

Automatisierter Entwurf von Wellendigitalfiltern für die modellbasierte Entwicklung

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing.
Thomas Felderhoff

Wiss. Mitarbeiterin

M.Eng. Dipl.-Ing.
Nicole Nennstiel

Kompetenzplattform

Kommunikationstechnik
und Angewandte
Signalverarbeitung

Forschungsschwerpunkt

Process Improvement
& CAQ

Zeitraum

2005 – 2007

Förderung

TRAFO,
Transferorientierte
Forschung an Fachhoch-
schulen des Landes
Nordrhein-Westfalen

Kooperation

Hella KGaA
Hueck & Co
Lippstadt

Kontakt

Prof. Dr.-Ing.
Thomas Felderhoff
Fachbereich
Informations- und
Elektrotechnik
Institut für
Informationstechnik
Fachhochschule
Dortmund
Sonnenstraße 96
44139 Dortmund
Tel.: (0231) 9112-386
E-Mail: felderhoff
@fh-dortmund.de

Abstract

Die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in Produkte ist nahezu immer mit der Fragestellung nach einer geeigneten Hardware, insbesondere einem geeigneten Rechenwerk, verknüpft. Aus Kostengründen sollten solche Entscheidungen möglichst frühzeitig in der Entwicklungsphase getroffen werden, damit die Entwicklung die wesentlichen Aspekte von vorne herein berücksichtigen kann.

Am Beispiel von Filterentwürfen wird der Einfluss der gewählten Arithmetik sichtbar gemacht. Eine optimierte Lösung hängt aber auch von dem gewählten Verfahren ab. Und so ist es entscheidend, dass möglichst alle Entwurfsverfahren auch untereinander beurteilt werden können. Die komplexe Entwurfsmethodik [6] für Wellendigitalfilter (WDF) ist umgesetzt und kann somit direkt mit klassischen Verfahren [1,10] verglichen werden. Applikationsabhängig ist so eine Entscheidung für eine optimierte Lösung unter realen Randbedingungen möglich. Außerdem kann der für eine Umsetzung erforderliche Aufwand abgeschätzt werden, so dass frühzeitig eine Entscheidung über die zu verwendende Hardware getroffen werden kann.

I. Einleitung

Der automatisierte Entwurf von Wellendigitalfiltern [9, 14] ist in eine Entwurfsumgebung integriert, die im Rahmen des TRAFO-Förderprojektes MEESAS (Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme für Anwendungen der Signalverarbeitung) [5] entwickelt wurde. Sie unterstützt einen Ingenieur umfassend bei den zu treffenden Entscheidungen.

Darüber hinaus zielte das Projekt MEESAS auf eine Etablierung des Kernkompetenzbereiches Embedded Signal Processing im Institut für Informationstechnik und in der Kompetenzplattform Kommunikationstechnik und Angewandte Signalverarbeitung (KOPF-CAS) ab.

Projektpartner war die Firma Hella KGaA Hueck & Co.. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit wurde auf allen Projektebenen praktiziert. Vertrauensvolle Kooperationen [3,5] entstanden darüber hinaus insbesondere zu führenden Halbleiterfirmen.

II. Entwicklungsmethodik

Moderne Entwicklungswerkzeuge helfen einem Ingenieur bei der Entwicklung eines Lösungs-

ansatzes. Soll er die ihm übertragene Aufgabe umfassend und optimal lösen, so setzt dies ein breites Fachwissen über viele verschiedene Lösungsansätze voraus. Zwar ist das jeweilige Entwicklungswerkzeug bei der Lösung behilflich, trotzdem muss der Entwickler die jeweils gefundenen Lösungen richtig und selbstständig beurteilen.

Dieses Vorgehen sorgt schon bei der Zusammenstellung möglicherweise geeigneter Lösungsansätze dafür, dass jeder einzelne Schritt auf seine Zielstrebigkeit hin hinterfragt wird. Der Entwickler ist es also gewöhnt, seine Lösungen auf Tauglichkeit, Effizienz, Komplexität, Ressourcenbedarf, etc. zu überprüfen.

Da oftmals das Finden einer geeigneten Lösung von der Wahl der getroffenen Annahmen abhängt, können bei einer Umsetzung der Lösung in ein Produkt unvorhergesehene Probleme auftreten, wenn die Annahmen unzutreffend oder zu vereinfacht berücksichtigt wurden. Deshalb ist es wichtig, sich von der Realität ein möglichst umfassendes Bild (Modell) zu machen. Konkret kann dies heißen, dass bei der Suche nach einer Lösung die Arithmetik des zukünftig zu verwendenden Mikroprozessors Berücksichtigung [3,11] findet. Also sind target-spezifischen Eigenschaften als Randbedingungen zu formulieren, die dem Entwickler nach Möglichkeit die Chance geben, seinen Algorithmus sogar bit-genau [2] zu simulieren.

