

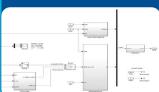




Flugrobotik Seminar

Neu im WS 17/18

Simulink

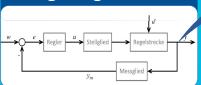


Code Generierung

/* Binary Search */
bpIdx = maxIndex >> 1U;
iLeft = 0U;
iRght = maxIndex;

Fluggerät (infineon

Systemidentifikation + Regelung



Automatisierte Toolchain

Reglerentwicklung in MATLAB

- Regler-Code-Generierung aus Simulink
- Automatisierte Einbettung in bestehende **Software-Umgebung des Bordrechners**
- → Schnell und einfach zum Flugtest

Von der Theorie zum Flugexperiment

- · Sensoren, Antriebe, Schubeffekte
- Nichtlineare Modelle der Bewegung, Antriebe, Sensoren
- Reglerentwurf und Analyse





- Navigationsalgorithmen
- Simulation in Matlab/Simulink
- Echtzeitsystem, Bordsoftware und Entwicklungsprozess
- Testplan, Wettbewerb

Mit tatkräftiger und großzügiger Unterstützung von (infineon und MathWorks







Rupprecht-Gymnasium München

Naturwissenschaftlichtechnologisches und Sprachliches Gymnasium



Line Following Robot – Mindstorm EV3 by LEGO **Obstacle Avoidance Algorithm**

Mustafe Dobra

supoorted by Prof. Dr. Stephan Myschik, Universität der Bundeswehr

Introduction

An Obstacle Avoidance Algorithm has to be implemented into a Mindstorm EV3 by

The robot should bypass any obstacles it encounters on the black line it follows during its Line **Following Phase**

The robot is already modelled in Simulink

New Algorithm

Implementation in Stateflow

Problems of the Algorithm

too dependant on the front sensor

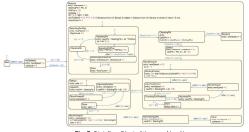
Bug2 with two Sensors in Stateflow

once it fails the whole algorithm fails

• has to be terminated when the obstacle is

very slow

too big



Potential Field - Algorithm [2]



Existing Algorithms

Bug1- Algorithm [1]

Fig. 1 : Bug1-Algorithm [1]

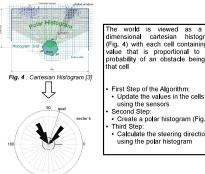
n artificial field created y the goal and obstacle xerts a force on the robot

Bug2- Algorithm [1]

Fig. 2 : Bug2-Algorithm [1]

Fig. 3 : Artificial Potential Field

Vector Field Histogram Method [3]

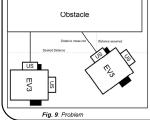


- world is viewed as a 2-nsional cartesian histogram uninensional cartesian histogra (Fig. 4) with each cell containing value that is proportional to t probability of an obstacle being that cell
- Create a polar histogram (Fig. 5)
 Third Step:
- Calculate the steering direction using the polar histogram

Problems of the Implementation

Fig. 8: Stateflow Chart of the Bug2 with two Sensors

Obstacle



The algorithm practically always fails because of the problem shown in figure 9

Bug2 with three Sensors in Stateflow

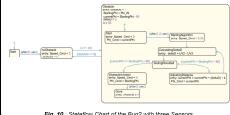


Fig. 10: Stateflow Chart of the Bug2 with three Sensors

Conclusion

- The project was succesful all in all •three algorithms have been
- implemented, of which two worked very
- Small problems concerning the accuracy of the sensors remain

Continuation of the Project

This algorithm will be used in a Jugend Forscht project:

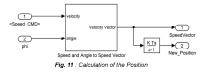


Jugend Forscht Project

by Lukas Berg, Mustafe Dobra, Ha-Na Yoo

The overall aim is to simulate a rescue scenario using the LEGO Mindstorm and Raspberry Pis

Robots will be placed in a room which they need to scan on their own in order to find a certain object



The Raspberry Pi needs to be able to communicate with the Mindstorm EV3:



The project will be complete in February 2019 and not everything done is shown here

Evaluation of the Algorithms

All of the algorithms would perform perfectly on this task

 \Rightarrow Bug2 is the best option, since it is the simplest

but it requires an extra sensor

ightsquigarrow a new algorithm has to be found

[1] Lumelsky VJ, Stepanov AA, 1990. Path-planning strategies for a point mobile automaton moving amidst unknown obstacles of arbitrary shape. In: Cox IJ, Wilfong GT, editors. Autonomous robot vehicles. New York (NY): Springer. p. 363–390. [2] Khatib O. 1986. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. The international journal of robotics research. 5(1):90–98. [3] Borenstein J, Korean Y, 1991. The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots. IEEE Transactions on robotics and automation. 7(3):278-288.







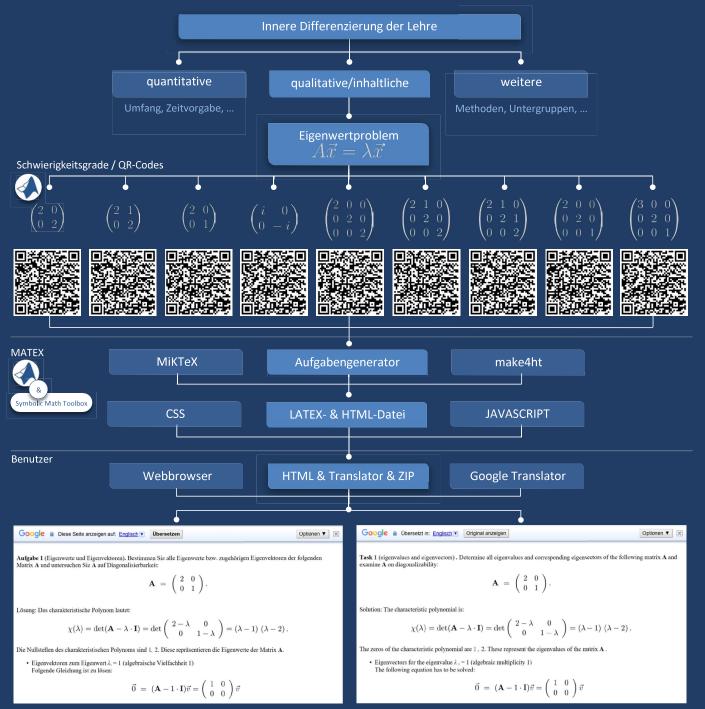
In collaboration with:

ÜBERSERTZUNG VON MATHEMATIKAUFGABEN AUF KNOPFDRUCK

Dipl. Inf. Achim Eichhorn, Prof. Dr. Andreas Helfrich-Schkarbanenko, Fakultät Grundlagen • MATLAB EXPO, 26. Juni 2018, MÜNCHEN

Die Wichtigkeit der Förderung von Mehrsprachigkeitskompetenz in Hochschulen ist weitgehend erkannt. International hat sich Englisch als akademische Lingua Franca, besonders im naturwissenschaftlichen Bereich, etabliert. Die Erstellung von entsprechenden/bilingualen Lehrunterlagen ist jedoch aufwendig. In diesem Beitrag demonstrieren wir am Beispiel der Hochschulmathematik ein Vorgehen, bei dem die Übersetzungsprozesse durch Digitalisierung automatisiert werden.

Der Ausgangspunkt ist eine Software MATEX, die mathematische Aufgaben sowie Lösungen in LaTeX-Format generiert. Durch ein entwickeltes Modul werden inhaltlich differenzierte Unterlagen für eine Sprachübersetzung vorbereitet und mittels des Online-Dienstes Google-Translator https://translate.google.com/ maschinell übersetzt. Durch die QR-Codes unten sind Sie eingeladen, das implementierte Modul angewandt auf Eigenwertprobleme zu testen.



Die mathematische Notation sowie die Fachbegriffe stellen eine Herausforderung für die maschinelle Übersetzung dar. Dies erfordert ein **Preprocessing** von LaTeX- bzw. HTML-Quelltexten der Lehrunterlagen. Mit resultierender **HTML**-Datei lassen sich die Aufgaben auch in andere Sprachen maschinell - jedoch nicht immer zufriedenstellend - übersetzen.

MATEX verfügt über eine praktische **Webschnittstelle** https://matex-online.de und wird in der **Lehre** seit WiSe 2016/17 für folgende Zwecke eingesetzt:

- Erstellen von Übungsblättern
- Live-Einsatz in den Veranstaltungen
- Konzeption von Klausuraufgaben

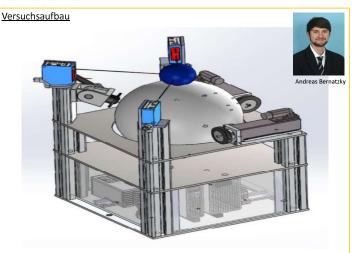
WWW.HS-ESSLINGEN.DE/

Demonstrationsversuch Ball auf Kugel



Labor für Regelungstechnik (Prof. Dr. Peter Zentgraf), Raum D 2.09 Ersteller: Andreas Bernatzky Betreuer: Peter Zentgraf

Stand: 06.05.18



Die Regelungsstrecke besteht aus einem Ball, welcher von einer großen Kugel und zwei Antriebsmotoren vom herunterrollen gehindert werden soll. Die Position des Balls wird über drei Laserabstandssensoren bestimmt. Durch die drei so erhaltenen Messpunkte und dem Durchmesser des Balls kann die Position dei Kugel bestimmt werden. Nach Erfassung der Position der Kugel und der Bildung einer Regeldifferenz wird vom Regelungsalgorithmus ein Stellsignal für die Motoren erzeugt. Diese verhindern ein wegrollen des Balls in x- bzw. in y-Richtung

Hardware

- Messeinheit: Drei Laserabstandssensoren 16-Bit
- Regelungseinheit: Beckhoff CPU, 2x EL71x1-0000, 2xEL4114

Stelleinheit: AM8112 Servomotor, Nenndrehmoment 0,36 Nm, Nennleistung 0,17 kW. In Kombination mit

.Versuchsaufbau: 3-D gedruckte Kugel mit einem Durchmesser von 210 mm. Das Prinzip der Kugelaufhängung entspricht der einer Computer-Kugelmaus

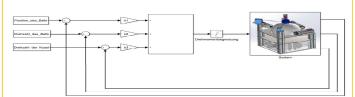
Software

Die Beckhoff CPU wurde in Visual Studio programmiert. Das Programm übernimmt die Aufgabe der Messwerterfassung und der Berechnung des Regelungsalgorithmus. Der Regelungsalgorithmus arbeitet mit einer Samplerate von 1000 Hz. Die Position der Kugel kann mit einer Auflösung von 12 Bit erfasst werden

Regelungskonzept

Bei der Regelung der Position eines Balls auf einer Kugel handelt es sich um eine Zustandsregelung, da diese eine weitreichende Kontrolle über die einzelnen Zustandsgrößen gewährt. Diese bestehen aus den Größen θ , θ' und χ' . Die Zustandsgrößen teilen sich hierbei folgendermaßen auf

- $\boldsymbol{\theta}\:$: Position des Balls A' · Drehzahl des Balls
- y' : Drehzahl der Kuge



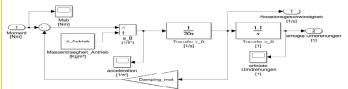
Modellbildung Motor

Das System kann als Verschaltung von dreierlei Zahnräder betrachtet werden

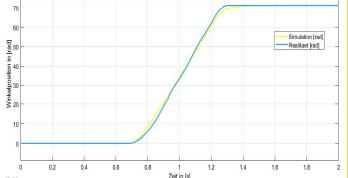
Die Zentrale Antriebseinheit ist hierbei der Stellmotor.

Das Drehzahlverhalten eines Elektromotors kann als IT1-Glied modelliert werden

Die Zeitkonstante stellt das Anlaufverhalten des Motors nach. Die Drehzahl des Antriebsmotors wird durch die Kugel auf den Ball untersetzt bzw. übersetzt

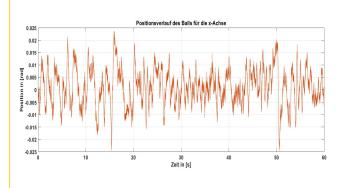


Vergleich Motorwinkel bei einem Sprung von 0.035 Nm

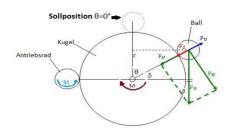


Positionsverlauf des Balls im geregelten Zustand

Vergleich Realität und Simulation



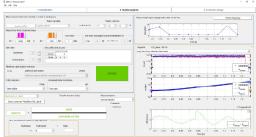
Modellierungsansatz Analytisch als White-Box-Modell



Modellierung eines analytischen Modells aus den physikalischen Gegebenheiten des Versuchsaufbaus.

Modellierungsansatz Experimentell als Black-Box-Modell

Modellierung des Modells aus Testdatensätzen. Modell wird hierzu mit einem Testsignal angeregt und die Systemantwort gemessen.



Ausblick

Es wird noch ein Modell in MATLAB Simscape™ erstellt. Bezüglich der Übereinstimmuing mit der Realität und unter Berücksichtigung des Aufwands sollen die einzelnen Simulationsergebnisse untereinander verglichen werden.

Demnächst soll die Beckhoff CPU nur noch als Target für MATLAB/Simulink fungieren und die Aufgabe einer Hardwareschnittstelle übernehmen.

Entwicklung eines Kugel-Rad Systems mit der Rapid- Prototype Methodik für die Lehre.

Jochen Theis, Günter Schmitz, Lukas Daimler, FH Aachen University of Applied Sciences

Einleitung und Motivation

In der Lehrveranstaltung "Mechatronic Systems Simulation", Pflichtfach Master Mechatronics, werden mechatronische Systeme aus unterschiedlichen Domänen simuliert, analysiert und auch an realen Experimenten die Ergebnisse überprüft und validiert.

Dazu wurde ein selbstbalancierendes Kugel- Rad System im Rahmen einer Bachelorarbeit entwickelt, welches nun in der Lehre im Bereich der Simulation mit der Rapid- Prototype Methodik verwendet wird.

