

VDE-Studierendenpreis 2019 – Kurzfassungen der Abschlussarbeiten

1. M.Sc. Sean Dalton Hochschule Bochum

Design and Implementation of High-Speed Electronics for a Spatial Filter Velocimeter

Im Projekt „Velocimeter using ADvanced spatial filter“ (VADER) wurde die vollständige Entwicklung eines Ortsfrequenzfilter Sensors durchgeführt. Dieser bestimmt die Geschwindigkeiten von Objektmerkmalen im Bildbereich einer High-Speed Kamera. Im Rahmen dieses Projektes entstand die oben genannte Masterarbeit, welche die vollständige Anforderungserhebung, das Systemdesign, die Implementierung sowie die Verifikation des Sensors umfasst.

Die zentrale Anforderung an die Echtzeitverarbeitung des Embedded Systems ist durch die maximale Bildrate der Kamera von 200.000 Bildern pro Sekunde bei einer Ortsauflösung von 1024 Pixeln gegeben. Damit beträgt die kontinuierlich zu verarbeitende Datenrate 410 MB (!) pro Sekunde.

Das ausgewählte System-Design, welches mit Hilfe der CONSENS[®] Methode spezifiziert wurde, besteht aus einer Kombination aus DSP und FPGA, wobei der FPGA mehrere Ortsfrequenz-Funktionen parallel auf die Kamera-Rohbilder anwendet, sowie die Kommunikation mit der Kamera steuert. Die resultierende Matrix der parallelen Funktionen wird nachfolgend mit Hilfe einer DFT einer Spektralschätzung zur Extraktion der Geschwindigkeitsinformation unterzogen.

Das FPGA-Board (Abbildung 1) besteht im Wesentlichen aus den folgenden Elementen:

- Camera Link-Interface zur Kommunikation mit der Kamera
- DDR3L Speicher als Shared Memory Interface
- zwei SATA3-Schnittstellen als Massenspeicher
- Interface zum DSP-Board zur Parametrierung

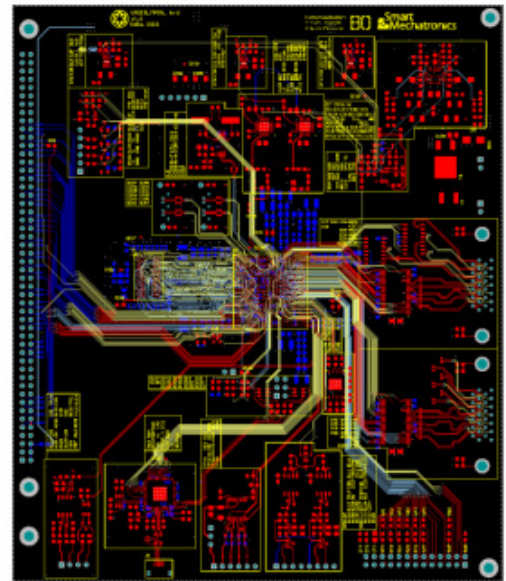


Abbildung 1: Layout des FPGA-Boards



Abbildung 2: Bestückte Leiterplatte

Um die Funktion der High-Speed Interfaces sicherzustellen, wurde nach der Layout-Erstellung eine 3D-Feld Simulation in Form einer Streuparameteranalyse für die kritischen Signalleitungen durchgeführt.

Durch eine Anpassung des Layouts nach der ersten Simulation konnten die Camera Link, DDR3 und SATA Interfaces entsprechend ihrer Spezifikation optimiert werden.

Die Verifikation der fertiggestellten Leiterplatte (Abbildung 2) beinhaltet die Analyse der Spannungsversorgungen, die Inbetriebnahme des FPGA, das Testen der Kommunikation mit der Kamera sowie der Messung der Streuparameter.

Das Ergebnis der Masterthesis stellt eine prototypische Plattform dar, welche in anschließenden Abschlussarbeiten für die Weiterentwicklung des Ortsfrequenz-Filter Algorithmus verwendet wird.