Daraus lassen sich die Schritte zu einer Implementierung des Lösungsalgorithmus auf der gewünschten Ziel-Hardware automatisieren [13]. Selbstverständlich wird eine so erarbeitete Lösung auf ihre Qualität hin verifiziert. Neben den grundsätzlichen Überprüfungen der Funktionalität ist speziell der Vergleich zwischen realer Implementierung und bit-genauer Simulation interessant [2].

Die fundamentalen Arbeitsebenen

- Entwurfsmethodik,
- target-spezifische Simulation,
- Implementierung und
- Verifikation

sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Überprüfung bzw. Verifikation der Ergebnisse auf unterschiedlichen Arbeitsebenen sichern eine hohe Qualität der Lösung bei gleichzeitig niedriger Fehleranfälligkeit. Trotz der in verschiedenen Bereichen hohen Komplexität können Teilaufgaben für

unterschiedliche Qualifikationsniveaus formuliert werden.

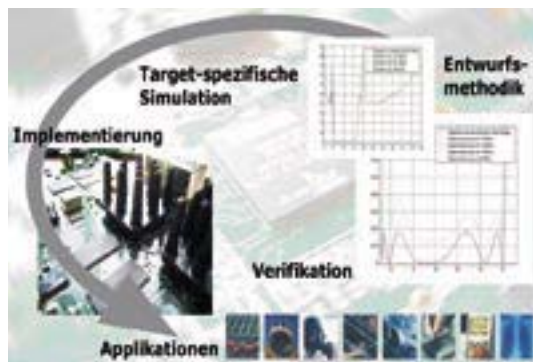


Abb. 1: Arbeitsebenen

III. Modellbasierte Entwicklung

Die modellbasierte Entwicklung integriert sich in die oben beschriebene Entwicklungsmethodik. Während bei den einzelnen Arbeitsebenen das Verifizieren der Lösungen im Hinblick auf die Spezifikation im Vordergrund stand, setzt die modellbasierte Entwicklung auf eine konsequente Durchgängigkeit in den verwendeten Entwicklungswerkzeugen.

Der entscheidende Punkt dabei ist, dass von der Realität ein so exaktes Modell erstellt wird, dass in der Realität auftretende Effekte und Artefakte in der Simulation durch Verwenden des Modells [13] ebenfalls berücksichtigt werden. Je umfassender ein Modell ist, desto sicherer treten Realisierungseffekte schon in der Simulation, also vor der Implementierung, auf. Vorteil ist, dass auf der Ebene der Simulation und der Entwurfsmethodik kostengünstig und frühzeitig Lösungsalternativen gesucht werden können. Selbstverständlich sind solche Modelle vielfältig verwendbar.

Besitzt man ein umfassendes Modell, dann ist in einem ersten Schritt die Überprüfung eines Lösungsansatzes im Zusammenspiel mit dem Modell möglich. Die Überprüfung ist als Software-in-the-Loop (SIL) bekannt und bezeichnet die erste Stufe einer Qualitätssicherung. Abbildung 2 verdeutlicht dies.

Ist man sich anschließend sicher, dass der Lösungsansatz in Kombination mit dem Modell auch



Abb. 2: Qualitätssicherung beim modellbasierten Entwurf

unter Berücksichtigung der Arithmetik eines aus gesuchten Mikroprozessors weiter verfolgt werden soll, dann kann die Implementierung des Algorithmus auf dem Target, d.h. der Ziel-Hardware, mit der bit-genauen Simulation des Algorithmus verglichen werden [2]. Dieser Vergleich, die zweite Stufe der Qualitätssicherung, wird als Processor-in-the-Loop (PIL) bezeichnet und ist in Abbildung 2 dargestellt.

Am bekanntesten ist der Hardware-in-the-Loop (HIL) Test, da er die dritte Stufe der Qualitätssicherung bezeichnet und oft die ersten beiden Verifikationsschritte impliziert. Hier wird der Prozessor mit dem entwickelten Algorithmus dann in Kombination mit dem Modell getestet (Abb. 2). Wenn im Vorfeld keine unzutreffenden Vereinfachungen der Realität angenommen wurden, dann stimmen die formulierten Anforderungen an eine Lösung, d.h. die Spezifikation, auch für die entwickelte Lösung mit der Realität recht gut überein. Die Integration (Abb. 2) ist dann meistens problemlos möglich.