Aufgabenbeschreibung

- Das dynamische Verhalten der Kugel wird simuliert und analysiert.
- Die Ist- Position der Kugel wird mit Hilfe eines Abstandssensors (Laser Triangulationsprinzip) erfasst.
- Die Raddrehzahl wird über einen Encoder bestimmt.
- Die Beschreibung der Regelstecke basiert auf CAD-Konstruktionsdaten.
- Der Regelalgorithmus wird als Kaskadenregelung umgesetzt.
- Der erstellte Regler wird mit der Quellcodegenerierung auf dem Controller implementiert, getestet und optimiert.



Abbildung 1: Kugel- Rad System mit Positionserfassung

Modellbildung und Simulation

- Die Systembeschreibung der Rades mit Antrieb und der Kugel erfolgt mit den CAD- Konstruktionsdaten, welche im STEP- Format (Standard for the Exchange of Product Model) direkt in Simscape Multibody verwendet werden.

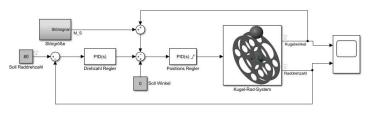


Abbildung 3: Kaskadenregelung

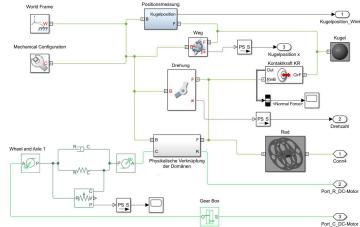


Abbildung 2: Systembeschreibung

Umsetzung

- Die Position der Kugel konnte mit der **Kaskadenregelung** in der Simulation und am realen System geregelt werden.
- Die Regelung wurde mit der **Control System Tuner App** in der Simulation optimiert und die Regelparameter konnten in die Echtzeitregelung direkt übernommen werden.
- Die benötigten Analogeingänge werden über den I²C Bus eingelesen sowie die Encoderdaten des DC- Motors mit einer MATLAB
 S-Function ausgewertet. So konnten die Arduino built in Funktionen verwendet werden.
- Der Quellcode für den Arduino Due wird aus Simulink mit dem Simulink Support Hardware Package für Arduino generiert.

Zusammenfassung

Mit Einsatz der durchgängigen Toolchain von MathWorks, ist es möglich, ein komplexes mechatronisches System domänenübergreifend in der Simulation nach einem Rapid- Prototype Ansatz zu entwickeln. Die daraus gewonnenen Parameter können direkt in den Echtzeit-Controller implementiert, sowie das System getestet werden. Letztendlich wird der theoretische Lerninhalt vertieft und die Motivation der Studierenden erhöht.









Bastian Beyfuss, M.Sc.

2 +43 (0)1 58801 -31547

bastian.beyfuss@ifa.tuwien.ac.at

http://www.ifa.tuwien.ac.at

Engine-in-the-Loop-Simulation

Bastian Bevfuss. M.Sc. Technische Universität Wien

Hybrid-Betriebsstrategieoptimierung durch Kopplung von Echtzeitlängsdynamiksimulation mit einem konventionellem Verbrennungsmotorprüfstand

Motivation

Die Betriebsstrategie (BS)-Entwicklung und -Optimierung von Hybridfahrzeugen (HEV) stellt aufgrund der hohen Anzahl an Freiheitsgraden höchste Anforderungen an Forschung und Entwicklung. Engine-in-the-Loop (EiL)-Simulation stellt ein effizientes Entwicklungswerkzeug für diesen

Aufbau und Besonderheiten von Hybridfahrzeugen

- Kombination von Verbrennungsmotor (VM) und Elektromotor (EM) in einem Antriebsstrang (Abb.1) Durch eine Trennkupplung (TK) sind folgende Betriebsmodi möglich:
- > E-Fahrt/Rekuperation (Bremsenergierückgewinnung)
- Verbrennungsmotorische Fahrt
- Kombination (Boost/Lastpunktverschiebung)

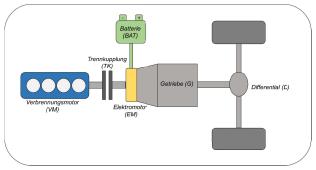


Abb. 1: Vereinfachter HEV-Aufbau

Hierdurch ergeben sich u.a. folgende Freiheitsgrade für den VM in HEV:

- Verschiebung des VM-Lastpunkts in effizientere Betriebsbereich VM-Starts mit erhöhten Startdrehzahlen während reiner E-Fahrt

Abbildung 2 zeigt ein typisches Wirkungsgradkennfeld eines Verbrennungsmotors

- Der effizienteste Bereich liegt bei mittleren Drehzahlen und mittleren bis hohen Lasten (rot markiert) Die Last des VM kann beim HEV bei gleichbleibender Drehzahl angehoben werden, um den VM-
- Wirkungsgrad zu erhöhen

Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen VM-Start während E-Fahr

- Die TK wird kurz geschlossen, um den VM anzudrehen
- Sobald der VM sich selbst beschleunigen kann, wird die TK wieder geöffnet und schleifend gestellt. Hierdurch wird der VM schneller auf Zieldrehzahl beschleunigt
- ➤ Bei Zieldrehzahl wird die TK wieder geschlossen und kombinierter Betrieb ist möglich

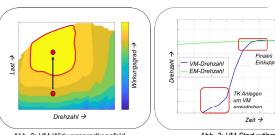


Abb. 2: VM-Wirkungsgradkennfeld

Abb. 3: VM-Start während E-Fahrt

Basisstruktur EiL-Simulation

Im Gegensatz zum reinen Abfahren vorher simulierter Ergebnisse (VM-Solldrehzahlen und -momente) wird bei EiL-Simulation die Längsdynamik in Echtzeit während dem eigentlichen Prüflauf simuliert.

- Unterart von Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulation VM und Motorsteuergerät (MSG) sind vorhanden
- Längsdynamik und Betriebsstrategie werden in Echtzeitsimulation ausgelagert

Die Steuerung der Prüfstand-Belastungsmaschine (Dyno) wird ebenfalls in die Echtzeitsimulation ausgelagert. Dies ist für die korrekte Steuerung nötig: Während des Starts muss der Dyno das berechnete Kupplungsmoment drehmoment-geregelt auf den VM

übertragen. Bei Erreichen der Zieldrehzahl und simulierter geschlossener Kupplung muss der Dyno drehzahlgeregelt betrieben werden

Abbildung 4 zeigt die grundlegende Struktur einer EiL-Simulation

Vorteile der EiL-Simulation

- Kein Gesamtfahrzeug nötig
- VM-Untersuchungen in frühem Entwicklungsstatus möglich
 Prüfstands-Medienkonditionierung ermöglicht einfach Kaltstartuntersuchungen und Temperaturvariationen
 Komplexe VM-Modellierung in der Simulation entfällt

 Verhalten und Emissionen sind immer korrekt
- Messgrößen können in das Simulationsmodell eingebunden werden und in der BS berücksichtigt werden Im Gegensatz zu Antriebsstrangprüfständen mehr Freiheitsgrade durch Auslagerung der BS in die
- Simulation (siehe Abb. 4)

 Momentengeregelte VM-Starts darstellbar

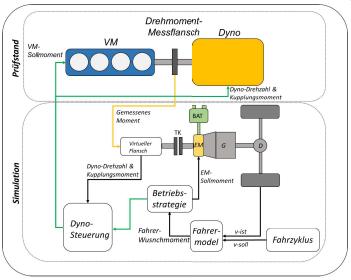


Abb. 4: Basisstruktur einer Fil -Simulation

Herausforderungen der EiL-Simulation

- Echtzeitsimulation kann Einschränkungen der Genauigkeit bedeuten
 Einschränkungen durch vereinfachte Annahmen, z.B. das Fahrermodell, sind möglich
- Großer Aufwand für die Abbildung und Verteilung aller nötigen Funktionen auf Steuergeräte, Restbussimulation, Längsdynamiksimulation und Prüfstandsregelung

MATLAB/Simulink bietet für diesen Anwendungsfall den großen Vorteil, dass diese Probleme bereits vor der

- MAI LAB/SIMULIIM, bletet für diesen Antwendungstall den großen Vorteil, dass diese Probleme bereits vor der eigentlichen Eil-Simulation am Prüfstand gelöst werden können:

 Abbildung und Optimierung des Motorstarts mit allen Prüfstandsträgheiten mithilfe Simulink Design Optimization (Ermittlung aller Trägheiten sowie des nötigen Dyno-Stellmoments)

 Entwicklung aller nötigen Steuergerätefunktionen und Betriebsstrategie mithilfe des Längsdynamikmodells in

Steuerung des EiL-Prüfstands mit MATLAB/Simulink

Für die synchrone Steuerung von Dyno (über Prüfstandsregelung *Tomado® by K&S Engineers*), VM und den Zugriff auf Applikationswerkzeuge wird das *Simulink*-Modell in *ETAS®/LABCAR®* eingebunden. Durch eine ASAP3-Schnittstelle ist der direkte Zugriff auf das MSG via *ETAS®/Inca®* möglich. Abbildung 5 zeigt die Software-Kopplung des gesamten EiL-Systems.

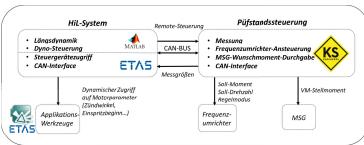


Abb. 5: Software-Kopplung des EiL-Systems

Ergebnisse und weitere geplante Untersuchungen

Das entwickelte EiL-System stellt eine Vielzahl von Freiheitsgraden zur Verfügung. Dyno und VM können zuverlässig gesteuert werden und ein dynamischer Zugriff auf das Motorsteuergerät ist möglich. Realitätsnahe Verbrennungsmotorstarts können ebenfalls dargestellt werden. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse einer EiL-

Zukünftig soll das Längsdynamikmodell um ein Thermalmodell des Kühlkreislaufs und der Fahrerkabine mithilfe Simscape erweitert werden. Hiermit kann der Gesamtwirkungsgrad des HEV-Systems optimiert werden, da die Nutzung der VM-Abwärme miteinbezogen werden kann.

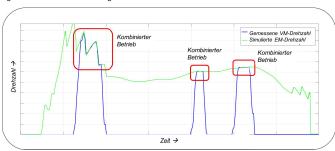


Abb. 6: Ergebnisse der EiL-Simulation

Aufbau und Inbetriebnahme eines Einzylinder Forschungsmotors

Prof. Dr.-Ing. Oliver Böcker, M.Eng. Malte Kahmann, B.Eng. Joachim Keppler, M.Eng. Augusto Molano **Hochschule Emden/Leer Abteilung Maschinenbau**

oliver.boecker@hs-emden-leer.de, malte.kahmann@stud.hs-emden-leer.de, joachim.keppler@stud.hs-emden-leer.de, augusto.molano@stud.hs-emden-leer.de

Technische Aufgabenstellung

Im Kraft- und Arbeitsmaschinenlabor der Hochschule Emden-Leer wird ein 1-Zylinder Modular Motor für die Lehre im Modul Kolbenmaschinen eingesetzt. Hierbei wird für zwei Systeme SIMULINK eingesetzt:

- Messdatenerfassung und Verarbeitung
- Motorsteuerung

Der Aufbau des Prüfstands und der beiden SIMULINK-Systeme erfolgte durch Projekte im Masterstudiengang Maschinenbau und durch Masterarbeiten.

SIMULINK bietet den Vorteil, dass Studierende die grundlegenden Motorparameter vollkommen unabhängig und flexibel einstellen können.

Prüfstandaufbau



Schleppmotor, Kraftstoffversorgung, Schaltschrank, Öl-Kühlwasser Versorgung und Steuerungs-Messsystem sind Komponenten vom Prüfstand.

Der Motor bietet Flexibilität bei der Verstellung von konstruktiven Parameter, wie die Steuerzeiten und das Verdichtungsverhältnis. Zylinderkopf, Kolben und Pleuel sind Serienteile.

Abbildung I. Forschungsmotor ECC mit Elektromotor und Kraftstoffwaage

Bohrung x Hub	Hubraum	Verdichtung	Bauform
85,0 x 88 mm	499 cc	10,8:1	1-Zylinder

Motorsteuerung ECC - M010

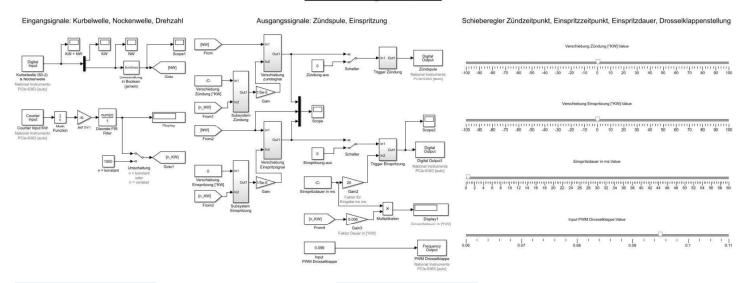


Abbildung II. Block Diagramm Motorsteuerung

Messtechnik

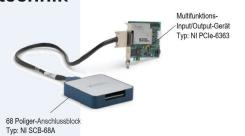


Abbildung III. National Instruments Datenerfassungsmodul

Motorsteuerung

- Der Prüfstand wird durch ein mechatronisches System gesteuert, das manuell über eine Simulink Schnittstelle vom Bediener geregelt ist. Die Eingangsgrößen für die Ablaufsteuerung werden aus den Signalen von Sensoren und Sollwertgebern abgeleitet.
- Die Motorsteuerung verwendet Simulink- Real Time.
- Gesteuert werden: Zündzeitpunkt, Einspritztiming- und Dauer, Öffnungswinkel der Drosselklappe.
- Das Multifunktions-Datenerfassungsmodul verfügt über 32 analoge Eingänge, 4 analoge Ausgänge und 48 digitale Ein-/Ausgänge.
- Das Messsystem zur Messung verschiedener Parameter wie Druck, Temperatur, Drehzahl und Drehmoment wurde parallel aufgebaut.