Publikationen:

- [1] Dalton, S.W.; Wagner, F.; Bergmann, A.: Embedded hardware design with model-based design and CONSENS; 10/2017; <https://doi.org/10.1109/REM.2017.8075235>
- [2] Wagner, F.; Dalton, S.W., Bergmann, A.: Benefits and drawbacks of target specific model-based testing; 10/2017; <https://doi.org/10.1109/REM.2017.8075249>

State-Space Control of the Force Feedback Actuator for a Steer-by-Wire System

Zusammenfassung: Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist die Synthese einer beobachterbasierten Zustandsregelung für den Force Feedback Aktuator eines Steer-by-Wire (SbW) Lenksystems. Für diesen Zweck wurde ein systematischer Entwurfsprozess gewählt. Ausgehend von einem validierten, nichtlinearen Modell der Regelstrecke erfolgte die Ableitung eines vereinfachten, linearen Modells für den Reglerentwurf. Das lineare Modell wurde in Zustandsraumdarstellung überführt und diskretisiert, um eine direkt digitale Reglersynthese zu ermöglichen.

In Anlehnung an das Separationstheorem erfolgte die Synthese der Regelung in drei aufeinanderfolgenden Schritten:

- (1) Entwurf des Reglergesetzes für vollständige Zustandsrückführung,
- (2) Entwurf eines Störgrößenbeobachters und
- (3) Zusammenschluss des Reglergesetzes und Störgrößenbeobachters zu einem Kompensator.

Für die robuste Implementierung des Kompensators kam die Methode des Loop Transfer Recovery (LTR) zur Anwendung. Durch dieses Vorgehen konnten die Stabilitätsreserven des offenen Regelkreises für vollständige Zustandsrückführung nahezu zurückgewonnen werden. Im Anschluss an den Reglerentwurf wurde die Performance des linearen Regelkreises im Zeit- und Frequenzbereich bewertet. Zudem erfolgte eine umfangreiche Analyse des nichtlinearen Regelkreises basierend auf Simulationsstudien.

In diesem Kontext wurde auch die Robustheit der Regelung gegenüber Nichtlinearitäten der Regelstrecke sowie Parameteränderungen umfassend geprüft. Die Simulationsergebnisse belegen, dass die entworfene Regelung eine hohe Regelgüte erreicht. Beliebige Führungssignale werden hochdynamisch und ohne bleibende Regelabweichung eingestellt. Die Regelung weist zudem eine hohe Störunterdrückung auf und ist sehr robust gegenüber Streckenparameteränderungen. Performance-Messungen am echten System bestätigen die Ergebnisse aus der Simulation und belegen eine hervorragende Regelgüte.

Publikationen:

- [1] Gonschorek, R.; Heitzer, H. D. ; de Moll, A.: Steer-by-Wire Hand Wheel Actuator - At the Transition from Manual to Autonomous Driving, 28. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Oktober 2019.
- [2] Koppers, M.; de Moll, A.; Gonschorek, R. ; Vieker, D.; Heitzer, H. D.: Development of Steer-by-Wire Functions: Virtual Prototype Tests with a Driving Simulator. DSC Europe 2019 Driving Simulation & Virtual Reality Conference & Exhibition, Strasbourg, Poster VR Product Solutions.
- [3] Gonschorek, R.: Control system for electric motor circuit. Hybrid voltage disturbance compensation for permanent-magnet synchronous motors (PMSM), 2018, Patent WO2018069726 A1.

Untersuchung von Fountain-Codes für die Display-Kamera-Kommunikation

Bei der Visible Light Communication werden Daten mithilfe von Licht übertragen. Am Lehrstuhl für Kommunikationstechnik befindet sich ein Verfahren in der Entwicklung, bei dem ein herkömmliches Display als Sender und eine Kamera als Empfänger fungiert. Die Daten werden hierbei einem Videosignal differentiell derart überlagert, dass die Modulation für den Betrachter nicht oder nur geringfügig sichtbar ist. Um eine erfolgreiche Decodierung des Datenstroms im Empfänger zu ermöglichen, werden die Bildaufnahme der Kamera und die Bildwiedergabe des Displays zeitlich synchronisiert. Insbesondere die Verwendung von Smartphone-Kameras als Empfänger kann jedoch dazu führen, dass durch Frame-Drops einzelne Kameraaufnahmen verloren gehen, wodurch eine erfolgreiche Decodierung verhindert wird. Es bietet sich daher die Nutzung von Fountain-Codes an, bei der eine Rekonstruktion der Daten auf Basis beliebiger codierter Symbole möglich ist.

