler zu implementieren, welcher auch den kommenden Verlauf des Flusses berücksichtigt.

Ergebnis: Das Ergebnis ist eine objektorientiert implementierte Bootssimulation, welche ermöglicht, Bootsregler zeitgleich zu simulieren. Die Zustandsregelung berücksichtigt auch den zukünftigen Flussverlauf. Für die Reglertests sind drei verschiedene Flussformen verfügbar, welche ein Spektrum von möglichen Flusszenarien abdecken. Die Beurteilung der Reglerparametrisierung erfolgt anhand der Distanz und der Winkelabweichung.

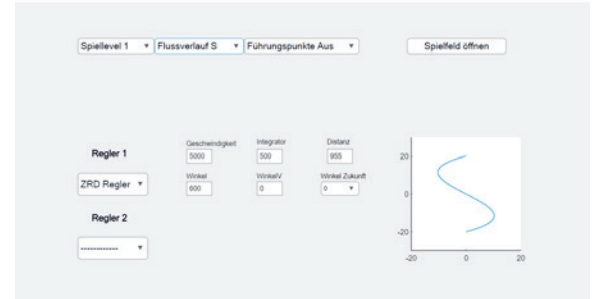
Regelung im Zustandsraum

Eigene Darstellung



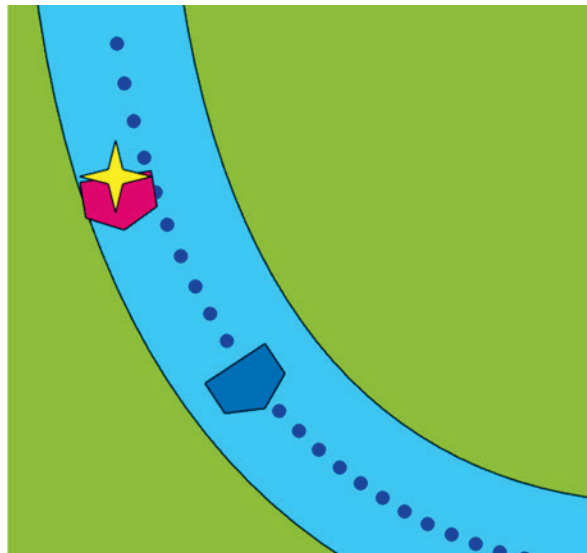
Fenster Einstellungen

Eigene Darstellung



Fenster Spielfeld

Eigene Darstellung



Referent
Prof. Dr. Markus
Kottmann

Korreferentin
Dr. Antje Rey, E. Blum &
Co. AG, Zürich, ZH

Themengebiet
Regelungstechnik /
Control Theory

Endless Rotating Furutapendulum with Code-Generation

Up & Down Regulation

Graduate Candidates



Lea Wüst



Sabrina Werner

Definition of Task: STMicroelectronics provides an inverted pendulum as an evaluation kit which is called STEVAL-EDUKIT01. Two rotating axes are the characteristic features of such a system. At its highest point, it represents an unstable process. In this bachelor thesis, Simulink is used to build a control circuit using automatic code generation. The aim of this assignment is to stabilize the pendulum arm in the lower and upper equilibrium positions, as well as to regulate the position of the motor angle. Furthermore, the construction of the evaluation kit has to be improved by eliminating the cable connection of the encoder. This allows the pendulum to rotate endlessly.

Approach / Technology: A stepper motor performs a motion that causes the pendulum to deflect. With different stimuli, the frequency response of the system is derived. Through the analysis of the root locus as well as the bode diagram, a regulator is tuned to get a stabilized system. Different control methods, such as P-, PI-, PID-, or linear-quadratic regulators (LQR), are designed.

Bluetooth modules are used for data transfer. They send the encoder value, which represents the pendulum angle to the board which contains the whole control system. A slip ring design is used to provide the power supply for the encoder evaluation.

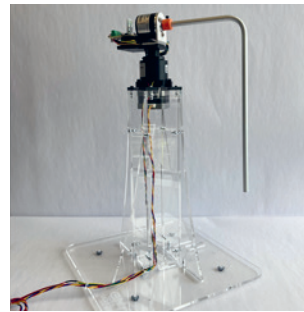
Conclusion: Our system can control the pendulum arm in both lower and upper position. With a simple proportional regulator the lower position is controlled. This is achievable because the system is already stable. Due to the fact that the system

is unstable in the upper position, an LQR control is implemented.

Wireless data transfer for the encoder values is achieved using Bluetooth and a slip ring. Finally, with a Simulink model, it is possible to switch between the two regulations and a reset state.

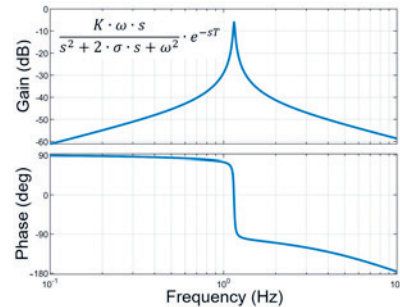
Modified pendulum STEVAL-EDUKIT01 with slip ring and Bluetooth module.

Own presentment



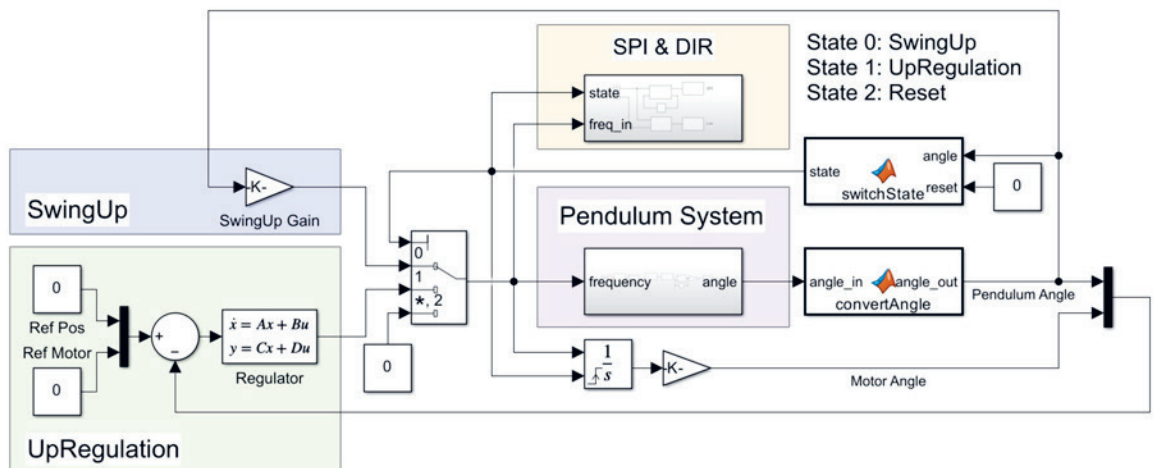
Bode plot of the pendulum in the lower position.