Interpreter of MATLAB/Simulink MAT-Output Files for Hochschule Rosenheim use as Stimulus for Verilog Simulations with Cadence NCSim

T. Klotz, M. Versen

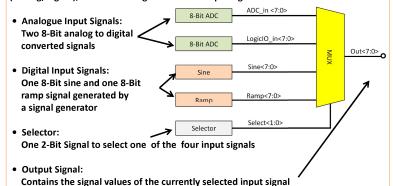
University of Applied Sciences Rosenheim, Rosenheim, Germany

Abstract

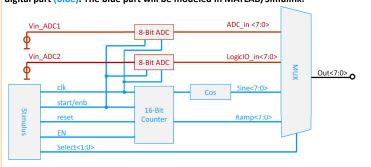
- The aim of the master project is to implement a multiplexer with four input signals, two analog and two digital generated signals in Cadence Virtuoso.
- To generate the digital signal components (multiplexer, signal generator),
 a MATLAB/Simulink model is created.
- The behavior of the MATLAB/Simulink models is converted to Verilog code with the HDL Coder™.
- An interpreter converts the signal states of the model written to a .mat file to a Verilog stimulus block.
- The stimulus block, the generated Verilog code and the analog part are implemented in Cadence and simulated with NCSim.

<u>Introduction</u>

The project's objective is to develop a multiplexer with four different input signals (analog/digital), one selector signal and one output signal:



The multiplexer schematic can be divided into two parts, an analog part (red) and a digital part (blue). The blue part will be modeled in MATLAB/Simulink.

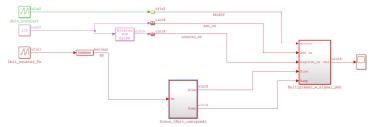


Design Steps

- MATLAB/Simulink model of the 8-Bit Multiplexer and its two digital input signals (sine/ramp) and two dummy signals for the analog to digital converted signals
- Creation of Verilog-Code regarding to the corresponding digital blocks (multiplexer, sine and ramp) with the HDL Coder™.
- Creation of a stimulus with the help of an interpreter
- Import of Verilog files and simulation in Cadence NCSim

MATLAB/Simulink model

The block diagram of the multiplexer is implemented in Simulink with dummy values for the analog signals and a signal generator creates the digital signal values.



Verilog Code generation with HDL Coder™

The HDL workflow advisor is used to describe the multiplexer and the signal generator (Sinus_16bit_unsigned1, Cos) with Verilog.



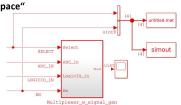
Interpreter of MAT-Output Files for use as Stimulus

In the MATLAB/Simulink model,

a "Bus Creator", a "To File" and a "To Workspace"

element is inserted and connected to the input signal lines.

A Bus Creator block merge a set of single signals to a bus (Select, EN). To File and To Workspace the signal values with time stamps are written as vectors in a .mat file or to the MATLAB workspace.



The tapped/recorded signal values are written in vectors with a time stamp and the respective signal value.

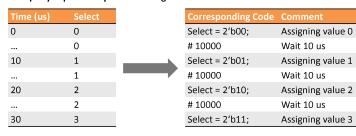


The three steps to interpret the .mat Files to use it as Stimulus for Verilog:

1st: Check the bit length of the target signals

- Select <1:0> has a bit length of 2 for the Multiplexer states "00" (ADC1), "01" (ADC2), "02" (Sine) and "03" (Ramp)
- EN has only 1 Bit to activate the 16-Bit counter
- (The dummy signal ADC_in has length of 8 Bit)

2nd: Convert the .mat values to the Verilog syntax Exemplary explained by the Select signal



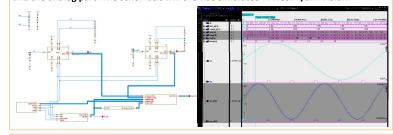
3rd: Insert the scheme in Verilog Stimuli/Testbench frame Exemplary explained by the Select signal

```
module digital_stimulus_Select (Select);
output [1:0] Select;
reg [1:0] Select;

initial
begin
Select = 2'b00; // Select Port 0
#10000 Select = 2'b01; //After 10 us select Port 1
#10000 Select = 2'b10; //After 10 us select Port 2
#10000 Select = 2'b11; //After 10 us select Port 3
end
endmodule
```

Import of Verilog for circuit design and Simulation in NCSim

The Verilog files are imported into Cadence. A schematic is designed from the digital and the analog part. The schematic will then be simulated in NCSim/SimVision.

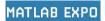


<u>Summary</u>

- Multiplexer with four different input signals (analog/digital) is successfully implemented in Cadence.
- Interpreter of MATLAB/Simulink MAT-Output Files has been defined.

References

[1] MathWorks: Documentation Bus Creator





Effect of Power Grid Models in the Judgement of Grid Connected Inverters

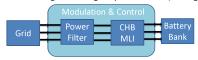
Taha Lahlou, Muhammad Anique Aslam, Hans-Georg Herzog Technical University of Munich (TUM), Institute of Energy Conversion Technology, Munich, Germany

Abstract

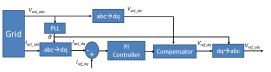
The interaction of a grid connected inverter with different power grid models is discussed. Grid models are developed keeping in view the ideal and real grid scenarios. The behavior of the grid models in connection with the grid connected inverter is investigated using the total harmonic distortion and harmonic spectrum of the grid voltages and currents. All simulations are made using Simulink Simscape library.

-Introduction

A grid connected inverter is an essential part of renewable energy sources and their storage systems which are becoming more and more important in the world's energy market. [1] The system under discussion consists of a battery energy storage based cascaded H-bridge multilevel inverter (CHB MLI) connected to the grid through a power filter (see figure 1).



Vector oriented control is used to synchronize the reference frame with the grid phasor by a phase locked loop (PLL). In this way, V_d becomes constant and $V_q = 0$ resulting in decoupled control of active ($P = 1.5 V_d I_d$) and reactive ($Q = -1.5 V_d I_q$) powers. The modulation scheme generates the switching signals according to the reference voltage thus produced (see figure 2). [2, 3]



The question how a grid connected inverter is affected under different grid scenarios is investigated by developing power grid models and determining their total harmonic distortion (THD) and harmonic spectrums.

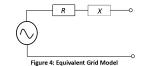
Grid Models

Power grid means a source of prescribed electrical power with defined characteristics (e.g. voltage, frequency, short circuit power etc.). Following power grid models are used.

1. Ideal Grid Model

This model consists of an ideal three phase voltage source with no internal resistance and reactance (see figure 3).





2. Equivalent Grid Model

This model consists of an ideal three phase voltage source in series with a resistance and a reactance per phase (see figure 4). This model represents a real power grid with a given reactance to resistance ratio (X/R) and short circuit power (S_{sc}) . So, a real power grid can be transformed to this equivalent grid model using the following equations. [3]

$$X = \frac{V_{LL}^2}{S}, R = \frac{X}{Y/R}$$

Depending on the values of X/R and $S_{\rm sc}$, a grid is defined as weak or strong grid. A strong grid has higher X/R and S_{sc} than a weak grid (see table 1). Different utilities have different definitions for weak and strong grids. [4]

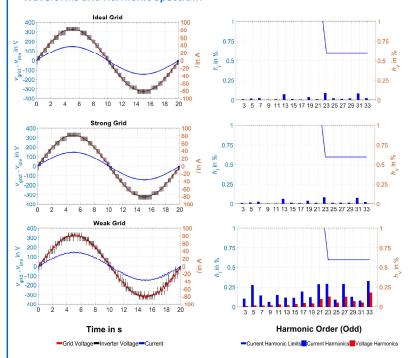
Simulations & Results

System Parameters

Table 1: Parameters Used for System Simulations

Grid Parameters		CHB MLI		Battery Bank	
Line to Line Voltage	400 V	No. of Voltage Levels	17	Battery Type	Li-ion
Grid frequency	50 Hz	PWM Used	Phase Shifted PWM	Nominal Voltage	40 V
X/R (Strong Grid)	2.6	Rated Power	17.5 kVA	Rated Capacity	42 Ah
S _{sc} (Strong Grid)	100 MVA	Switching Frequency	8 kHz	SoC	50 %
X/R (Weak Grid)	2	Filter Resistance	100 mΩ	Response Time	30 s
S.c. (Weak Grid)	1 MVA	Filter Inductance [5]	0.98 mH		

Waveforms and Harmonic Spectrum



Note: Harmonic magnitudes are in percentage of the fundamental. Harmonic limits for currents are 4% for $3^{rd}-9^{th}$, 2% for $11^{th}-15^{th}$, 1.5% for $17^{th}-21^{st}$, and 0.6% for $23^{rd}-33^{rd}$ harmonics. For a system of < 1000 V, individual voltage harmonic limit is 5%. [6]

Total Harmonic Distortion

Table 2: THD for Grid Voltage and Current

	Voltage THD (%)	Current THD (%)
Limit at Rated Power [7, 8]	5	5
Ideal Grid	0	0.85
Strong Grid	0.031	0.87
Weak Grid	3.372	2.725

Conclusions & Future Work

Ideal grid provides constant three phase voltage. So, its voltage profile has no harmonics and current profile has lowest harmonics as compared to the other two grid models. Strong grid has relatively stiff voltage and its THD and harmonic profile approach towards the ideal grid. The weak grid is more affected due to large voltage fluctuations and its lower X/R and S_{sc} . In future, this work can be extended to grid models based on synchronous machines, inverters or their combinations. The control technique can be improved for better response under different grid scenarios.

- 1109/FEP. 2017.7967312U
 A. Schwanka Trevkan, Å. Mendonça, M. Fischer, S. Adloff, S. Nikolai and A. El-Delb, "Process and tools for optimising wind power projects connected to weak grids," in IET Renewable Power Generation, vol. 12, no. 5, pp. 539-546, 49 2018. doi: 10.1049/net-pg.2017.0440
 T. Lallou, M. Abdelrahem, S. Naldes and H. G. Herzog, "Filter design for grid-connected multilevel CHB inverter for battery energy storage systems," 2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), Anacapri, 2016, pp. 831-836. doi: 10.109/SPEEDAM 10.1757.5972

 IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems Redline," in IEEE Std 513-014. [Revision of IEEE std 519-01992] Redline, pp. 1-213, June 11 2014

 I. Tirnits, Grid Converters for Stationary Battery Energy Storage Systems. PhD thesis. Aalborg University, 2011, (Visited on 8/05/2018)

 IEEE Recommended Practice and Requirements for Stationary Battery Energy Storage Systems. PhD thesis. Aalborg University, 2011, (Visited on 8/05/2018)

 IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. Piscatoway, NJ, USA, 2033. doi: 10.1109/IEEESTD.2003.94285. (Visited on 8/05/2016)

Reducing the Number of Data Points for Printing and Fast Compilation with LaTeX



Andreas W. Ebentheuer, Julian Taube, Markus Herzog, Hans-Georg Herzog Technical University of Munich (TUM), Institute of Energy Conversion Technology, Munich, Germany

Abstract

The subject of this poster addresses the data reduction to only visible points by keeping the shape and important aspects of figures and plots. This solves the problem of handling the data created by simulations or measurements in presentations and writing publications for conference or other formats.

-Idea and Concept of redTikz

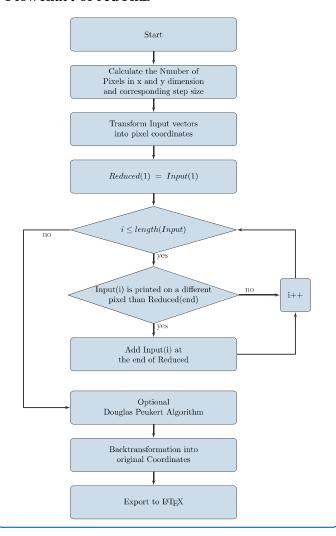
In science and research every measurement and simulation creates an abundance of data to handle—often in the range of many thousands data points. Results have to be presented on conferences or in publications requiring plots of the data. The tools used for presentation or writing the publication often run unstable or have memory issues if the data is used unreduced. Because screens and prints have a limited resolution there is no need to print a figure with thousands of data points. Using down sampled data requires less memory creating the identical print results.

The proposed redTikz tool uses this fact and reduces the data with the following steps:

- define the final print and screen dimensions of a figure
- reduce the data points to only "visible pixel points"
- Use reduced data in documentation and presentation tools like LaTeX, Tikz, PGF or other tools.

To note, the reduced data is only meant for printing and presentation and no longer usable for a critical discussion of measurement and simulation results, because relevant points might no longer be present.

Flowchart of redTikz



Example of the application of redTikz

Figure 1 shows an example use case of redTikz. A signal with 200.000 data points is plotted. With redTikz only 10.000 data points are necessary to display the same signal but with reduced memory size. There is only a difference when zooming in recognizably. In the direct comparison of the shown signals no difference is visible for the eye.

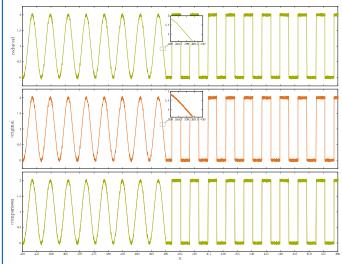


Figure 1: Comparison of original and reduced data points using redTikz

Comparison with other available tools

When checking the mathworks File Exchange website six other algorithms or tools are interesting and treat a similar problem. But the deeper goals of all the tools are still different, so only a vague comparison is made and shown in table 1. Some of the tools are executed on the fly when a Matlab Figure is zoomed or scrolled. A downsampling of the data happens in every tool, but when looking at the size of the reduced data, there are still differences. And at last only the matfig2pgfdata and the red-Tikz tool bring the functionality of exporting the reduced data with them.

Table 1: Comparison of different downsampling tools

feature	DSPlot	jplot	Plot (Big)	Matfig2- pgfdata	plot-ecg	plotBig- Matlab	redTikz
execution on the fly	√	√	√	✓	√	√	×
downsampling	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark
export of data	×	×	×	✓	×	×	√
compatibilty to all waveforms	x	✓	✓	✓	✓	x	✓
Plot with 800.000 data points printed 12 x 6 cm with 300 dpi	N.A.	133334	868	524125	2832	2000	642

-Conclusion

The poster presents a solution of handling huge simulation and measurement data for printing and presentation in plots by only using those points that create an identical print output. The example and comparison shows, that the redTikz tool handles the task. Different approaches are available in the MATLAB File Exchange program but none of them handles the task with the same goal as the redTikz tool. A GUI for the tool will be implemented next and the algorithm will be adjusted to handle multiple plots in a single figure.