Im Rahmen der Arbeit wurden die Konzepte der Fountain-Codes auf Ihre Anwendbarkeit im oben beschriebenen Szenario untersucht. Die Prinzipien dieser Klasse sog. „Rateless Erasure Codes“ wurden für die Anwendung in der Display-Kamera-Kommunikation adaptiert und ein darauf aufbauendes Konzept für eine Kanal-codierung entworfen, implementiert und auf seine Leistungsfähigkeit untersucht.

Mit den Ergebnissen lassen sich die Auswirkungen auftretender Übertragungsfehler gut kompensieren und sie liefern Ansätze für weitere Untersuchungen bezüglich einer effizienten Kanalcodierung für das entwickelte Verfahren.

Modellierung und Simulation von Transportprozessen im Plasma-Jet

Die Arbeit umfasst die Erkenntnisgewinnung von Transportgrößen, wie Drift-Geschwindigkeiten und Mobilitäten von Teilchenspezies, in diesem Fall Ionen. Sie dient der Entwicklung eines Hybrid-Codes, in dem Elektronen mittels einer Particle In Cell (PIC-) Simulation und Ionen fluiddynamisch behandelt werden. Zur fluiddynamischen Beschreibung von Teilchen ist ein thermodynamisches Gleichgewicht der Teilchen notwendig. Alle Teilchen in einem Kollektiv werden dann ausschließlich über die Dichte, den Druck sowie eine gemeinsame mittlere Geschwindigkeit beschrieben.

In der Masterarbeit wurden Simulationen durchgeführt sowie analytische Ausdrücke entwickelt, um diese Notwendigkeit zu prüfen. Mit Hilfe eines Monte Carlo Collision (MCC) Codes wurden driftende Ionen innerhalb eines elektrischen Feldes simuliert, aus denen Geschwindigkeits-, Energie- sowie Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungsfunktionen extrahiert werden konnten.

Der Vergleich von Simulationen, Experimenten sowie Ergebnissen analytischer Ausdrücke ließ eine aussagekräftige Auswertung der Datensätze zu. Als Fazit der Arbeit kann die Aussage getroffen werden, dass Ionen fluiddynamisch behandelt werden können.

Ausfallwahrscheinlichkeit einer Regelung unter dem Einfluss von Störgrößen

In der Master-Thesis wird eine Methode entwickelt, mit der die zeitliche Ausfallwahrscheinlichkeit einer Systemkonfiguration mit zugehöriger Steuerung quantifiziert wird. Störgrößen beeinflussen das Verhalten eines Systems negativ und führen dazu, dass die Gütekriterien der Steuerung/Regelung verletzt werden. Bei sicherheitsgerichteten Steuerungen kann dies eine Personengefährdung zur Folge haben.

Das Ziel bei der Auslegung einer Steuerung/Regelung muss sein, diese ausreichend robust zu entwerfen, sodass sich Störgrößen nicht schädlich auswirken. Die Ausfallwahrscheinlichkeit als Maß für die Robustheit einer Steuerung/Regelung ist steuerungstechnisch so zu minimieren, dass sie kleiner als die Ausfallwahrscheinlichkeit der Steuerungshardware ist. Diese wird in der Praxis mit probabilistischen (auf Wahrscheinlichkeitsrechnung basierenden) Methoden der Funktionalen Sicherheit ermittelt.