Own presentment



Simulink diagram for controlling the upper position.

Own presentment



Advisor

Prof. Michael Hubatka

Co-Examiner

Dr. Antje Rey, E. Blum & Co. AG, Zürich, ZH

Subject Area

Regelungstechnik / Control Theory

Project Partner

ICOM Institute for Communication Systems, OST – Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, SG

Implementation von Reglern hoher Systemordnung

Diplomanden



Tobias Rickenbacher



David Hugentobler

Einleitung: In dieser Arbeit sollen verschiedene Realisierungen von Systemen höherer Ordnung numerisch und laufzeittechnisch analysiert werden. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Zustandsraumdarstellung mit der Systemmatrix in Tridiagonalform gelegt. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Systemform zu finden, die sowohl numerisch stabil ist als auch schnell auf einem Mikrocontroller berechnet werden kann.

Vorgehen: Für die Untersuchung der numerischen Genauigkeit wurden die Modal-, Schur-, Blockdiagonal-Schur-, Hessenberg-, Tridiagonal-, Regelungs- und Beobachtungsnormalform sowie die balancierte Realisierung ausgewählt. Diese wurden in MATLAB mit den Zahlenformaten double- und single-precision, fixed-point 32 Bit und fixed-point 16 Bit implementiert und miteinander verglichen.

Für die Laufzeitmessung wurde ein ausgewähltes System in den verschiedenen Zustandsraumdarstellungen auf einem Mikrocontroller der STM32-Familie implementiert. Dabei wurde die eigene Implementierung mit Bibliotheken von ARM und Eigen verglichen. Um die Ergebnisse greifbarer zu machen, wurde ein Demonstrator erstellt. Er besteht aus zwei Nucleo-64-Boards, die vom Signalgenerator des Oszilloskops ein Rechtecksignal erhalten. Auf jedem dieser Boards ist ein anderer Systemtyp implementiert. Nach der Verarbeitung werden die Ausgangssignale ebenfalls mit dem Oszilloskop gemessen.

Ergebnis: Es zeigte sich, dass es einen Kompromiss zwischen numerischer Genauigkeit und Laufzeit gibt. Die untersuchten Systeme waren nicht gleichzeitig schnell und numerisch stabil. Die numerisch genau-

esten Systemformen erwiesen sich als Modal-, die Blockdiagonal-Schur- und die Schur-Form. Die Laufzeitanalyse zeigte, dass Systeme mit wenigen Einträgen in der Systemmatrix am schnellsten sind. Nimmt man diese beiden Ergebnisse zusammen, so erweisen sich im allgemeinen Fall die Modalform und die Blockdiagonal-Schur-Form als am besten. Die Tridiagonalform schnitt bei der numerischen Genauigkeit schlecht ab. Sie gehört jedoch zu den schnellsten in Bezug auf die Laufzeit.

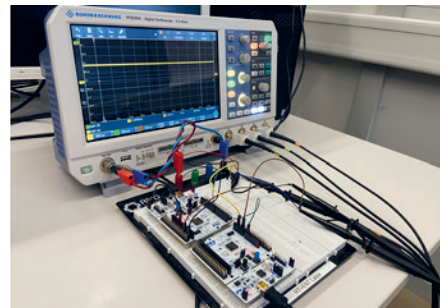
Tridiagonalform der Systemmatrix

Eigene Darstellung

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & & & \\ c_1 & a_2 & b_2 & & \\ & c_2 & \ddots & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & b_{n-1} \\ & & & c_{n-1} & a_n \end{bmatrix}$$

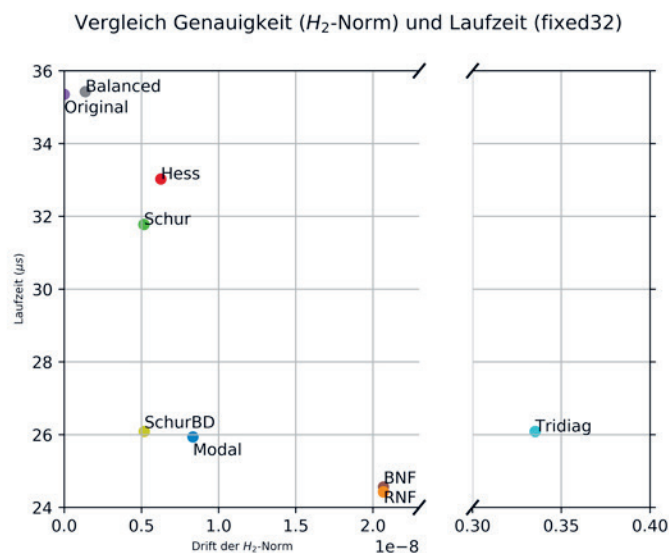
Der Demonstrator

Eigene Darstellung



Laufzeit vs. Genauigkeit

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Michael Hubatka

Korreferentin

Dr. Antje Rey, E. Blum & Co. AG, Zürich, ZH

Themengebiet

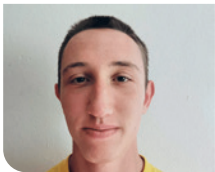
Regelungstechnik/
Control Theory

Optimierung einer Wireless Power Transfer-Regelung

Diplomanden



Renato Netzer



Michele Mignola

Aufgabenstellung: Die Hamilton Bonaduz AG entwickelt unter anderem Pipettierroboter für die Laborautomation in der Medizintechnik. Diese haben alle mindestens drei Achsen und erlauben somit eine Bewegung im dreidimensionalen Raum. Für einige Projekte ist der Wunsch aufgekommen, eine drahtlose Energieversorgung zu haben. Das Wireless Power-Transfer-System sollte dabei die dynamischen Lasten kompensieren und eine konstante Ausgangsspannung zur Verfügung stellen. Die bereits bestehende Regelstrecke soll durch gezielte Variation von Aktor, Strecke und Sensor charakterisiert und verbessert werden. Insbesondere soll die drahtgebundene Übertragung der gemessenen Ausgangsspannung durch eine drahtlose Übertragung ersetzt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen Hamilton dazu, einen ersten Prototyp auszulegen.