NullAG

A MATLAB-based approach to Time-Frequency and Gabor Analysis www.nuhag.eu

Hans G. Feichtinger (University of Vienna/TUM)

Spectrogram and GABOR ANALYSIS

Cabor Analysis is the branch of Time-Frequency Analysis (TFA) which works with series expansions of signals, using time-frequency shifts of a so-called Gabor atom (typically a Gaussian function) along some lattice in the ITF-plane. The key problem is the fact that one cannot have any orthonormal basis of Gaborian type with well-localized and smooth atoms (such as a Gaussian function).

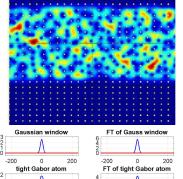
NullAG (the Numerical Harmonic Analysis Group, Univ. Vienna) has a long-standing tradition in theoretical and numerical (MATLAB based) research in this area. This work involves efficient algorithms to

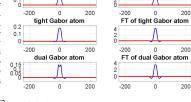
expand a given signal in a good way, or the approximation of matrices by Gabor multipliers. The inherent non-orthogonality and built in (unavoidable) redundancy of such Gaborian systems (Gabor frames) requires

non-string grain y and built in (intaconator) required any of such Gaborian systems (Caroti Hames) requires to deal with alternative methods, such as the pseudo-inverse. Fortunately the structure of a regular Gotor frame allows some computational simplifications. Such systems are formed by applying to a single Gabor atom g all TF-shifts from a fixed lattice Λ (typically of the form $\Lambda = a\mathbb{Z} \times b\mathbb{Z}$, for a pair (a,b) of positive lattice constants. Thus the set of generators is of the form $(\pi(\lambda)g)_{\lambda \in \Lambda}$, where for any given $\lambda = (t,\omega)$ the corresponding unitary matrix describes a time-frequency shift, with first a cyclic shift in the time direction by t samples, followed by a frequency shift by the amount ω (change of pitch in an audio sense).

The picture to the right shows the spectrogram of some band-limited, complex-valued (random) signal. The horizontal axis describes time, the vertical axis describes frequency (with zero in the center). The yellow dots describe the sampling points for a lattice. The window used was a discrete Gaussian. The signal length is n=480, the lattice constants are a=20 in the time and b=16 in the frequency direction. Hence the lattice has 720=red*480 points, where red=n/(a*b)=3/2 is. In other words we have to reconstruct from 50% more samples than the signal dimension would require as a minimal. On the other hand these samples come in a very structured way (an the same should be true for reconstruction).

The plots to the right show (in a centered fashion) the three typical windows used in Gabor analysis (in the left column) and their respective Fourier transforms (right column). It starts with the Gabor atom g, a discrete, finite Gaussian in this case, which is obviously invariant under the (unitary variant) if DFT, and the dual Gabor atom, usually denoted by \widetilde{g} , in the last row. It is the window with smallest norm among all possible dual windows. The second row represents the tight Gabor window for the given lattice. Let us call that window h, then one has for $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^n$:





 $\sum \langle \mathbf{x}, \pi(\lambda) h \rangle \pi(\lambda) h.$

$$\mathbf{x} = \sum_{\lambda \in \Lambda} \langle \mathbf{x}, \pi(\lambda) g \rangle \pi(\lambda) \widetilde{g} = \sum_{\lambda \in \Lambda} \langle \mathbf{x}, \pi(\lambda) \widetilde{g} \rangle \pi(\lambda) g.$$

Typical Applications of Gabor Analyis

Gabor Analysis is one of the central topics of Time-Frequency Analysis. It is closely related to the sampling problem for the Short-time Fourier Transform or sliding-window Fourier transform (which is also in the background of the MP3 compression). Given a window (which might be a smooth, plateau-like function or a stretched Gaussian function, for example) and a sampling lattice, Gabor analysis provides tools to recover

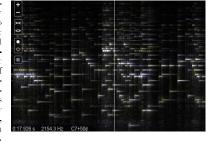
in a simple way the signal from the sampled STFT.

Both theoretical estimates and numerical simulations (e.g. using a toolbox developed in the NuHAG group over many years, or the LTFAT MATLAB toolbox hosted nowadays at ARI, OEAW, both in Vienna) over many years, or the LIFAT MATLAB toolook hosted howacays at Ard, OFAW, both in Vermissingerst that one has to find a balance between reasonable bow redutandancy and numerical stability of the recovery process and overall good TF-locality of the recovery process. We will demonstrate how MATLAB simulations help to find the best match between a given window (e.g. a generalized Gaussian, which may have an elliptic concentration in the TF-plane) and the sampling lattice, typically via good covering properties. The results of these simulations provide guide practical guidelines, but also encourage further theoretical studies and suggest possible claims about the structure of general Gabor frames.

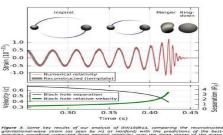
Let us finally comment that a derivative of Gabor Analysis are the so-called Wilson bases, which have becaused in the signal analysis near of the detection of contributions ways. The LICO team has obstained

en used in the signal analysis part of the detection of gravitational waves. The LIGO team has obtained the Physics Nobel Prize in 2017. Another new application is the so-called Gaborator, which allows to view spectrograms and even upload private WAV-files. It is based on similar ideas, adapted to audio signals and human hearing. The underlying theory has been also derived by the ARI team. Source: (ADC17): Andreas Gustavson, TALK https://www.youtube.com/watch?v=CNJVJEmFiuE

The so-called Gaborator showed up in November 2017. It has been desigend by Andreas Gustavson on the basis of two publications, mostly done by my former students N. Holighaus, G. Velasco and M. Dörfler, working at ARI (OEAW, Vienna), who developed design methods for invertible filter banks, providing a lot of freedome to the audio engineer. Compared to traditional approaches, using either wavelets or regular Gabor expansions the generalized spectrograms obtained by their method is sharper and more lucid, but still allows to execute operations, even time-stretching, of the underlying signals.



October 3rd, 2017, the Nobel Prize in Physics was awarded to three physicists who have been key figure for the LIGO Experiment which led in September 2016 to the detection of Gravitational Waves as prodicted 100 years ago by Albert Éinstein! The Prize-Winners are Rainer Weiss, Barry Barish und Kip Thorne. They have supplied the key ideas to the so-called LIGO experiment which has meanwhile 4-times verified the existence of Gravitational waves by means of a huge laser-inferometric se



Algorithmic Challenges 3

It is considered one of the main tasks of Gabor analysis to it actually compute the dual Gabor atoms for a given lattice Λ and a given Gobor atom g. Fortunately theoretical considerations imply that the so-called canoncical dual Gabor atom \tilde{g} can be obtained by solving the positive definite enough to solve the positive

definite equation by e.g. using the conjugate gradients method: $S_{g,A}\tilde{g}=g$. Although nowadays there is a wide variety of algorithms allowing the computation of the dual Gabor window, the determination of the (minimal norm) coefficients with respect to a given Gabor family (g, Λ) using the dual atom, or the tight atom, mostly in order to define Gabor multipliers there is still a lot to be done.

One of the earliest publications (Daubechies/Grossmann/Mever) from 1986 describes the case of painless expansion. This is restricted to the very practical case of a window of finite length, where each local DFT taken allows reconstruction of the current segment of the signal. In this case the dual window is obtained by pointwise multiplication with some smooth, non-zero function. Hence it has equal support and smoothness,

and by even choosing the shape one can get tight Gobor families, i.e. Gabor families with $\tilde{g}=g$. Gabor families of redundancy 2 are also very interesting because they allow to construct so-called orthonormal Wilson bases. Wilson bases can be used to characterize the so-called modulation spaces, but discrete Wilson bases are an interesting alternative to local Fourier bases.

Using function space methods one can show that for any "nice Gabor atom" (i.e. smooth and well decaying function g) one can show that for any sufficiently fine lattice, i.e. for pairs of lattice constants (a, b) which are both small enough, it can be guaranteed that the corresponding Gabor family is a (stable) frame, that

the dual Gabor atom is of good quality, and depends continuously on the lattice constants.

This observation provides a number of opportunities to find ways to compute, in a constructively realizable manner approximate dual windows, e.g. based on the double preconditioning method, or using the biorthogonality characterization (making use of the $\mathit{adjoint\ lattice}).$

MATLAB based Experimental work (in the frame-work of the EU-project UnlocX) has lead to the insight, that there is an optimal match between window characteristics and the lattice used. Among others we have developed methods to compute (for a given signal length n) a complete list of all lattices of a given

redundancy. HE REFER BELOW ARE GIVEN IN CHRONOLOGICAL ORDER

References

- I. Daubechies, A. Grossmann, and Y. Meyer. Painless nonorthogonal expansions. J. Math. Phys., 27(5):1271-1283, May 1986.
- 2. H. Bölcskei, K. Gröchenig, F. Hlawatsch, and H. G. Feichtinger. Oversampled Wilson expansions. IEEE Signal Proc. Letters, 4(4):106-108, 1997.
- 3. H. G. Feichtinger and T. Strohmer. Gabor Analysis and Algorithms. Theory and Applications. Birkhäuser, Boston, 1998.
- K. Gröchenig. Foundations of Time-Frequency Analysis. Birkhäuser, Boston, 2001.
- 5. H. G. Feichtinger and T. Strohmer. Advances in Gabor Analysis. Birkhäuser, 2003.
- H. G. Feichtinger and N. Kaiblinger. Varying the time-frequency lattice of Gabor frames. Trans. Amer. Math. Soc., 356(5):2001–2023, 2004.
- N. Kaiblinger, Approximation of the Fourier transform and the dual Gaber window. J. Fourier Anal. Appl., 11(1):25-42, 2005.
- 8. P. Balazs, H. G. Feichtinger, M. Hampejs, and G. Kracher. Double preconditioning for Gabor frames. IEEE Trans. Signal Process., 54(12):4597-4610, December 2006.
- 9. G. A. Velasco, N. Holighaus, M. Dörfler, and T. Grill. Constructing an invertible constant-Q transform with non-stationary Gabor frames. Proceedings of DAFX11, 2011.
- 10. N. Holighaus, M. Dörfler, G. A. Velasco, and T. Grill. A framework for invertible, real-time constant-Q transforms. IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process., 21(4):775 -785, 2013.
- 11. Z. Prusa, P. Sondergaard, P. Balazs, and N. Holighaus. LTFAT: A Matlab/Octave toolbox for sound processing, In Proc. 10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research

emgr - EMpirical GRamian Framework (Version 5.4)

Christian Himpe (0000-0003-2194-6754)¹

¹Max Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems, Computational Methods in Systems and Control Theory

emgr for (Nonlinear) Input-Output Systems

In system theory and control engineering, the system Gramian matrices of linear input-output systems encoding controllability, observability and minimality, have wide-spread use, for example in: Model reduction or uncertainty quantification. Empirical Gramian matrices correspond to the linear system Gramians, but extend to parametric and nonlinear systems due to their data-driven computation.

The empirical Gramian framework - emgr - is an open-source toolbox, compatible with MathWorks MATLAB and GNU Octave, which enables the computation of various empirical system Gramians.

Features

- Modular: Interfaces for Solver, inner product kernels & distributed memory computing.
- Configurable: Algorithmic variants selectable via flags.
- Universal: Non-Symmetric option for all cross Gramians
- Fast: Vectorized and (parfor) parallelizable.
- Free: Open-source licensed.
- Modern: Functional paradigm design.
- Compact: Less than 500 lines of code in a single file.

Empirical Gramians

- Empirical controllability Gramian W_G
- Empirical observability Gramian Wo
- Empirical cross Gramian Wy
- Empirical linear cross Gramian W_Y (accelerated variant for linear systems)
- Empirical sensitivity Gramian $W_{\rm S}$ (controllability of state and parameters) Empirical identifiability Gramian $W_{\rm I}$ (observability of state and parameters)
- Empirical joint Gramian W_i (observability of parameters and minimality of state)

Input-Output Systems

(Possibly Nonlinear) Input-Output System:

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u(t), \theta)$$

$$y(t) = g(t, x(t), u(t), \theta)$$

- Input: $u : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^M$
- State: $x : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^N$
- Output: $y : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^Q$
- $\label{eq:theory:equation:equation:equation} \begin{array}{l} \bullet \ \ \text{Parameter: } \theta \in \mathbb{R}^P \\ \bullet \ \ \text{Vector Field: } f : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^M \times \mathbb{R}^P \to \mathbb{R}^N \\ \bullet \ \ \text{Output Functional: } g : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^M \times \mathbb{R}^P \to \mathbb{R}^Q \end{array}$

Model Order Reduction

How to obtain a reduced order model that preserves the input-output behavior of the full order model?

State-Space Reduction:

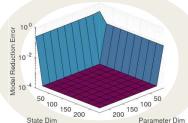
1. Compute empirical Gramians:

- Empirical controllability Gramian (Proper Orthogonal Decomposition),
 Empirical controllability and observe hits Complex (Complex Complex Comp Empirical controllability and observability Gramian (Balanced Truncation).
- Empirical cross Gramian (Approximate Balancing / Direct Truncation).
 Determine sorting projections.
- 3. Truncate projections.4. Apply truncated projections:

$$\dot{x}_r(t) = V^{\mathsf{T}} f(t, \bar{x} + U x_r(t), u(t), \theta)$$

$$\bar{y}(t) = g(t, \bar{x} + U x_r(t), u(t), \theta)$$

- Steady-State: $\bar{x} \in \mathbb{R}^N$
- Projections: $U, V \in \mathbb{R}^{N \times n}, V^{\mathsf{T}}U = \mathbb{1}$
- Reduced State Dim.: $n \ll N$ Reduced State: $x_r(t) := V^{\mathsf{T}}(x(t) \bar{x})$



Reducibility of a nonlinear hyperbolic network model.