Für ein beispielhaftes Gasturbinensystem wird die Methode durchgeführt und plausibilisiert. Es wurde beschrieben, welche Störgrößen relevant sind und wie sich diese auf das System auswirken. Zudem wurde das Gasturbinensystem modelliert. Physikalische Grundlagen und Betriebsparameter einer realen Gasturbine wurden so berücksichtigt, dass das Simulationsmodell der Gasturbine als valide betrachtet wird (in einer vorangegangenen Arbeit erfolgt). Versuche mit unterschiedlichen Reglerkonfigurationen wurden mit der Simulation durchgeführt, welche das Verbesserungspotential von Steuerungen in Bezug auf die Robustheit aufzeigen.

Zwei wesentliche Folgen haben die Ergebnisse der Master-Thesis:

1. Die mit den normativen Vorgaben (ISO 13849 und/oder IEC 61508) berechneten Ergebnisse der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Steuerung müssen zum Schlechteren korrigiert werden. Sie beinhalten zwar die Ausfallwahrscheinlichkeit der Hardwareintegrität, berücksichtigen jedoch nicht die mangelnde Robustheit einer Steuerung.
2. Wenn die Steuerungskonfiguration gegenüber Störgrößen ausreichend robust ist (die Ausfallwahrscheinlichkeit verschwindend klein ist), können diese als Fehlerursache ausgeschlossen werden. Der Regler allein kann (falls sicherheitsgerichtet ausgelegt) die Sicherheitsintegrität des Systems sicherstellen und ein sicherheitsgerichtetes Ausschalten muss hardwaremäßig nicht realisiert werden. Dies erspart Kosten.

6. M. Sc. Caroline Charlotte Zhu Universität Duisburg-Essen

Entwicklung eines lernenden Energiemanagements für die lokale Energieerzeugung und Nachfragesteuerung in Wohngebäuden

In der vorliegenden Masterarbeit werden zwei Konzepte für das Energie- und Lastmanagement entwickelt und diskutiert. In den Untersuchungen wird Bezug auf ein System bestehend aus zwei Mehrfamilienhäusern auf der Nachfrageseite und einem Blockheizkraftwerk (BHKW) sowie einer Photovoltaik-Anlage (PV) auf der Erzeugerseite genommen. Weiterhin besteht ein Anschluss an das externe Strom- und Fernwärmenetz. Ziel des Energiemanagements ist die Synchronisation zwischen Erzeugung und Verbrauch elektrischer und thermischer Energie und somit die Verringerung von CO₂-Emissionen. Die lokal durch die eigene Versorgung zur Verfügung gestellte Energie soll möglichst lokal genutzt werden.

Für die Anlagensteuerung wird zunächst ein erweitertes Reinforcement-Learning-Verfahren eingeführt, welches die Berücksichtigung der Vorhersage von Last und PV-Energie ermöglicht, zugleich aber auch zu Konvergenzproblemen führen kann. Da die Dynamik des BHKW bekannt ist, wurde von einem lernenden Verfahren für die Anlage abgesehen.

Aus diesem Grund wird die Modellprädiktive Regelung für die Anlagensteuerung vorgenommen, wodurch ebenfalls eine Prädiktion des Systems und auch dessen Nebenbedingungen bei der Optimierung einer definierten Kostenfunktion sehr gut berücksichtigt werden können.

Nach der Betrachtung der lokalen Energieerzeugung wird ein Demand-Side-Managementkonzept mittels Reinforcement Learning entwickelt, welches Real-Time-Pricing als Demand-Response-Methode nutzt. Ein übergeordneter Agent regt durch Änderungen des Strompreises die Mieter zur Lastverschiebung an und führt somit zu einer besseren Synchronisation zwischen Energieerzeugung und Last. Dieses Konzept wurde in einem zweiten Ansatz um ein gerätebasiertes Reinforcement-Learning-Management erweitert, bei dem ein Energiemanagementsystem Geräte selbständig und auf Anforderung der Mieter optimal einschaltet.

Mit Hilfe einer Simulation auf Basis von erstellten Last- und PV-Profilen wird gezeigt, dass die Synchronisation zwischen Erzeugung und Nachfrage durch die Kombination der Modellprädiktiven Regelung und dem Reinforcement-Learning-Ansatz gewährleistet werden kann.