Vorgehen/Technologien: Als erster Lösungsansatz für das Ersetzen der drahtgebundenen Messung der Ausgangsspannung wurde eine Übertragung mit Photodioden implementiert. Bei diesem Lösungsansatz wird die Ausgangsspannung der Regelstrecke in einem für den Menschen nicht sichtbaren Spektrum übertragen und von einem STM32-Mikrocontroller eingelesen, welcher auch die Ausgangsspannung mit einem PI-Regler regelt.

Als zweiter Lösungsansatz für das Ersetzen der drahtgebundenen Messung der Ausgangsspannung wurde der Ansatz eines Beobachters verfolgt. Später wurde erkannt, dass dies für das Verhalten der Strecke eine unpassende Methode ist. Stattdessen wurde der Ansatz einer Look-Up-Table verfolgt. Sie bildet die Kennfläche zwischen Eingangsstrom, momentaner Frequenz und Ausgangsspannung ab.

In die primäre Wicklung wurde eine weitere einzelne Wicklung eingesetzt. Die induzierte Spannung dient als Messgröße für den Eingangsstrom.

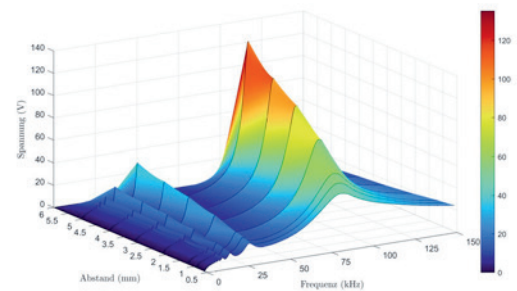
Neben den verschiedenen Lösungen wurden auch verschiedene Messungen und Simulationen der Strecke durchgeführt, bei welchen jeweils ein oder mehrere Streckenparameter systematisch verändert wurden.

Ergebnis: Durch den Lösungsansatz der Photodioden konnte beinahe die gleiche Performance erreicht werden wie mit der drahtgebundenen Übertragung der Ausgangsspannung.

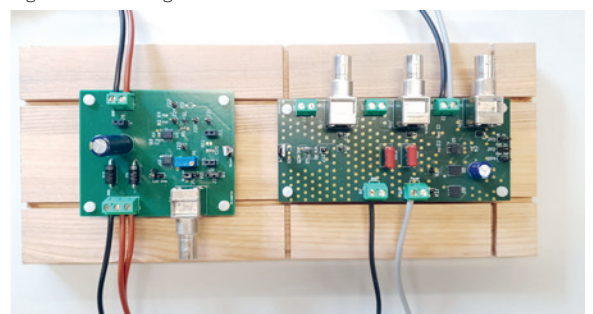
Mit der Implementierung der Look-Up-Table und einer leichten Modifikation der Schaltung musste die Regelung etwas langsamer eingestellt werden. Die Leistung der vorherigen Arbeit konnte jedoch mehr als verdoppelt werden, sodass nun 150 Watt übertra-

gen werden können und die Ausgangsspannung mit einer geringen Ungenauigkeit gehalten werden kann.

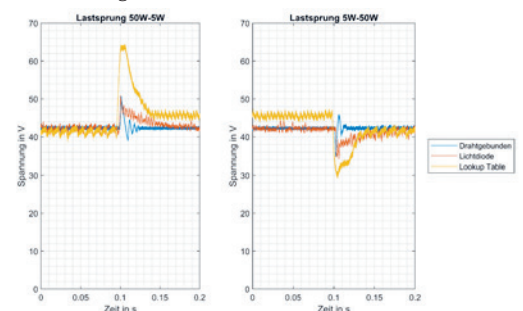
AC-Sweep-Kennfläche für verschiedene Luftspaltlängen.
Eigene Darstellung



Aufbau für die Übertragung der Ausgangsspannung mit Photodioden.
Eigene Darstellung



Lastsprung mit den drei verschiedenen Übertragungsmethoden der Ausgangsspannung.
Eigene Darstellung



Referent

Prof. Michael Hubatka

Korreferentin

Dr. Antje Rey, E. Blum & Co. AG, Zürich, ZH

Themengebiet
Regelungstechnik /
Control Theory

Projektpartner
Hamilton Bonaduz AG,
Rapperswil, SG

Plasma Air Cleaning System Control

Regelung einer plasmabasierten VOC-Abluftreinigung

Graduate Candidate



Joshua Bär

Introduction: Industrial air cleaning is the process of removing pollutants and contaminants from the air in factories and warehouses. It is critical to maintaining a safe and healthy environment, reducing emissions, and meeting regulatory requirements. Industrial air cleaners can handle large volumes of air and remove contaminants such as chemicals, dust, and volatile organic compounds (VOCs). Typical options include flame oxidizers that burn and capture particles. However, a more effective approach is plasma oxidation, a chemical process. It uses plasma ignited by high-voltage arcs and controlled by varying the frequency and power levels. Increasing the power input increases the energy available for VOC removal. This power can be adjusted to control the plasma oxidation process, which currently relies on manual intervention.

The objective of this thesis is to implement control techniques that will allow a shift from manual to automated control systems.

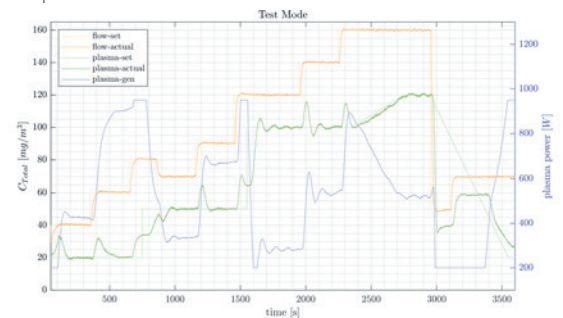
Approach: The approach is to use the Speedgoat rapid control prototyping platform to address the challenges in the air-cleaning system. Step response analysis improves understanding of system dynamics while existing actuators and sensors are leveraged for control system implementation, ensuring compatibility. Various PID tuning design methods are used to optimize control performance, improving system reliability and efficiency.

Conclusion: This study demonstrates the automatability of the air-cleaning system. The implementation of PID control shows its adaptability to variable pollution levels and its ability to achieve energy savings.

This work lays the foundation for the engineering and automation of plasma air cleaning, utilizing its advantages to provide efficient solutions for air pollution control, contributing to environmental sustainability, and paving the way for the development of functional and efficient systems capable of testing different pollution combinations.

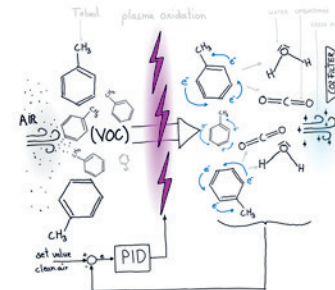
Evaluation of the effectiveness of the plasma system in reducing carbon pollutants at various concentration levels.