Combined State and Parameter Reduction

- 1. Compute empirical Gramians:
 - Empirical sensitivity and observability Gramian (Controllability-based), Empirical controllability and identifiability Gramian (Observability-based),

 - Empirical joint Gramian (Minimality-based).
 Determine state and parameter projection.
- 3. Truncate projections.4. Apply truncated projections:

$$\dot{x}_r(t) = V^{\top} f(t, \bar{x} + U x_r(t), u(t), \bar{\theta} + \Pi \theta_r)$$

$$\tilde{y}(t) = g(t, \bar{x} + U x_r(t), u(t), \bar{\theta} + \Pi \theta_r)$$

- Nominal Parameter: $\bar{\theta} \in \mathbb{R}^P$ • Projections: $\Pi, \Lambda \in \mathbb{R}^{P \times p}, \Lambda^{\mathsf{T}}\Pi = \mathbb{1}$ • Reduced Param. Dim.: $p \ll P$ • Reduced Parameter: $\theta_r := \Lambda^T (\theta - \bar{\theta})$

System Indices

How to quantify system properties with Gramians?

- Hankel Singular Values
- System Gain
- System EntropySystem Symmetry
- Nyquist Enclosed Area
- Robustness Index
- Cauchy Index **Energy Fraction**
- State Index
 - Ellipsoid Volume
 - · System Frobenius Norm
- Hankel-Norm Lower Bound
- H_∞-Norm Upper Bound
- L₁-Norm Upper Bound
- Fault Recoverability Index

http://gramian.de

Nonlinearity Quantification

How nonlinear is the system?

- 1. Compute trace of empirical Gramian:
 - Empirical controllability Gramian (input nonlinearity),
 Empirical cross Gramian (state nonlinearity),
- Empirical observability Gramian (output nonlinearity).
 Compute traces of linearized system Gramian.
- 3. Difference in traces exposes nonlinearity.

Nonlinearity Measures:

$$N_{C} = |\operatorname{tr}(W_{C}) - \operatorname{tr}(W_{C,\text{lin}})$$

$$N_{X} = |\operatorname{tr}(W_{X}) - \operatorname{tr}(W_{X,\text{lin}})$$

$$N_{Q} = |\operatorname{tr}(W_{Q}) - \operatorname{tr}(W_{Q,\text{lin}})$$

Decentralized Control

Which inputs affect which outputs?

- 1. Compute Gramian for each SISO subsystem of a MIMO:
- Empirical cross Gramian,
 Empirical controllability and observability Gramian. Traces of subsystem Gramians yield participation matrix.

3. Row or column maximum indicate principal SISOs. Participation Matrix:

Matrix:

$$P = \begin{pmatrix} |\operatorname{tr}(W_{X,11})| & \dots & |\operatorname{tr}(W_{X,1Q})| \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ |\operatorname{tr}(W_{X,M1})| & \dots & |\operatorname{tr}(W_{X,MQ})| \end{pmatrix}$$

Sensitivity Analysis

Which parameters affect system dynamics?

- 1. Treat parameters as system inputs.
- 2. Compute empirical Gramians for each parameter input:
 - Empirical sensitivity Gramian. Empirical cross Gramian.
- 3. Traces of Gramians reveal sensitivities.

$$S(\theta_i) = |\operatorname{tr}(W_{S,i})|$$

Parameter Identification

What combination of parameters affects system dynamics?

- 1. Treat parameters as system states.
- Compute empirical Gramian:
 Empirical identifiability Gramian,
- Empirical joint Gramian.3. An SVD of parameter Gramian yields transformation.

Parameter Identifiability

$$I(\theta_l) = \sigma_{\operatorname{argmax}_j(\Pi_{ij})}(W_l)$$

- C. Himpe. emgr EMpirical GRamian Framework (Version 5.4), 2018, doi:10.5281/zenodo.1241532
 C. Himpe. emgr The Empirical Gramian Framework. arXiv cs.MS: 1611.00675, 2018.
 C. Himpe. T. Leibner, S. Rave and J. Saak, Fast Low-Rank Empirical Cross Gramians. Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics, 17: 841–842, 2017.
 C. Himpe. Combined State and Parameter Reduction for Nonlinear Systems with an Application in Neuroscience. Westfälische Wilhelms Universität Münster, Sierke Verlag Göttingen, 2017.
 C. Himpe and M. Ohlberger, A Unified Software Framework for Empirical Gramians. Journal of Mathematics, 2013: 365909, 2013.
 S. Lall, J.E. Marsden and S. Glavaški. Empirical Model Reduction of Controlled Nonlinear Systems. IFAC Proceedings Volumes 32(2): 2598–2603, 1999.
- owledgement: Supported by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, in the joint project: "MathEnergy Mathematical Key Technologies for Evolving Energy Grids", sub-project: Model Order Reduction (Grant number: 0324019B).





How long does it take?

Estimating target-specific execution times for Simulink models

Motivation

In automotive engineering ensuring real time performance is the key to develop reliable software. At IAV, Mathworks Simulink is one of the most important tools for the software specification phase. However, even in the early development phase, engineers are facing the question whether or not software specification will meet given real time conditions.

Concept

For this purpose and in cooperation with Otto-von-Guericke University Magdeburg, IAV developed a Matlab tool to estimate the execution times based on the Simulink model itself. With this tool, time and cost of

the overall software development process can be reduced effectively. It is no longer necessary to build and compile the model due to a predefined runtime data base. This data base includes all information required to perform an estimation. The information is gathered beforehand and includes static or dynamic analysis results.

Results

The tool was tested on three real-world application Simulink models with different complexities. Although working on a high abstraction level, the estimation tool yields promising results. When using more complex models, frequent memory accesses lead to underestimation of the actual runtime.

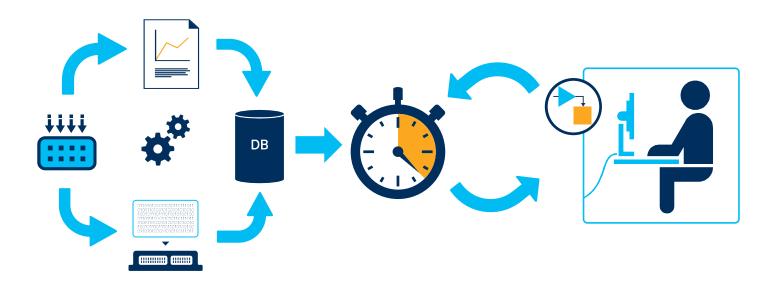
Blockcount Estimate Runtime Difference

160	10818*	9816*	10,2 %	
366	1762*	1583*	11,4 %	
756	13721*	14946*	-8,2 %	

*Clock cycles PPC750GL (800 MHz)

Remaining Challenges

In further development, even closer estimation boundaries shall be possible by taking into account memory accesses as well as code generation done by the Simulink coder.



Knowledge acquisition from a biomechanical system: human gait transition as an example.

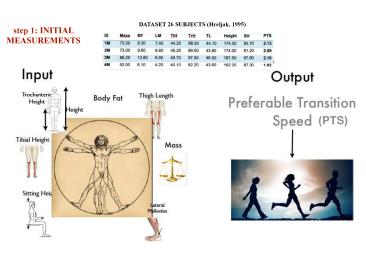
Yana Vereshchaga, Werner Baumgartner.

Institute of Biomedical Mechatronics, Johannes Kepler University Linz, Altenbergerstr. 69, 4040 Linz, Austria Correspondence to Y. Vereshchaga yana.vereshchaga@jku.at



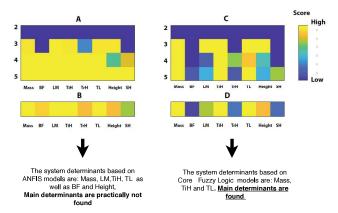
ABSTRACT

New approaches that allow a logical link to be established between body parameters and the dynamics of locomotion are attracting increasing interest. We propose a method that obtains knowledge from a biomechanical system by defining the main biomechanical determinants in a statistical set and suggesting logical rules between them. We explored the biomechanics of the gait transition from walking to running. Employing soft clustering and fuzzy logic principles, we derived the most influential body parameters for the preferred transition speed (PTS) and logical rules for its determination. The first-order PTS determinants are mass, tibial height and thigh length, while those of the second order are presumed to be lateral malleolus and height. Four logical rules allow PTS values to be predicted with an accuracy of 0.03m/s when using first-order parameters, and of 0.01 m/s when second-order, parameters are included. Compared to previously published studies, these accuracies are the best obtained to date, making our method a promising tool for knowledge acquisition.



step 2: Output is determinants of the system

Graphical illustration of the results of simulations using two, three, four and five membership functions (or clusters). A) ANFIS (Adaptive-network-based fuzzy inference system, Jang 1993) and C) core fuzzy logic models by authors developed methodology. Summarized score for each parameter in the case of ANFIS (B) and core fuzzy logic (D) models. The yellow color palette highlights results with the highest score and darker colors indicate the opposite. The corresponding numerical values are shown in the



Model with Core Fuzzy Logical Membership Functions for Mass, Tibial Height and Thigh Length. step 3: Fuzzy Logical Models

ANFIS Fuzzy Logical model: broad Membership Functions, the result is a fusion of several rules

Core Fuzzy Logical model: more more narrow Membership Function (not tuned to the dataset), the results is an outcome of only one rule

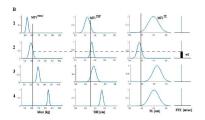


Figure 2. Rules of fuzzy logic models using the parameters mass, tibial height and thigh length. A) ANFIS models – estimation error: 0.02 m/s; B) CoreFL model

 $1. \textit{If (Mass is MF1}^{\textit{mass}}) \textit{ AND (TiH is MF1}^{\textit{TiH}}) \textit{ AND (TL is MF1}^{\textit{TL}}), \textit{then (PTS is MF1}^{\textit{PTS}})$

2. If (Mass is MF2^{mass}) AND (TiH is MF2^{TiH}) AND (TL is MF2^{Ti}), then (PTS is MF2^{PTS})

3. If (Mass is MF3^{mass}) AND (TiH is MF3^{TiH}) AND (TL is MF3^{TL}), then (PTS is MF3^{PTS})

4. If (Mass is MF4" AND (TiH is MF4") AND (TL is MF4"), then (PTS is MF4")

Which Body Parameters contribute most to human gait transition?





Main Logic between parameters?



Instead of a "black box" model a Comprehensive One with main determinants of a system

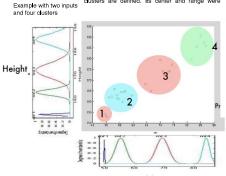


METHODOLOGICAL

Membership

Based on Fuzzy C-means dustering more strict clusters are defined. Its center and range were Output Membership Functions Triangular or Takagi Sugeno

Core Fuzzy Logical Models (Vereshchaga,

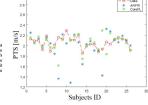




Mass

Gaussian MFs were built using $f_i(x_i, \sigma_i, C_i) = e^{\frac{-(x_i - C_i)^2}{\sigma_i^2}}$, where C_i is an average of $\{x_i\} \subset cluster \ i$, and $\sigma_i = ZoomF \cdot (C_i - min\{x_i\})$. The zooming factor (ZoomF) was chosen to be 0.4, but results remained similar for other choices. The parameters for output linear MFs of cluster i form a vector A obtained by solving the optimization problem $A\{x_j\} = \{PTS_j\}.$

How much obtained models depend on the dataset - check the generic traits of the models



Prediction Results Comparison

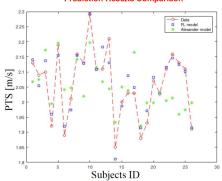


Figure 4. Predictions of the core fuzzy logic (FL) model based on mass, tibial height and $\,$ thigh length with a standard deviation of 0.03 m/s; statistical data (cf. Table 1, Hreljac, 1995b) and the prediction based on the expression taken from (Alexander, 1996) with SD=0.09 m/s are also shown.

- Jang, J.-S.R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665–685.
 Vereshchaga, Baumgartner, submitted in Journal of Human Movement 2017



Rupprecht-Gymnasium München

Naturwissenschaftlichtechnologisches und Sprachliches Gymnasium



EYE-BLINK DETECTION USING MATLAB®

Vladislav Verbovetski

Introduction

This project [1] aims to detect, whether a person's eyes are closed or not, utilizing machine learning with prerecorded footage or live data acquired through the MATLAB support package for USB-webcams.

Each frame is extracted and viewed as a standalone image. The face and eyes are detected, whilst a binary SVMclassifer, which uses HOG-features [2], determines, if the person's eyes are shut or not. This project makes use of the "Computer Vision System Toolbox" and of the "Statistics and Machine Learning Toolbox".

Detecting the face

MATLAB's provided solution in the form of the Cascade-Object-Detector, Viola-Jones-detectionthe algorithm [3] to detect faces (and other body-parts).

After the face is detected, a bounding box is created around it, its coordinates limiting the region, in which the Eigenfeatures will be calculated. In the latter part, the Eigenvalue-algorithm is used to find corner-points.



Fig. 1: example of a detected face with determined feature points

Tracking the face

Because the Cascade-Object-Detector is too costly in terms of computational resources and cannot detect faces which have rotated too much, the Kande-Lucas-Tomasi-algorithm [4] is used as a feature tracker to keep track of the facial features previously located.

For future frames, the geometric transformation between the old and the new feature-points will be using the fitgeotranscalculated function, whilst points that have moved too much, are eliminated for the sake of accuracy. If too many feature-points are lost, they are delineated anew.

Detecting the eyes

The imwarp-function allows for the face to be transformed according to geometrical transformation calculated by the KLT-algorithm and not be dependent of most movements in three-dimensional space, as long as these do not make it unrecognizable, e.g.: turning the head away.



Fig. 2: example of eyes being detected on a ..rectified" face

The face is aligned to a separate window with a set height and width. The eyes are, very much like the face in the "Detecting the face"-part, captured using the Cascade-Object-Detector.

Classifying the eyes

The image of the eyes is now resized and the HOG-(Histogram of oriented gradients)-features are extracted. A cell size of [4 4] is selected, which means that there is enough encoded spatial information to visually identify the eyes, whilst the performance remains acceptable.

The binary SVM-(Support Vector Machine)-classifier now simply "consults" a processed database of at least one image of closed and one of opened eyes to determine whether the eyes are shut or not. Repeating this process for every single frame effectively makes it possible to determine, when the person is blinking.



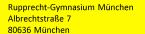
Fig. 3: abstract depiction of the script. Positive images are images of closed eyes, whilst negative represent opened. They are set manually beforehand and comprise the SVM-classifier's database.