Entscheidend für den Erfolg der modellbasierten Entwicklung ist die Qualität des Modells. Um frühzeitig bei einer Entwicklung das Modell verifizieren zu können, kann die erarbeitete Lösung mit dem realen (Ziel-)System getestet werden. Die Überprüfung wird als Rapid Prototyping (Abb. 2) bezeichnet.

Die modellbasierte Entwicklung wird nachfolgend aus Sicht der Digitalen Signalverarbeitung betrachtet, wobei der Entwurf von Digitalfiltern den Schwerpunkt bildet.

Verfügbare Entwicklungsumgebungen decken nicht alle Entwurfsmethoden ab. Wegen ihrer Stabilitäts- und Effizienzeigenschaften sind die Wellendigitalfilter [6] ausgesprochen interessant und vervollständigen die Entwurfsumgebung.

IV. Entwurfumgebung

Für die Erstellung einer geeigneten Entwicklungsumgebung wird auf das bekannte Entwicklungswerkzeug MATLAB/Simulink der Firma The MathWorks aufgesetzt. Dieses kommerzielle Entwicklungswerkzeug wird an Hochschulen sowohl in der Lehre als auch im wissenschaftlichen Kontext verwendet. Außerdem ist es brachenübergreifend in vielen Unternehmen verfügbar, so dass die erarbeitete Entwicklungsumgebung vielfältig zum Einsatz kommen kann.

Ziel dieser Entwicklungsumgebung ist es, ausgehend von der Spezifikation eines Systems bzw. eines Digitalfilters, dem Entwickler umfassend Lösungsvorschläge zu unterbreiten, mit denen die Spezifikation erfüllt werden können. Eine bit-genaue Simulation erlaubt die Beurteilung verschiedener Lösungsansätze im Hinblick auf Implementierungseffekte. Eine automatische Generierung des zu implementierenden Codes wird angeboten [3,11].

Die Entwurfsmethode von Wellendigitalfiltern besitzt den Vorteil, dass abgeleitet von stabilen Analogfiltern auch die abgeleiteten Digitalfilter absolut stabil realisiert werden können [4,6]. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der durch die begrenzte Datenwortbreite verursachten Quantisierungseffekte. Abbildung 3 zeigt den Entwurf von Wellendigitalfiltern, ausgehend von den als Toleranzschema formulierten Spezifikationen an den Dämpfungsverlauf. Hieraus wird ein Filter entwickelt, das diesem Toleranzschema genügt und als Anlogschaltung synthetisiert werden kann. Nach fest vorgeschriebenen Mechanismen wird eine Anlogschaltung in eine Signalflussstruktur, das WDF-Äquivalent, umgewandelt.

Die klassischen Filterentwurfsmethoden sind um die Entwurfsmethodik für Wellendigitalfilter ergänzt worden. Insbesondere die Stabilitätsgarantie, gerade für sicherheitsrelevante Anwendungen, wie sie naturgemäß im Kraftfahrzeug vorhanden sind, ist von besonderer Bedeutung. Die klassischen Entwurfsmethoden können mit Lösungen nach der Methode der Wellendigitalfilter verglichen und beurteilt werden [9].

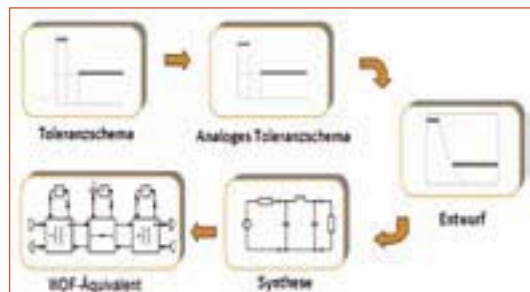


Abb. 3: Entwurf eines Wellendigitalfilters

In Abbildung 3 sind im WDF-Äquivalent so genannte Adaptoren zu sehen, die für die Entwicklungsumgebung in all ihren Ausprägungen modelliert werden müssen. Diese Ausprägungen beziehen sich auf die Art der beschriebenen Verbindung in Form von Serien- oder Paralleladaptoren für Serien- bzw. Parallelverbindungen der (analogen) Bauelemente. Ferner muss unterschieden werden, ob diese Adaptoren ein reflexionsfreies Tor besitzen oder nicht.

Dann sind die unterschiedlichen Quantisierungsmethoden, d.h. Schneiden, Betragschneiden oder Runden, zu unterscheiden. Für alle möglichen Permutationsmöglichkeiten ist ein entsprechender Adaptor zu bilden. Ein Ausschnitt der so entstandenen Bibliothek [9,12] ist in Abbildung 4 zu sehen und zeigt diese verschiedenen Adaptoren.