Own presentation



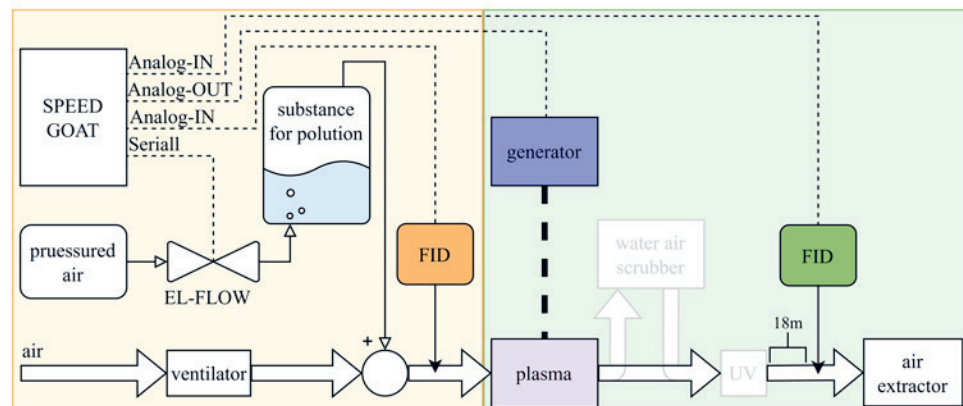
The figure shows Toluol being treated by plasma oxidation, controlled by a PID controller, to achieve clean air.

Own presentation



Air-cleaning system with essential components for effective pollution control.

Own presentation



Advisor

Prof. Michael Hubatka

Co-Examiner

Dr. Antje Rey, E. Blum & Co. AG, Zürich, ZH

Subject Area

Regelungstechnik / Control Theory

Project Partner

UMTEC Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik, OST – Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, SG

Testumgebung zur Regelung eines Boots

Diplomand



Muhammed Karakhail

Aufgabenstellung: Es soll eine Benutzeroberfläche (GUI) mit MATLAB erstellt werden, in welcher ein Boot entlang eines Flusses fährt. Die Ansteuerung des Boots soll über zwei Stellgrößen erfolgen, einerseits über die Kraft des Motors sowie andererseits über das Drehmoment des Ruders. Es soll ermöglicht werden, dass das Boot mit einem Joystick manuell gesteuert werden kann und auch durch verschiedene Regelalgorithmen automatisch den Fluss entlangfährt. Die Performance verschiedener Regler oder manueller Durchläufe soll gespeichert und geeignet angezeigt werden können. Damit können die Geschicklichkeit des Spielers und die Qualität des Reglers bzw. seiner Parameter beurteilt werden.

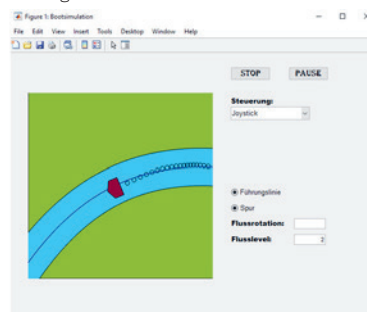
Vorgehen: Zuerst wird das GUI mit den graphischen Objekten erstellt. Es wird versucht, die Bewegung des Boots mittels Differentialgleichungen realitätsnah zu beschreiben. Daraufhin wird die Bewegung des Boots durch die manuelle Steuerung implementiert. Für die Regelung des Drehmoments werden der Distanz- und der Winkelfehler zur aktuellen Führungslinie berechnet und die Regelparameter bestimmt. Als letzter Schritt werden die Steuerung sowie Regelung mit dem GUI verbunden und die Callbacks definiert.

Ergebnis: Die Bewegung des Boots erfolgt, indem das Eingangssignal mit 10 Hz abgetastet wird und die Differentialgleichungen für 0,1 Sekunden gelöst werden, sodass für das menschliche Auge eine angenehme Bewegung ersichtlich ist. Über die Benutzeroberfläche können die Steuerungen des Boots ausgewählt werden, welche man auch während des Spiels ändern kann. Wird eine automatische Rege-

lung gewählt, erscheinen Textfelder, in welche die Regelparameter eingegeben werden können. Man kann auswählen, ob die Führungslinie oder die Spur des Boots angezeigt werden soll. Über das GUI kann der Fluss gedreht und skaliert werden. Nach Beenden des Spiels werden verschiedene Daten wie z. B. durchschnittlicher Fehler zur Führungslinie oder zurückgelegte Strecke etc. angezeigt.

Benutzeroberfläche Bootsimulation

Eigene Darstellung



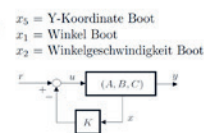
Regelung

Eigene Darstellung

Zustandsraum:

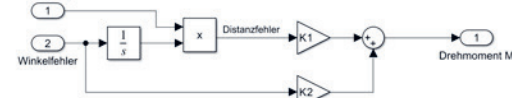
$$\begin{pmatrix} \dot{x}_5 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -10 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_5 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5 \end{pmatrix} \cdot M$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_5 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot M$$



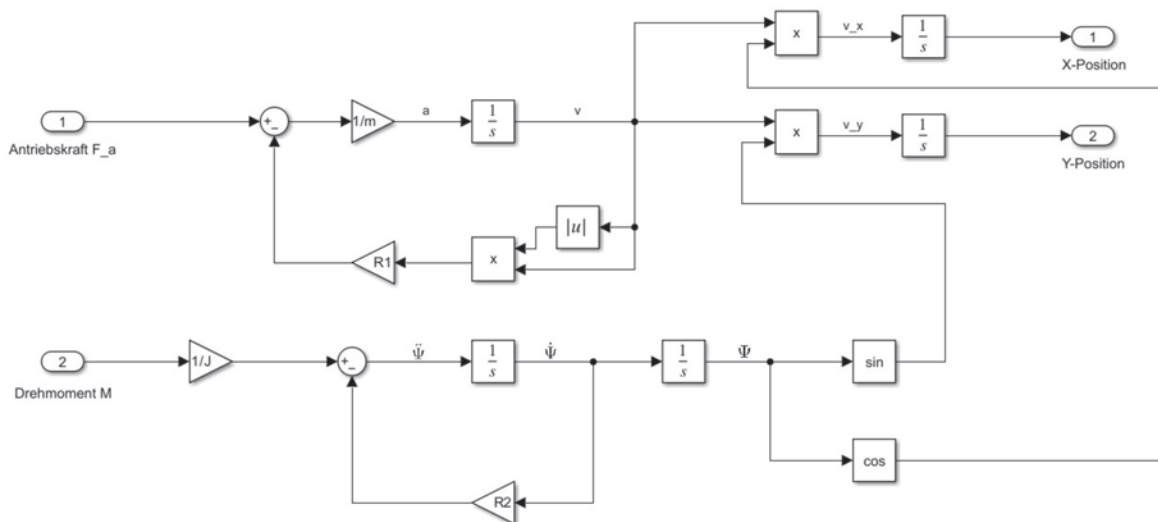
PD-Regler:

Geschwindigkeit



Blockdiagramm Bootsdynamik

Eigene Darstellung



Referent
Prof. Dr. Markus Kottmann

Korreferent
Dr. Markus A. Müller,
Frei Patentanwaltsbüro
AG, Zollikon, ZH

Themengebiet
Regelungstechnik /
Control Theory

Projektpartner
ICOM Institute für
Communication
Systems, OST,
Rapperswil, SG

Auswerteschaltung für Feuchtesensor

Weiterentwicklung der Auswerteelektronik, Hardwareaufbau erstellen und Qualifizieren des Messsystems

Diplomand



Yves Rickli

Ausgangslage: Präzise Feuchte- und Temperatursensoren werden in verschiedenen Bereichen wie der Meteorologie, der Pharmazie oder der Lebensmittelindustrie benötigt. Der von Rotronic entwickelte Sensorfühler HC2A erfüllt diese Anforderungen. Da Rotronic an einer stetigen Verbesserung/Innovation seiner Produkte interessiert ist, soll in dieser Arbeit der erste Entwicklungsschritt für eine noch genauere, schnellere und stromsparendere Auswerteelektronik für den Sensorfühler HC2A gemacht werden. In einer früheren Semesterarbeit wurden verschiedene Ansätze zur kapazitiven Feuchtemessung untersucht und getestet. Die vorliegende Arbeit knüpft an die Ergebnisse dieser Semesterarbeit an. Im Einzelnen geht es darum, den Ansatz des Ladungsverstärkers für die kapazitive Feuchtemessung weiterzuentwickeln und einige der in der Vorarbeit identifizierten Probleme zu analysieren und zu beseitigen.

Vorgehen/Technologien: Mit den Erkenntnissen aus dem Vorprojekt wurde ein kapazitives Messsystem entwickelt. Es basiert auf dem Prinzip des Ladungsverstärkers. Dabei wird die zuerst angesammelte Ladung im Sensor HT-1, welcher eine Kapazität von $220 \text{ pF} \pm 50 \text{ pF}$ hat, integriert. Dieser Zyklus wiederholt sich laufend während der ganzen Messperiode. Es kann sowohl eine positive wie auch eine negative Ladung in den Sensor HT-1 geladen werden, jedoch nicht abwechselnd in der gleichen Messperiode. Um das Messsystem nicht unnötig zu belasten, wird die negative Grundladung des Sensors HT-1 mit einer zusätzlichen Kapazität in jedem Zyklus integriert. Dies hat zur Folge, dass nur der unbekannte variable Ladungsanteil des Sensors HT-1 auf die Integrationskapazität geladen wird. Damit steigt oder sinkt die Spannung am Integratorausgang. Der implementierte Sigma-Delta-Wandler entscheidet, ob im nächsten Zyklus eine definierte Ladung positiv oder negativ sein muss, um dem Trend des Integratorausgangs entgegenzuwirken und nicht an seinen Anschlag zu kommen. Mit der Anzahl Zyklen, in welchen der Sigma-Delta-Wandler während der Messperiode eine positive Ladung integriert, kann auf den Kapazitätswert des Sensors HT-1 geschlossen werden. Es kann dabei zwischen einem Sigma-Delta-Wandler erster Ordnung oder zweiter Ordnung gewählt werden. Zusammen mit der ebenfalls entwickelten resistiven Temperaturmessung kann daraus die relative Feuchte der Luft berechnet werden.

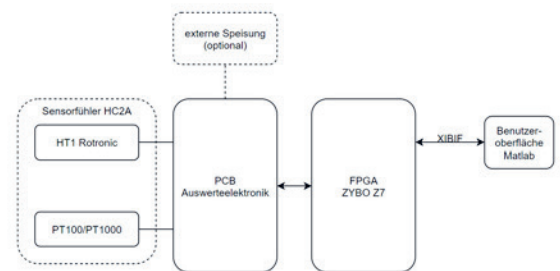
Ergebnis: Das im vorangegangenen Abschnitt erläuterte Messsystem wurde auf einem PCB implementiert. Die Elektronik auf dem PCB wird über ein Zybo Z7 FPGA Board gesteuert, das wiederum über eine Benutzeroberfläche auf dem Computer gesteuert werden kann.

Verschiedene Messungen haben gezeigt, dass mit dem entwickelten Messsystem eine Messauflösung von bis zu 19 Bit mit einer Standardabweichung von 1-2fF möglich ist. Zudem ist das Messsystem bis zu einer Sensorfrequenz von 100 kHz einsetzbar.

Der im Abschnitt Verfahren/Technik erwähnte Zyklus dauert somit 10 μs , bei Sensorfrequenz 100 kHz. Zusammen mit der oben genannten Messauflösung von 19 Bit gibt das entwickelte Messsystem spätestens alle fünf Sekunden einen neuen Messwert aus. Durch eine Erweiterung des Messsystems mit einem geeigneten Filter kann die Zeitspanne bis zum nächsten Messwert jedoch stark verkürzt werden.

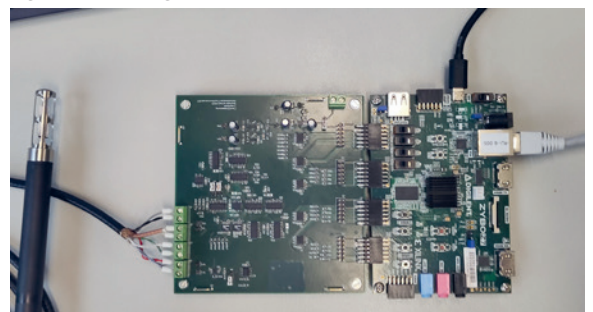
Übersicht Messsystem

Eigene Darstellung



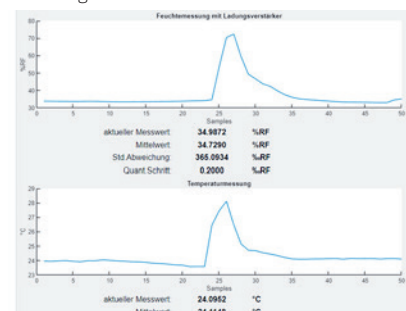
Entwickelte Hardware inklusiv Zybo Z7 FPGA Board und Sensorfühler HC2A