Future Goals / Ideas

- Graphically display a variable or a real time plot, which shows the amount of blinks/Δ time.
- Utilize pairs of eyes captured in previous training-sessions or in the current one for greater precision in determining the state of the eyes.
- Find applications for the script.

- [1] Kikawada T. https://de.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/50842-demo-files-for--what-s-new-for-image-processing-and-computer-vision-r2015a--webinar [cited 26.04.17]
- [2] Dalal N, Triggs B. 2005. "Histograms of oriented gradients for human detection". IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- [3] Viola P, Jones M. 2001. "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features". IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- [4] Tomasi C, Kanade T. 1991. "Detection and tracking of point features". Carnegie Mellon University Technical Report Technical Report CMU-CS-91-132.





Modellierung von EEG-Daten epileptischer Absencen: Dimensionsreduktion auf Shilnikov-Attraktoren



Dennis Adamski, Steffen Hartmann, Katharina Korn, Bastian Seifert, Christian Uhl Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach



METHODEN

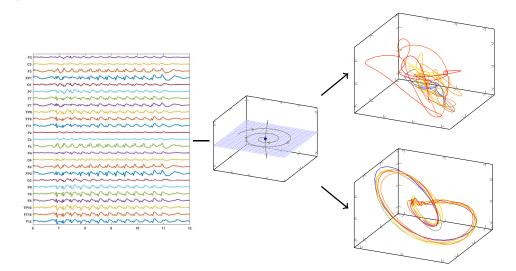
Zur Analyse von höher-dimensionalen Daten, wie in diesem Fall EEG-Daten, werden meist niedriger-dimensionale Modelle verwendet. Diese erhält man durch Dimensionsreduktion, wozu PCA oder ICA angewandt werden kann. Eine weitere Möglichkeit ist Dynamical System Based Modeling (DSBM) [3], das im Gegensatz zu den anderen beiden Varianten Dimensionsreduktion und Parameterschätzung simultan, mittels globaler Optimierung (Global Optimization Toolbox) durchführt. Dadurch kann insbesondere bei Daten die auf einer Gesetzmäßigkeit beruhen die Dynamik erhalten bleiben.

In EEG-Daten tritt während einer epileptischen Absence chaotisches Verhalten auf. Dieses kann durch Shilnikov-Chaos beschrieben werden, wie Bifurkationsanalysen verschiedener Modelle zeigten [4].

Sowohl DSBM als auch das Shilnikov-Modell wurden mithilfe von MATLAB umgesetzt und auf EEG-Daten verschiedener Patienten angewandt.

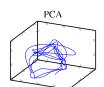
Vorgehensweise

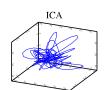
Um mit unserer Toolbox Daten modellieren zu können, muss zuerst eine EEG-Datei (EDF/TRC) im passenden Format geladen werden, danach kann das Signal auf verschiedene Weisen verarbeitet werden (Signal Processing Toolbox). So ist es möglich das Signal in Fenster aufzuteilen, dies ermöglicht die Verwendung der Parallel Computing Toolbox oder den kompletten Anfall zu modellieren. Die modellierten Daten bieten dann die Möglichkeit einer weiteren Verarbeitung wie z.B. das Aufzeigen der zugrundeliegenden Dynamiken und Verhalten.

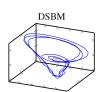


ERGEBNISSE

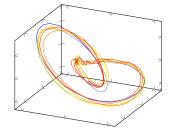
Das DSBM-Verfahren wurde mit der Annahme einer zugrundeliegenden Shilnikov-Dynamik auf 12 Datensätze von EEG-Aufnahmen mit auftretenden epileptischen Absencen angewandt. Eine Leave-One-Out-Kreuzvalidierung ergab eine Spezifität von 84% und eine Sensitivität von 73% bezüglich des Auftretens von Spitze-Welle-Komplexen.

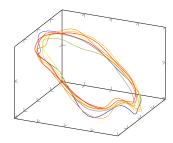






Unsere Annahme ist, dass die Verwendung von DSBM der Verwendung der Hauptkomponentenanalyse (PCA) [2] und Unabhängigkeitsanalyse (ICA) [1] zur Reduzierung der Dimensionalität von Signalen mit starken deterministischen Teilen überlegen ist. Ein optischer Vergleich der mit DSBM projizierten Daten mit der Projektion der signifikantesten Modi von ICA und PCA stützen diese Behauptung.





Beispiele für das projizierte Signal im Phasenraum. Das Beispiel auf der linken Seite ähnelt einem homoklinen Orbit, welchen wir als Zeichen für das Auftreten des Shilnikov-Chaos akzeptiert haben, während das auf der rechten Seite eher wie ein Kreis aussieht. Die Farbe zeigt die zeitliche Entwicklung der Trajektorie an.

ACKNOWLEDGMENTS

Universitätsklinikum Erlangen





Forschungsstiftung





REFERENCES

- [1] A. Hyvärinen and E. Oja. Independent component analysis: algorithms and applications. Neural Networks, 13(4-5):411-430, 2000.
- [2] K. Pearson. On lines and planes of closest fit to a system of points in space. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 6,2:559-572, 1901.
- [3] C. Uhl and B. Seifert, DSBM Dynamical Systems Based Modeling: An Overview, In U. Ambrosius and S. Gollisch, editors, Ansbacher Kaleidoskop 2016, pages 123–138. Shaker Verlag, 2016.
- [4] L. van Veen and D.T.J. Liley. Chaos via Shilnikov's Saddle-Node Bifurcation in a Theory of the Electroencephalogram. Phys. Rev. Lett., 97(208101), 2006.

Visualisierung der neuen Seilbahn Zugspitze mit MATLAB



M. Korb, M. Holzer, J. Plewinski, L. J. Sieben & J.-M. Sautter

Labor für Scientific Computing und Simulation, Hochschule Aschaffenburg

In diesem Projekt wurde die neue Seilbahn Zugspitze simuliert und visualisiert. Hierzu wurde die Landschaft mit Hilfe von SRTM-Höhendaten der NASA und Satellitenbildern von Google mit MATLAB erstellt. Neben den beiden Gondeln wurde auch die weltweit höchste Stahlbaustütze für Pendelbahnen sowie die neue Tal- und Bergstation mit MATLAB dargestellt. Die Seilkräfte wurden modelliert und anschließend numerisch berechnet, so dass das Seilverhalten der Seilbahn unter Belastung eindrucksvoll in die dreidimensionale Zugspitz-Umgebung eingefügt werden konnte.

Einleitung

Die im Dezember 2017 eröffnete Rekord-Seilbahn auf die Zugspitze stand in ihrer Bau- und Planungsphase vielen ingenieurtechnisch zu lösenden Fragen gegenüber. So überwindet sie nicht nur den größten Gesamthöhenunterschied sowie das längste freie Spannfeld weltweit, sondern hat auch die höchste Stahlbaustütze für Pendelbahnen verbaut. Dieses unvergleichliche Seilbahnerlebnis wird Touristen, Alpinisten und Wintersportler aus aller Welt künftig auf den Zugspitzgipfel führen und auch die Grenzen der Beförderungskapazität der historischen Eibsee-Seilbahn überschreiten (vgl. [2]).

In dem hier vorgestellten Projekt wurde die neue Seilbahn Zugspitze mit MATLAB simuliert und realitätsnah visualisiert. Das im Rahmen der Arbeit erstellte Video ist auf YouTube verfügbar (vgl. [4] und Abschnitt Video).

Seilbahn

Ein nur durch seine Gewichtskraft belastetes Seil folgt einer Kettenlinie

$$K(x) = a \cdot \cosh\left(\frac{x - x_0}{a}\right) + y_0.$$

Das bei einer Seilbahn durch die Gondel punktbelastete Seil wird durch drei Seilstücke mit den Längen l_1 , l_2 und $l_{\rm Rest.}$ (vgl. Abbildung 1) modelliert. Die Seilkräfte und die Form der punktbelasteten Kettenlinie ergeben sich als Lösung aus F(x) = 0 mit

$$F(x) = \begin{pmatrix} x_1 \cdot \cosh\left(\frac{p_1 - x_2}{x_1}\right) + x_3 - p_2 \\ x_1 \cdot \cosh\left(\frac{x_2 - x_2}{x_1}\right) + x_3 - x_8 \\ L(x_1, x_2, x_7, p_1) - l_1 \\ x_4 \cdot \cosh\left(\frac{x_2 - x_3}{x_4}\right) + x_6 - x_8 \\ x_4 \cdot \cosh\left(\frac{q_2 - x_3}{x_4}\right) + k_6 - q_2 \\ L(x_4, x_5, x_7, q_1) - (l_{Rest} - x_{12} - l_1) \\ - f_g q - f_g p + f_{Gondel} \\ x_9 \cdot \cosh\left(\frac{q_1 - x_0}{x_2}\right) + x_{11} - q_2 \\ x_9 \cdot \cosh\left(\frac{y_2 - x_0}{x_2}\right) + x_{11} - v_2 \\ L(x_3, x_{10}, q_1, v_1) - x_{12} \\ \|f_{q\theta}\| - \|f_{qg}\| \end{pmatrix}$$

Dieses nichtlineare Gleichungssystem wurde numerisch mit fsolve gelöst. Die physikalische Modellierung von (1) ist in Abbildung 1 skizziert und basiert im Wesentlichen auf dem Kräftegleichgewicht im Punkt g und dem Kräftegleichgewicht in der Norm im Punkt a.

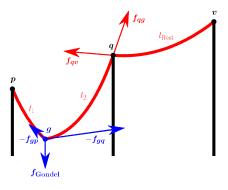


Abb. 1: Kräfte am Tragseil

Um die Seilbahn Zugspitze nicht nur physikalisch zu erfassen, sondern auch visualisieren zu können, wurden dreidimensionale Modelle der Tal- und Bergstation, der weltweit höchsten Stahlbaustütze und der zwei Gondeln erstellt. Erstere drei wurden an die Aufhängepunkte p, v und q aus Abbildung 1 gesetzt.

Höhendaten

Für das digitale Höhenmodell des Wettersteingebirges mit der Zugspitze als Hauptgipfel wurden SRTM-Höhendaten (engl.: Shuttle Radar Topography Mission) der NASA, die von CIAT (span.: Centro Internacional de Agricultura Tropical) optimiert wurden, verwendet (vgl. [3]). Dadurch entstand eine lückenlose topografische Karte mit einer Auflösung von 90 m (vgl. [1]). Abbildung 2 zeigt die mit MATLAB erstellte Höhenlandschaft des Wettersteingebirges.

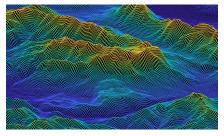


Abb. 2: SRTM-Höhendaten des Wettersteingebirges

Landschaft

Im nächsten Schritt wurde eine realistische Satellitenansicht des Gebietes erstellt (vgl. [3]). Hierfür wurden Satellitenbilder von Google Maps verwendet, sie können in einzelnen Kacheln und verschiedenen Zoomstufen heruntergeladen werden. Diese Kacheldaten wurden per Stiching zu einem großen Satellitenbild zusammengefügt. Abbildung 3 zeigt das Satellitenbild des Wettersteingebirges mit dem Hauptgipfel Zugspitze, projiziert auf das zuvor erstellte dreidimensionale digitale Höhenmodell aus Abbildung 2.



Abb. 3: Satellitenansicht des Wettersteingebirges

Ergebnis

In der Gesamtsimulation wurden alle beschriebenen Komponenten zusammengeführt. Dabei wurden die Tal- und Bergstation, die Stahlbaustütze sowie die beiden Gondeln realitätsnah in die Zugspitz-Landschaft eingefügt. Die Berechnung der Seilkräfte erfolgte separat für die beiden Gondeln. Abbildung 4 zeigt eindrucksvoll die simulierte und visualisierte Seilbahn Zugspitze.

Video



Fazit und Ausblick

Die beschriebenen Berechnungen dienen als Grundlage für die Simulation weiterer Effekte, wie beispielsweise Miteinbeziehung des Zugseils oder der Pendelbewegungen der Gondeln und daraus resultierenden Wechselwirkungen mit den Seilen. Darüber hinaus können die entwickelten Visualisierungsmethoden vielfältig für weitere und andere realistische Darstellungen genutzt werden. Nicht nur bei Seilbahnen, sondern auch bei anderen Fragestellungen, wie beispielshalber der Berechnung und Konstruktion von Freileitungsmasten bzw. der Visualisierung geplanter Stromtrassen, können die beschriebenen Techniken angewendet werden.

Literatur

- J. A., H. Reuter, A. Nelson und E. Guevara. Hole filled seamless SRTM data VA. 2008. URL: http://srtm.csi.cgiar.org.
 Bayerische Zugspitzbahn Bergbahn AG. Seilbahn Zugspitze. Ein historischer Moment. URL: http://zugspitze.de/de/winter/aktuell/seilbahn-zugspitze.
 A. Bischof. Litstellung digitaler Höhenmodelle mit MATLAB". Studienarbeit. Hochschule Aschaffenburg. 2014.
 M. Verb. Helder. J. Bussienkii, I. Sidapa und I. M. Sautter Seilbahn Zugspitze.
- schue Aschartenburg. 2014.

 [4] M. Korb, M. Holzer, J. Plewinski, L. Sieben und J.-M. Sautter. Seilbahm Zugspitze Simulation mit MATLAB. YouTube Video. Hochschule Aschaffenburg. 2018. URL: https://www.youtube.com/watch?v=lcjBHTHPMFl&t.

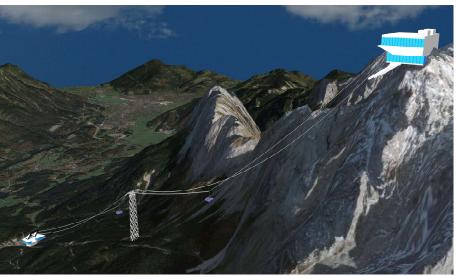


Abb. 4: Gesamtsimulation der Seilbahn Zugspitze





Entwicklung eines 3D-Strahlungsmodells

D. Büschgens, C. Schubert, W. Lenz, H. Pfeifer

In strahlungsdominierten Prozessen, wie zum Beispiel bei der strahlungsdominierten Erwärmung von Stückgut im Ofen, ist die Temperaturverteilung mitentscheidend für das Produktionsergebnis, da sie die Streubreite der Werkstoffeigenschaften des Stückgutes bestimmt. Kommerzielle Software kann benutzt werden, um den Strahlungsaustausch und damit die Temperaturverteilung zu berechnen. Die Programme benutzen jedoch meist keine vollständige Auflösung des Strahlungsaustauschs, weswegen ein eigenes Strahlungsmodell entwickelt wurde.