Eigene Darstellung



Physikalische Messwertanzeige der Benutzeroberfläche, Messung zeigt Messausschlag bei Anhauchen des Sensorfühlers

Eigene Darstellung



Referent
Prof. Guido Keel

Korreferent
Arthur Schwilch,
Gossau ZH, ZH

Themengebiet
Sensorik

Projektpartner
Rotronic AG,
Bassersdorf, ZH

Induktivsensor mit Temperaturkompensation

Diplomanden



Andreas Meile



Sebastian Eschenlohr

Ausgangslage: In der Industrie werden oft induktive Sensoren eingesetzt, um die Distanz zu einem metallischen Target zu bestimmen. Dazu wird ein LC-Schwingkreis angeregt, wodurch in dem Target in der Nähe der Spule Wirbelströme erzeugt werden. Anhand der entstehenden Verluste kann auf die Distanz zwischen der Spule und dem Target geschlossen werden. Es soll ein PCB entworfen werden, welches mithilfe eines FPGA sowie eines Matlab-GUI einen solchen Schwingkreis ansteuern und auswerten kann. Temperaturänderungen der Spule können zu Ungenauigkeiten in der Messung führen, deshalb soll diese Temperatur ebenfalls ausgewertet werden können. Da die Messung per NTC nicht optimal ist, soll die Temperatur anhand der Widerstandsänderung der Spule ermittelt werden.

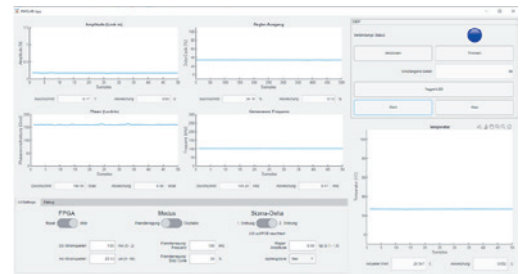
Vorgehen: Zu Beginn wurden vorhergehende Arbeiten durchgelesen und studiert. Basierend auf dem erarbeiteten Wissen konnten die Schemas zu den einzelnen Schaltungsteilen wie Stromquellen, Sigma-Delta-Wandler oder Lock-In-Verstärker gezeichnet und auf einem PCB umgesetzt werden. Der Sigma-Delta-Wandler wurde gewählt, um über längere Zeit einen immer genaueren Spannungswert zu erhalten. Damit die Amplitude sowie die Phase eines Signals mit bekannter Frequenz bestimmt werden können, wurde ein Lock-In-Verstärker gewählt. Währenddessen wurde der VHDL-Code geschrieben, welcher die Hardware ansteuert sowie die Ausgangssignale auswertet und an Matlab sendet.

Ergebnis: Als Endergebnis kann ein funktionierendes System mit FPGA, PCB und Matlab präsentiert werden. Durch ein Matlab-GUI können verschiedene Ein-

stellungen vorgenommen werden. Diese werden vom FPGA umgesetzt. So kann der LC-Schwingkreis wahlweise im Fremderregungs- oder im Oszillator-Modus angesteuert werden. Die Ausgänge des Sigma-Delta-Wandlers sowie des Lock-In-Verstärkers werden auf dem FPGA gemittelt und an Matlab gesendet. Die Lock-In Daten ermöglichen das Bestimmen der Amplitude und der Phase auf 80 mV respektive 2 Grad. Mittels Sigma-Delta-Wandler ist es möglich, eine Spannungsänderung im μV -Bereich aufzulösen und somit sehr kleine Temperaturänderungen zu detektieren.

Matlab App Designer GUI

Eigene Darstellung



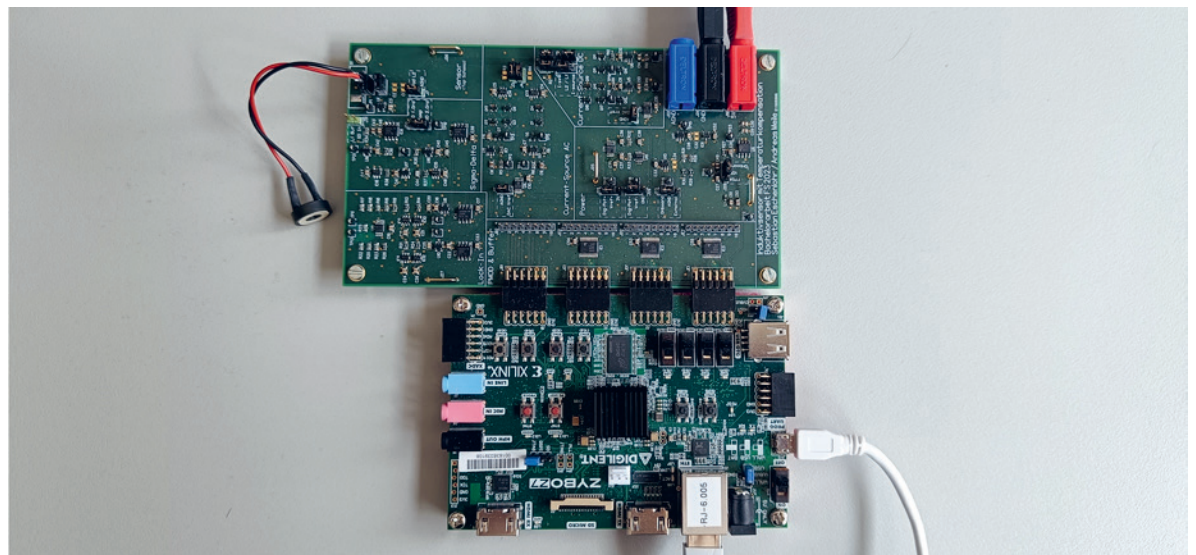
Testbench des Sigma-Delta-Blocks in VHDL

Eigene Darstellung



PCB mit Zybo Z7/20

Eigene Darstellung



Referent

Prof. Guido Keel

Korreferent

Arthur Schwilch,
Gossau ZH, ZH

Themengebiet

Sensorik

Projektpartner

IMES Institut für
Mikroelektronik und
Embedded Systems,
OST – Ostschweizer
Fachhochschule,
Rapperswil, SG

Automated IQ Mixer Calibration and Characterization Testbench

Graduate Candidate



Silvan Ammann

Introduction: Frequency up-conversion, a fundamental process often employed in radio frequency (RF) and microwave (MW) systems, shifts a signal from lower frequencies into a higher-frequency range. Traditional mixers used for this task require image rejection filters to suppress unwanted sidebands (SB), adding cost, space requirements and complexity. IQ mixers offer a filterless alternative, since they inherently suppress the image in single-sideband configuration. However, this approach poses two challenges: To achieve acceptable signal quality, both the image power and the leakage of the local oscillator (LO) must lie below a certain threshold. The SB suppression is maximized by reducing the amplitude and phase imbalance between the in-phase (I) and quadrature (Q) signal. The LO leakage can be mitigated by applying a DC voltage at the I and Q port to prevent DC current flowing in the mixer, which would generate LO frequency output in the RF signal. The goal of this thesis is to build an automated calibration test bench for IQ mixers, aiming to achieve a minimum LO and SB suppression of 60 dBc within an LO frequency range of 2 up to 18 GHz and an intermediate-frequency (IF) signal bandwidth of up to 3 GHz. Using this test bench, the calibration limits of wideband IQ up-converters should be explored for two predefined mixer examples. Additionally, the influence of LO/IF frequency and temperature on mixer calibration should be characterized.

Approach: After identifying suitable instruments and components for the test bench, they are remotely controlled via a Python script. An algorithm aimed at finding the optimal parameter values for maximum SB and LO suppression is implemented. It iteratively narrows the parameter value search range until the best ones are found, as is visualized in Fig. 2. The IQ mixer is then characterized across the entire frequency range by optimizing the parameters at each frequency step. This process is repeated for different temperatures to characterize the effect of the temperature on the mixer performance.

Result: The automated calibration test bench functions effectively, calibrating and characterizing any IQ mixer rather efficiently. Both tested mixers demonstrate similar performance after optimization, meeting the required SB and LO suppression levels of 60 dBc. Fig. 3 presents a comparison of the calibrated suppression values of one of the mixers against its uncalibrated values. Both tested mixers performed similarly. The parameter ranges that achieve suppression levels of 60 dBc or more are remarkably narrow in comparison to the frequency-dependent changes of the parameters. For example, the I bias voltage varies between -100 and 10 mV over the

entire frequency range, yet only ranges of around 0,8 mV achieve 60 dBc. Consequently, to maintain the desired suppression levels, parameters need adjustment whenever frequencies change. Additionally, because the optimal parameters are temperature-dependent, either a stable temperature must be maintained for consistent suppression or frequent recalibration is required.

Fig. 1: Picture of the automated calibration testbench.
Own presentment

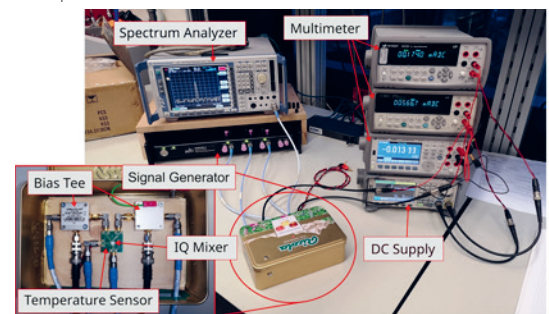


Fig. 2: I and Q DC voltage sweeps to find the values where the LO leakage is minimized.
Own presentment

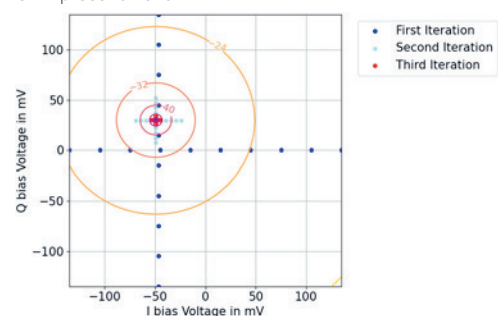
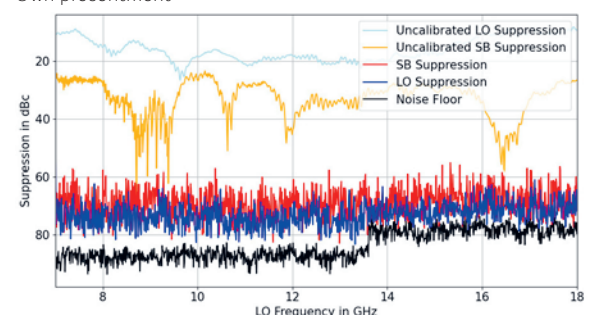


Fig. 3: IQ mixer calibration values over the LO frequency range.
Own presentment



Advisors
Prof. Dr. Hans-Dieter Lang, Nicola Ramagnano

Co-Examiner
Mischa Sabathy, SPEAG, Zürich, ZH

Subject Area
Wireless Communications

Project Partner
AnaPico AG, Opfikon, ZH

Design and Verification of an Optimized Reconfigurable Intelligent Surface

Graduate Candidates



Patrik Stöckli



Sven Keller

Introduction: Reconfigurable Intelligent Surfaces (RISs) are a relatively new concept, widely anticipated to be pivotal in future wireless systems. They enhance coverage and capacity by intelligently reflecting otherwise lost signals back into the system. One approach to constructing such an RIS involves arranging numerous antennas on a surface, like in a reflectarray, and steering the reflected signals by adjusting each antenna's loading reactance. A preexisting optimization procedure provides the provably optimal reactive loads for a particular RIS scenario. Previously, this had only been verified via simulation. This project aims at designing a small RIS for an operating frequency of 3.55 GHz, the center of the newly adopted 5G band «n78», to verify the optimization procedure and the RIS operation in practice.

Approach: First, several varactor diodes are characterized around the frequency of interest, to obtain their complete capacitance vs. reverse bias voltage behavior. As shown in Fig. 1, these diodes exhibit negligible variation across individual measurements, and the results align with the limited information on the datasheet. Second, a 14-element dipole reflectarray antenna is designed, with each antenna element centrally loaded with a varactor diode. To ensure future scalability, a 96-channel DAC is utilized to generate the reverse bias voltages, delivered to each dipole element via its own small bias network. Finally, the performance of the fully assembled RIS is evaluated at various angles using a dedicated measurement setup, as shown in Fig. 3. Time gating is used to mitigate environmental interference and ignore the direct path between the measurement antennas.

Result: The realized RIS works as intended and its effectiveness is verified as shown in Fig. 2. It is noteworthy that even such a small RIS can have a considerable effect at angles far from the specular reflection. Furthermore, the convenient adjustability of the loading reactances allows for precise fine-tuning, helping to bridge any gaps between simulation and real-world outcomes.

Fig. 1: Capacitance of the measured varactor diodes as a function of reverse bias voltage, compared to the datasheet.