Das entwickelte 3D-Strahlungsmodell ist ein Simulationstool, mit welchem der Strahlungsaustausch beliebiger 3D-Geometrien bestimmt werden kann. Hierzu werden die Geometrien, repräsentiert durch Oberflächennetze, in das Modell eingeladen, die Strahlungsaustauschkoeffizienten, die sogenannten Einstrahlzahlen bestimmt und basierend auf den Ergebnissen und vorgegebenen Randbedingungen die Temperaturverteilung berechnet. Das Ablaufschema verdeutlicht das Vorgehen des Strahlungsmodells.

Im Zuge der Berechnung des Strahlungsaustauschs ist es notwendig, die Abschattung der diskretisierten Oberflächen zu betrachten. Hierzu wurde ein eigener Algorithmus entwickelt, welcher im Folgenden vorgestellt wird.

Das Programm wurde in MATLAB geschrieben, rechenintensive Teile des Programms sind mit C-Code in MATLAB implementiert und auf der CPU parallelisiert worden



- Oberfläche diskretisieren in MATLAB einladen



- n x n Matrix n gleich Anzahl der Elemente aller





Check aller Elementkombinationen auf Abschattung durch Dritte Entwickelter Algorithmus reduziert Komplexitä Korrektur der Einstrahlzahlen

Abschattungsalgorithmus



Temperaturverteilung des Beispiels unter Annahme adiabater Grundflächen des Zylinders und vorgegebener Temperaturrandbedingungen des Zylindermantels und des Ofenelements (mittlerer Zylinder)

Temperaturverteilung

Eine mit MATLAB programmierte Benutzeroberfläche führt den Anwender durch das Strahlungsmodell, Es können Geometrien eingeladen werden. Die Geometrien werden durch diskretisierte Oberflächen beschrieben. Im Anwendungsfall, der Erwärmung im Ofen, wird die Ofengeometrie und das Stückgut, bzw. die einzelnen Bauteile eingeladen. Jedes der Objekte wird durch ein eigenes Netz dargestellt. Die Position der einzelnen Bauteile innerhalb der Ofengeometrie kann festgelegt werden. Die aus einzelnen Elementen bestehenden Oberflächennetze werden anhand eines global festgelegten Koordinatensystems

Die Elemente aller eingeladenen diskretisierten Oberflächen werden zusammengefasst und dienen der Berechnung des Strahlungsaustauschs. Für diese Berechnung ist die Einstrahlzahlenmatrix notwendig, welche alle Elemente miteinander

verknüpft. Die Berechnung der Einstrahlzahlen erfolgt mit einer Formel und entspricht dem Stand der Technik. Für jede mögliche Element-kombination zweier Elemente wird eine Einstrahlzahl Die Formel geht davon aus, dass die beiden Elemente sich ungehindert sehen können. Dies ist jedoch nicht immer der Fall, da dritte Elemente zwischen der Elementkombination liegen können und die Sicht blockieren. Die Einstrahlzahlenmatrix muss demnach noch korrigiert werden. Hierzu wird der selbst entwickelte Abschattungsalgorithmus verwendet.

Aufbau des Modells

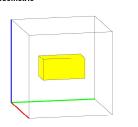
angeordnet.

Wärmestrom- und Temperaturrandbedingung Stoffdaten Iteration über Zeitschritte (bis zum stationären

Einstrahlzahlen

- diskretisierten Oberflächen Einstrahlzahl für jede Elementkombinatior

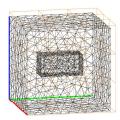
A: Geometrie







C: Überlagerung mit strukturiertem Hexaedernetz



Abschattungsalgorithmus

Kernstück des Modells ist der Abschattungsalgorithmus. Dieser remöglicht eine sehr genaue Bestimmung der Einstrahlzahlen. Bei der Einstrahlzahlenbestimmung wird für jede Elementkombination eine Einstrahlzahl mit einer Formel berechnet. Die Formel kann jedoch nicht angewendet werden, wenn ein drittes Element die

Sicht der Elementkombination zueinander behindert. Für diese Fälle muss die berechnete Einstrahlzahl korrigiert werden. Eine Überprüfung der Verbindung aller Elementkombinationen auf Abschattung durch ein drittes Element, welches genau auf der Verbindungslinie liegt, löst dieses Problem, jedoch bedeutet es einen hohen Rechenaufwand, bzw. eine Komplexität von n³. Der Algorithmus basiert auf der Zerlegung und Zuordnung der diskretisierten Geometrien in ein strukturiertes Hexaedernetz. Bei der Überprüfung der Abschattung zwischen zwei Elementen werden nur noch jene Elemente der Oberflächennetze in den

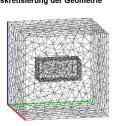
Hexaedern untersucht, durch welche die Verbindungslinie der beiden Elemente verläuft. Der entwickelte Algorithmus ermöglicht es, die Komplexität für die meisten denkbaren Fälle auf n² zu reduzieren, die Genauigkeit der Methode ändert sich jedoch nicht. Die Bilderabfolge A-H zeigt den Ablauf des Abschattungs-







B: Diskretisierung der Geometrie

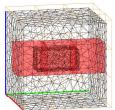








D: Bestimmung der belegten Hexaeder



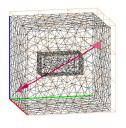








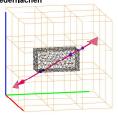
E: Betrachtung einer Elementkombination







F: Schnittpunkte der Verbindungslinie mit den Hexaederflächen



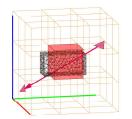


H: Untersuchung auf Schnittpunkte mit allen Elementen des Hexaeders





G: Erstes getroffenes, belegtes Hexaeder



Legende zu A-H

belegtes Hexaeder Schnittpunkt

Elementkombination

algorithmus an einem einfachen Beispiel.

Verbindungslinie

Dominik Büschgens

Telefon: +49 241 80-26067

E-Mail: bueschgens@iob.rwth-aachen.de

positiv geprüftes Element

negativ geprüftes Element

Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik RWTH Aachen University Kopernikusstr. 10, 52074 Aachen, Germany www.iob.rwth-aachen.de Telefon: +49 241 80-25936

+49 241 80-22289



Degree Program M. Eng. Systemtechnik V. Staben: Weather Balloon Flight Simulation



Abstract

The subsequent presentation shows a simplified modeling and simulation approach of a weather balloon flight scenario. A special challenge exists in solving nonlinear algebraic equations with several unknown variables within algebraic loops emerging in this strongly time-variant initial value problem. The according student's work was successfully completed during a 5 CP teaching module. This Poster serves as a reference sample for the student's documentation of similar problems.

Introduction

Gathering of meteorological data is i.a. performed using balloons – usually latex balloons, filled with Helium or Hydrogen. These weather balloons, carrying a parachute and a payload, are available in different sizes, reaching a height up to 40 kilometer – figure 1 shows an example. At a defined flight level, the balloon bursts and a parachute brings the payload back to ground. Usually the payload contains a GPS receiver to store the posi-



Figure 1: Weather Balloon [Deu14]

payload contains a GPS receiver to store the position data during the complete flight phase, but solely a simulation is able to deliver estimated location data in advance to support retrieving the payload. Therefor a strongly nonlinear Differential Algebraic Equation has to be solved in 3D.

Balloon Dynamics

The balloon location l is calculated using a cartesian coordinate system $x,\,y,\,z$ as shown in figure 2 a) – the max. target deviation compared to underlying spherical earth coordinates was estimated to be less than one meter, an acceptable deviation.

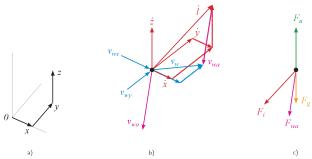


Figure 2: Balloon Dynamics – a) Coordinates, b) Velocities and c) Forces

Balloon acceleration \ddot{l} is directly proportional to the sum of all force vectors F, impacting the total mass m, as which the complete system is concentrated:

$$\ddot{l} = \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{n} F_{n}, \qquad n = g, i, u, wa$$
(1)

These force vectors F are shown in figure 2 c) as

- \triangleright gravity force F_g ,
- \triangleright mass force of inertia F_i ,
- \triangleright uplift force F_u and
- ightharpoonup apparent wind drag force $F_{wa}=f\left(v_w-i
 ight)$.

All forces vary partly substantially during the flight scenario: the gravity force F_g solely depends from flight level z. The force of inertia F_i is assumed to change its value when the balloon bursts. Uplift force F_a i.a. strongly depends from the ambient temperature T_a and the filling gas density ϱ_g , which again depends from ambient pressure p_a and the pressure difference $\triangle p$ caused by the nonlinear elastic properties of the balloon membrane. Apparent wind force F_{wa} is assumed to depend from the apparent wind velocity vector r_w and the balloon diameter r_i , which again depends from gas temperature T_g and gas pressure $p_g=p_a+\triangle p$ – see equation (3).

Atmospheric data of ambient pressure p_a and ambient temperature T_a are available – for the shown results standard atmosphere data from [Deu14] are used. The balloon radius r and the filling gas pressure p_g are unknown variables yet.

Balloon Membrane Elasticity and Gas Pressure

Two constraints exist for balloon radius r and gas pressure p_g :

1. The gas state has to fulfill a constraint described by a gas law. If a simple ideal gas law is taken as a basis, the gas pressure p_g , the balloon volume V and the gas temperature T_g of a given gas mass m_g are constrained by

$$p_a \cdot V = m_a \cdot R_s \cdot T_a$$
 (2)

with a specific gas constant R_s . For Helium a value of $R_s=2077\,\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$ is reasonable. A spherical balloon shape and a thermal equilibrium $T_g=T_a$ is assumed.

2. The gas state has to be compliant with the elastic properties of the balloon membrane. The nonlinear characteristic of pressure vs. volume of commonly used

membrane material can be described using the so-called Mooney-Rivlin equation, following an approach illustrated in [MS04]. Considering a barely inflated balloon radius r_0 and a barely inflated membrane thickness d_0 , the pressure difference $\triangle p$ as a function of balloon radius r can be expressed as

$$\Delta p = p_g - p_k = 2 \cdot s_+ \cdot \frac{d_0}{r_0} \cdot \left(\frac{r_0}{r} - \left(\frac{r_0}{r}\right)^7\right) \cdot \left(1 - \frac{s_-}{s_+} \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right) \tag{3}$$

with elastic coefficients s_+ and s_- . Appropriate values for these elastic coefficients given in [MS04] are $s_+=3\cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$ and $s_-=-0,3\cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$. A presumably existing temperature dependence of these coefficients is neglected.

The corresponding implementation inside of a Simulink subsystem is shown in figure 3. The yellow blocks implement the ideal gas law, a function block shown in orange color represents the Mooney-Rivlin equation. During solving the generic initial value problem of equation (1), an Algebraic Constraint block calculates iteratively the required balloon radius r within this algebraic loop at every Simulink solver time step.

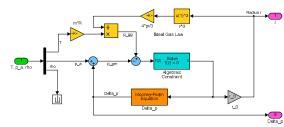


Figure 3: Simulink Subsystem: Evaluating Pressure Constraints

Simulation Results

The simulation result of a typical flight scenario starting at x=0, y=0, crossing the Kiel Canal to the west of the city of Rendsburg, Germany, is shown in figure 4. The underlying wind scenario is dated as of April 25th, 2014. Wind data v_w referred to ground was taken from a public domain GFS model [UWY14].

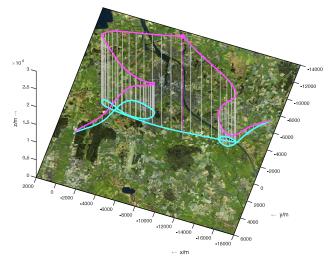


Figure 4: Simulated Flight Scenario

Summary

A signal flow based model of a weather ballon flight scenario, implemented with MATLAB/Simulink, and the corresponding results are presented. The capability of Simulink to solve nonlinear algebraic equations with several unknown variables within algebraic loops in this strongly time-variant initial value problem is demonstrated.

References

[Deu14] Deutscher Wetterdienst: Deutscher Wetterdienst. http://www.dwd.de. Version: 2014, checked: 08.03.2014

[MS04] Müller, I.; Strehlow, P.: Rubber and Rubber Balloons. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2004

[UWY14] University of Wyoming - Department of Atmospheric Science - GFS Maps. weather.uwyo.edu/models/fcst/index.html?MODEL=gfs003. Version: 2014, checked: 15.12.2014



Volker Staben works as a professional lecturer, His teaching topics are focused to closed loop control and modeling and simulation technologies. He is a professor at Hochschule Flensburg since 1996 and acts as a program coordinator for the degree program B. Eng. Energiewissenschaften.

Various Simulations of Elastic Bodies with MATLAB

L. Hartig, S. Bätzing, and J.-M. Sautter Scientific Computing and Simulation Lab Aschaffenburg University of Applied Sciences



university of applied sciences

1. Abstract

This work deals with transient simulations of elastic bodies with grid-based simulation techniques based on mass-spring-damper systems. Several simulation examples of elastic matter, such as soft cubes, balls, and cloth, were performed with MATLAB. For all these physics-based simulations, videos were created only and exclusively with MATLAB. The videos are available on YouTube.

2. Introduction

Physically-based modeling has become an important approach to computer animation and computer graphics (cf. [4]). Mass-spring-damper systems provide a relatively simple yet practical, flexible, and powerful method for modeling a wide variety of objects. They are conceptually simpler and easier to implement than more physically consistent models derived from continuum mechanics (cf. [3]). This work summarizes various simulations and animations which were computed with MATLAB. Videos were created and they have been published on YouTube (cf. [1, 2]).

3. Modeling

All objects are built from masses which are connected by springs as well as by dampers. In addition to the spring and damping forces, other forces like gravity or air resistance, contact forces or other external forces may act upon the masses.