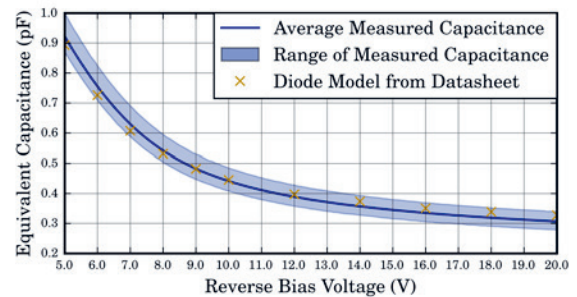


Fig. 2: Comparison of the RIS performance between optimized and switched off settings.

Own presentation

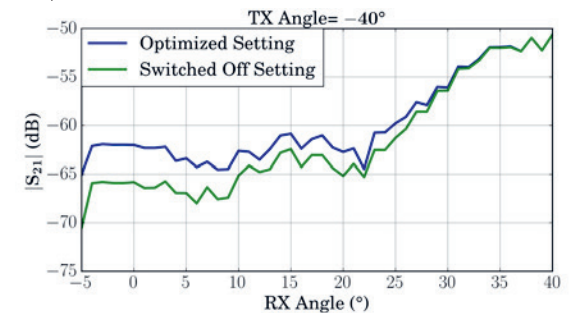
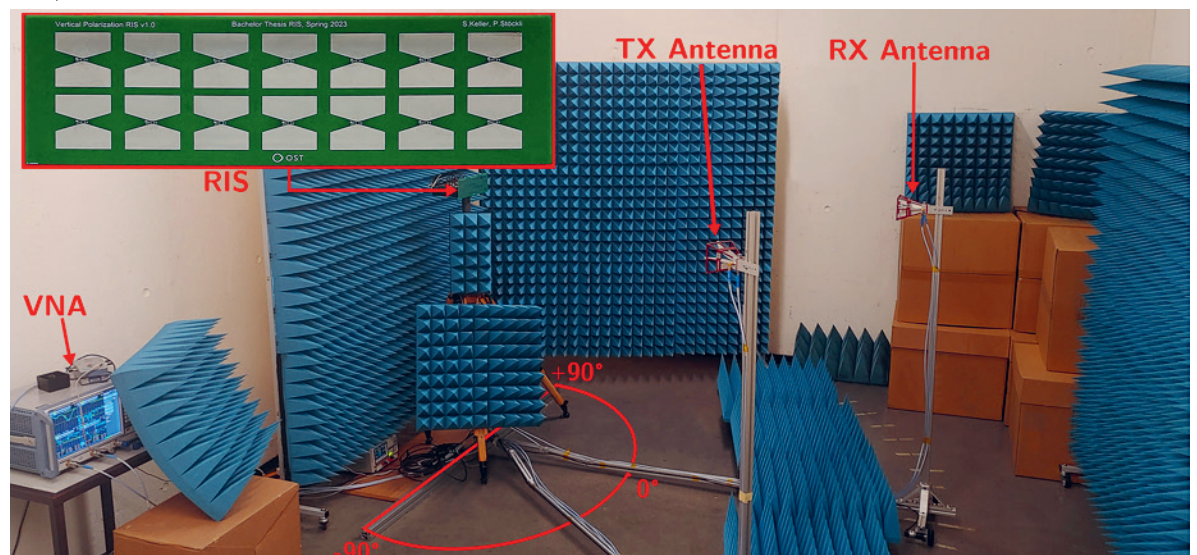


Fig. 3: Measurement setup to characterize the RIS, using two horn antennas and a VNA.

Own presentation



Advisors

Prof. Dr. Hans-Dieter Lang, Michel André Nyffenegger

Co-Examiner

Mischa Sabathy, SPEAG, Zürich, ZH

Subject Area

Wireless Communications

Project Partner

ICOM Institute for Communication Systems, OST – Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, SG

Unsere Institute am Campus Rapperswil-Jona

IBU | Institut für
Bau und Umwelt
IBU Institut für Bau und Umwelt
ibu@ost.ch, www.ost.ch/ibu

INS | Institut für
Netzwerke und Sicherheit
INS Institut für Netzwerke und Sicherheit
laurent.metzger@ost.ch, www.ost.ch/ins

ICOM | INSTITUT FÜR
KOMMUNIKATIONSSYSTEME
ICOM Institut für Kommunikationssysteme
icom@ost.ch, www.ost.ch/icom

IPEK | Institut für Produktdesign,
Entwicklung und Konstruktion
IPEK Institut für Produktdesign,
Entwicklung und Konstruktion
elmar.nestle@ost.ch, www.ost.ch/ipek

IET | Institut für
Energietechnik
IET Institut für Energietechnik
iet@ost.ch, www.ost.ch/iet

IRAP | Institut für
Raumentwicklung
IRAP Institut für Raumentwicklung
gunnar.heipp@ost.ch, www.irap.ch

IFS | Institut für
Software
IFS Institut für Software
stefan.keller@ost.ch, www.ost.ch/ifs

iwk | INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK
UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG
IWK Institut für Werkstofftechnik
und Kunststoffverarbeitung
frank.ehrig@ost.ch, www.ost.ch/iwk

ikik | Institut für Kommunikation
und interkulturelle Kompetenz
IKIK Institut für Kommunikation und
Interkulturelle Kompetenz
stefan.kammhuber@ost.ch, www.ikik.ch

SPF | INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK
SPF Institut für Solartechnik
andreas.haeberle@ost.ch, www.ost.ch/spf

ilf | INSTITUT FÜR
LANDSCHAFT UND FREIRAUM
ILF Institut für Landschaft und Freiraum
ilf@ost.ch, www.ost.ch/ilf

UMTEC | INSTITUT FÜR UMWELT- UND
VERFAHRENSTECHNIK
UMTEC Institut für Umwelt- und
Verfahrenstechnik
umtec@ost.ch, www.ost.ch/umtec

ILT | Institute for Lab Automation
and Mechatronics
ILT Institut für Laborautomation
und Mechatronik
agathe.koller@ost.ch, www.ost.ch/ilt

werz | INSTITUT FÜR WISSEN
ENERGIE UND ROHSTOFFE ZUG
WERZ Institut für Wissen,
Energie und Rohstoffe Zug
werz@ost.ch, www.ost.ch/werz

IMES | Institut für Mikroelektronik
und Embedded Systems
IMES Institut für Mikroelektronik und
Embedded Systems
imes@ost.ch, www.ost.ch/imes

OST – Ostschweizer Fachhochschule
Studiengang Elektrotechnik
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil
Switzerland

T +41 58 257 41 11
ost.ch/elektrotechnik



Rapperswil-Jona