In each grid point with mass m_i , Newton's second law

$$m_i \cdot oldsymbol{a}_i = \sum_j oldsymbol{f}_j$$

holds. Incorporating appropriate boundary conditions, this yields a high-dimensional system of ordinary differential equations

$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{f}(t,\boldsymbol{x},\dot{\boldsymbol{x}})$$

which can be transformed into a first-order system. This differential equation was solved with the explicit Euler method. Alternatively, any MATLAB ODE solver which supports event functions could also be used.

Crucial for all simulations is the collision detection in each time step. Collisions can occur due to contact of an elastic body with

- one or more rigid surfaces
- with another elastic body or with parts of the same elastic body.

In each case and depending on the underlying physics, slip contact conditions, no-slip contact conditions, or contact conditions which depend on the normal force may be appropriate. For realistically appearing simulations, special attention must be given to the (approximate) conservation of momentum in the collision process.

7. Summary

In this work, the power of physically-based simulations based on mass-spring-damper systems and using MATLAB for all computations and as graphics engine has been illustrated. From modeling the underlying physics to developing and implementing algorithms and eventually to producing high-quality videos, MATLAB has been an ideal platform for all simulations presented on this poster.

4. Cloth Simulation



As an example of cloth simulation, a flag blowing in the wind was simulated. The imprint shows the logo of Aschaffenburg University of Applied Sciences. To model the cloth of the flag, mass points on a cartesian grid with different types of springs like structural, shear, and flexion springs were used. The pa-



rameters of the springs and the parameters of the corresponding dampers were chosen according to the cloth properties. Transient Dirichlet boundary conditions were used to model the hoisting of the flag. Blowing wind was modeled as a sinusoidal external force acting upon all nodes.











5. Elastic Deformation of a Ball

This is an example of an elastic deformation due to collisions with rigid surfaces. In this simulation, the transient deformations of a soccer ball and a tennis ball were studied. Furthermore, the results of the tennis ball simulation were compared with experimental data. Different meshes, i.e., different mass-spring-damper structures were tested and analyzed. Spring and damper coefficients were chosen to achieve a realistic deformation behaviour. Collisions with planes, such as the goal wall or the grass, were implemented as events with lossy impulse conservation. To improve the visualization, cubic spline curves were used to smooth the edges of the finite element mesh.





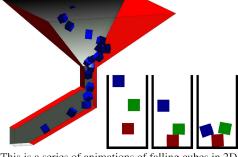








6. Falling Cubes



This is a series of animations of falling cubes in 2D and 3D. The falling cubes were inspired by the corresponding rigid body problem. All these examples have in common that both, collisions of the soft cubes with obstacles, i.e., with rigid surfaces, as well as collisions with other soft cubes had to be taken into account. The number of soft cubes is just one of the parameters of the simulations.

8. References

- [1] V. Altergott, D. Diederich, H. Gehder, L. Hartig, and J.-M. Sautter. *Cloth Simulation with MATLAB*. YouTube Video. Aschaffenburg University of Applied Sciences. 2017. URL: www.youtube.com/watch?v=iG83RFmqPBA.
- [2] S. Bätzing, M. Döpfert, M. Germer, S. Küyner, and J.-M. Sautter. *Elastic Deformation of a Ball*. YouTube Video. Aschaffenburg University of Applied Sciences. 2016. URL: www.youtube.com/watch?v=10QF7MUyKbk.
- [3] T. Liu, A. W. Bargteil, J. F. O'Brian, and L. Kavan. Fast Simulation of Mass-Spring Systems. ScholarlyCommons 11. University of Pennsylvania, 2013.
- [4] A. Witkin and D. Baraff. Physically Based Modeling. Online SIGGRAPH 2001 Course Notes. 2001. URL: www.pixar.com/assets/pb m2001/index.html.

MATLAB EXPO 2018 (v180501)

Vogelschutzmodell für Windenergieanlagen

Alexander Döpper, Björn Roscher, Ralf Schelenz, Georg Jacobs

Motivation

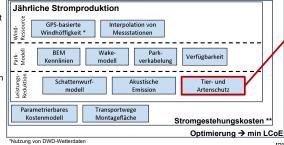
Kollisionen von Vögeln mit Windenergieanlagen werden oft als gravierendes Problem für den Naturschutz angesehen. artenschutzrechtliche Konflikt wesentlichen Hindernis bei Windenergieplanungen werden. der Genehmigung von



Windparkoptimierung

Das Programm Wind Farm Optimization dient der Analyse und Optimierung von Windparks. Dabei geht es um die Minimierung

Stromgestehungskosten bei einer optimalen Ausnutzung der verfügbaren Flächen.

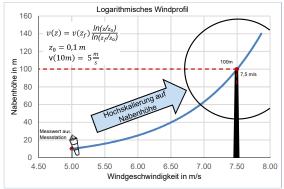


Tier- und Artenschutz wird durch das Vogelschutzmodell bei der Parkauslegung berücksichtigt und führt zu einer Leistungsreduktion

Windprofil



Winddaten des deutschen Wetterdienstes sind auf eine Höhe von mindestens 10m bezogen und werden über das logarithmische Windprofil auf Nabenhöhe hoch skaliert.

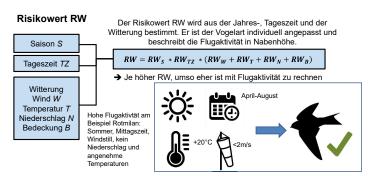


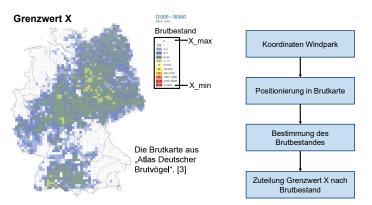
Zielsetzung

Durch eine Abschaltautomatik wird die Windenergieanlage bei hoher Flugaktivität abgeschaltet um Vogelkollisionen zu vermeiden.

Methode

Es wird ein Risikowert berechnet, welcher in Relation zur Flugaktivität steht. Überschreitet der Risikowert den Grenzwert, ist die Gefahr von Vogelflug zu groß und die Windenergieanlage wird abgeschaltet. Der Grenzwert wird dabei aus einer Brutkarte bestimmt, sodass der Lebensraum der Vögel mitberücksichtigt wird. Durch das Abschalten der Windenergieanlage entstehen Leistungsverluste, die bestimmt und analysiert werden.

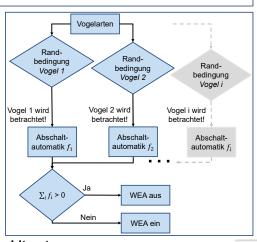




:= Risikowert Berechnung := Grenzwert := Abschaltautomatik aus Brutkarte RW < X automatik WFA ein Berechnung Risikowert RW RW > xLeistunas-WEA aus Flugaktivität

Abschaltautomatik

Für jede Stunde wird der Risikowert mit dem Grenzwert verglichen. Liegt eine Überschreitung vor, wird die Windenergieanlage ausgeschaltet. Es gibt die Möglichkeit die Simulation um weitere Vogelarten, hinsichtlich der Flugbedingungen, zu erweitern.



Literatur

[1] Hötker, Hermann: Auswirkungen des "Repowering" von Windkraftanlagen auf Vögel und Fledermäuse [2] Roscher, Björn; Jacobs, Georg; Harzendorf, Freia; Schelenz, Ralf: Multi-Dimensionale Optimierung von Onshore-Windparks, Center for Wind Power Drives; Branchentage.NRW (2017) [3] Atlas Deutscher Brutvogelarten, Stiftung Vogelmonitoring Deutschland und Dachverband Deutscher Avifaunisten, Münster (2014)

Durch das Vogelschutzmodell können Windparks artenschutzgerecht optimiert werden.

Es wird Rücksicht auf die Flugaktivität der einzelnen Vogelarten genommen, wodurch Vogelkollisionen reduziert werden können. Dadurch kann ein Kompromiss zwischen Windenergie und Artenschutz geschafft werden.







Schattensimulation einer Windkraftanlage mit MATLAB

M. Holzer & J.-M. Sautter

Labor für Scientific Computing und Simulation Hochschule Aschaffenburg



hochschule aschaffenburg

1. Zusammenfassung

Diese Projekt beschäftigt sich damit, welcher Bereich um einer Windkraftanlage von ihr während eines Jahres mindestens zu einem Zeitpunkt verschattet wird. Hierzu wurde eine realistische Windkraftanlage mit MATLAB visualisiert und der zeit- und ortsabhängige Schatten berechnet. Daraus ergeben sich die sogennanten Schatten- und Belästigungsgrenzen während eines Jahres. Die Ergebnisse der Arbeit wurden in einem Video zusammengefasst (vgl. [4]).

2. Einleitung

Der Schattenwurf einer Windkraftanlage wird meist als signifikante Störung empfunden. Die Bewegung der Rotoren führt zu einem Wechsel von Licht und Schatten bei Sonnenschein. Je nach Windgeschwindigkeit variiert die Frequenz dieses Wechsels. Nach geltendem Recht dürfen Wohngebäude der Beeinträchtigung durch den Schattenwurf nicht länger als 30 Stunden pro Jahr und 30 Minuten pro Tag ausgesetzt werden. Eine Überschreitung dieser in der Rechtsprechung verwendeten Faustformel führt zu einer Abschaltung der Windenergieanlage. Eine Schattensimulation vor dem Bau einer Anlage ist daher heutzutage Pflicht (vgl. [1, S. 128 ff.]). Um zu prognostizieren, wo während eines Jahres ein belästigender Schattenwurf auftritt, kann der astronomisch mögliche Schattenwurf einer Windkraftanlage bestimmt werden (vgl. [2, S. 664 ff.]).

3. Sonnenstand

Zur Berechung des Schattenwurfs muss zunächst der Sonnenstand bestimmt werden. In Abbildung 1 wurde mit Hilfe des DIN 5034 Algorithmus ein Sonnenstandsdiagramm für Aschaffenburg erstellt. Entscheident sind der 21.06 und der 21.12 eines Jahres, das sind die Tage der südlichen und nördlichen Sonnenwende.

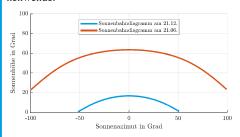


Abb. 1: Sonnenstandsdiagramm für Aschaffenburg

7. Video

Das vollständige Full-HD Video ist auf YouTube verfügbar (vgl. [4]) und auch über den hier abgebildeten QR-Code erreichbar.



8. Quellenangaben

- [1] P. Fest. Die Errichtung von Windenergieanlagen in Deutschland und seiner Ausschließlichen Wirtschaftszone. Duncker & Humbold, 2009.
- [2] E. Hau. Windkraftanlagen. Springer Vieweg,
- [3] M. Holzer. "Beschattungsprognose von Windkraftanlagen mit MATLAB". Studienarbeit. Hochschule Aschaffenburg, 2016.
- [4] M. Holzer und J.-M. Sautter. Schattensimulation einer Windkraftanlage mit MATLAB. You-Tube Video. 2018. URL: https://www.youtube.com/watch?v=SGrW5qSXqaw.

4. Schattenwurf der Windkraftanlage



Abb. 2: Schattenwurf auf nicht ebener Fläche

Der Sonnenstrahl durch einen beliebigen Punkt $p \in \mathbb{R}^3$ wird beschrieben durch die Funktion $g: \mathbb{R} \to \mathbb{R}^3$ mit

$$g(\lambda) = p + \lambda r$$

Der Schattenpunkt von p ist gerade der Schnittpunkt von g mit dem Boden, welcher durch eine Funktion $f:\mathbb{R}^2\to\mathbb{R}$ beschrieben wird. Am Schattenpunkt gilt

$$f(g_1(\lambda), g_2(\lambda)) = g_3(\lambda)$$

und λ kann beispielsweise mit fzero bestimmt werden.

Für genügend viele Punkte der Windkraftanlage kann dadurch der Schatten wie in Abbildung 2 berechnet werden. Aus Effizienzgründen sollten jedoch zunächst die, in Abhängigkeit von Zeitpunkt und Rotorblattstellung, für den Schattenwurf relevanten Randpunkte der Windkraftanlage bestimmt werden.

5. Auswirkungen des Schattenwurfs

Um eine Aussage darüber treffen zu können, welche Bereiche vom Schattenwurf der Windkraftanlage während eines Jahres betroffen sind, muss insbesondere der Verlauf des Schattenwurfs an den Tagen der Sonnenwende betrachtet werden. In Abbildung 3 wird der Verlauf des Schattens am Tag der nördlichen Sonnenwende betrachtet. Der rote Bereich markiert dabei wo mindestens einmal am Tag der Schatten der Rotoren eine Wirkung zeigt. In Abbildung 4 wird der Verlauf des Schattens am Tag der südlichen Sonnenwende betrachtet. In der Nahaufnahme ist zu sehen, dass an diesem Tag auch der Schattenwurf des Turms der Anlage eine Rolle spielt. Er ist in dunkelrot eingezeichent (vgl. [3, S. 24 ff.]).

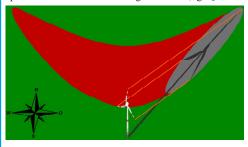


Abb. 3: Schatten am 21.12. eines Jahres



Abb. 4: Nahaufnahme des Schattenwurfs

6. Fazit und Ausblick

Die Bestimmung des astronomisch möglichen Schattenwurfs, wie es in diesem Projekt gezeigt wurde, eignet sich sehr gut, um eine vorläufige Prognose der Schatten-Immissionen einer Windkraftanlage treffen zu

können. Diese ist vor dem Bau einer jeden Windkraftanlage auf den jeweiligen bezogen Standort durchzuführen. Abbildung 5 zeigt die Situation in Aschaffenburg. Für eine abschließende Schattensimulation müssen noch die Vegetation der Umgebung sowie Berge oder Ähnliches mit einfließen.

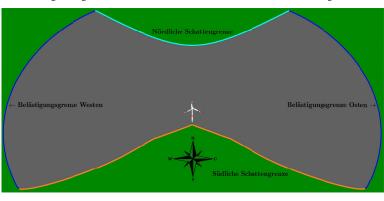


Abb. 5: Astronomisch möglicher Schattenwurf (grauer Bereich)