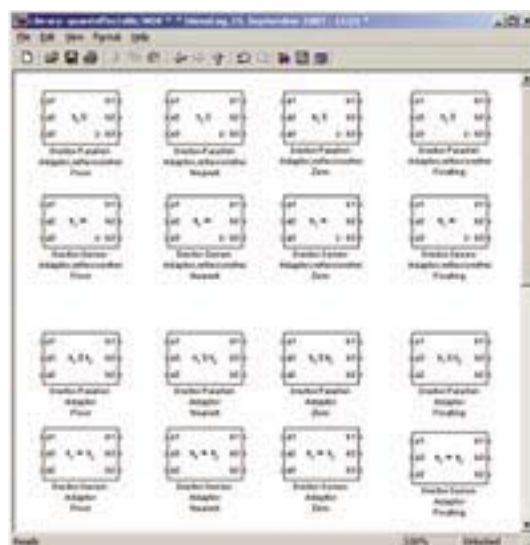


Abb. 4: Bibliothek verwendbarer Adaptoren zur Modellierung

Es wird an dieser Stelle deutlich, dass diese erstellte Bibliothek und die darin enthaltenen

der Lage sein, diesen C-Code zu verstehen und zu analysieren, kann aber auf Modellebene die eigentliche Aufgabenstellung immer zielorientiert abstrahieren.

Damit steht dem Entwickler eine durchgängige Entwicklungskette [5,9] vom Entwurf bis hin zur Implementierung zur Verfügung. Oftmals wird aber nicht eine Lösung gesucht, sondern es muss eine optimierte Lösung aus unterschiedlichen Ansätzen gefunden werden. Hier kann auf Modellebene ein Vergleich der unterschiedlichen Ergebnisse vorgenommen werden.

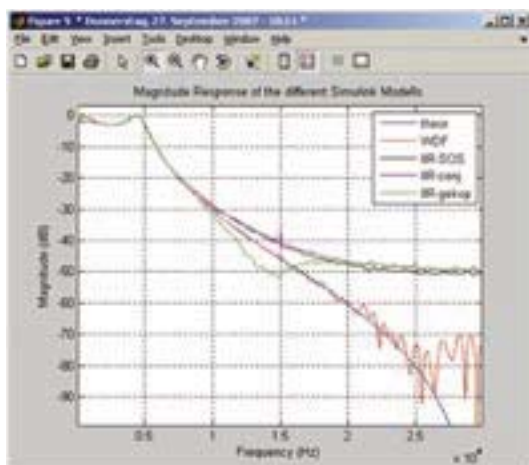


Abb. 8: Vergleich unterschiedlicher Lösungen

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse für unterschiedliche Entwurfsverfahren vergleichend zusammengestellt. Die Anforderungen aus der Spezifikation sind dieselben geblieben, aber die Entwurfsmethodik ist unterschiedlich. Diese Unterschiede werden bei Berücksichtigung begrenzter Datenwortbreiten deutlich. Ein Vergleich mit dem theoretisch optimalen Ergebnis zeigt, dass es durchaus sinnvoll ist, die Methode der Wellendigitalfilter als Lösung neben den klassischen Verfahren verfügbar zu haben, denn sie besitzt für diesen Entwurf die beste Näherung an das theoretische Optimum.

In allen Arbeitsebenen steht neben der Entwicklung einer geeigneten Lösung auch die gleichzeitige Überprüfung derselben immer im Vordergrund. Für Anwendungen der Digitalen Signalverarbeitung wird mit der modellbasierten Entwicklungsmethodik ständig Qualitätssicherung betrieben.

V. Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklungsumgebung kann nicht nur für den Entwurf und die Implementierung von Filtern auf verschiedenen Mikroprozessoren genutzt werden. Sie dient, einbezogen in die modellbasierte Entwicklungsmethodik, außerdem dazu, in jedem Entwicklungsschritt diesen im Hinblick auf seine Qualität und Zielstrebigkeit [5,9] zu hinterfragen.

Die automatisch generierten Modelle erlauben weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen, z.B. mit der Zielsetzung die durch die Quantisierung der Signale entstehenden nichtlinearen Effekte besser zu verstehen und damit andere Ansätze zu finden, die diese Effekte [4] abmildern können. Hier ist eine zukünftige Herausforderung, die optimalen Datenwortbreiten für die Speicherplätze bei einem Digitalfilter zu bestimmen. Da die Wertebereiche der einzelnen Speicher durchaus signifikant unterschiedlich sein können, ist die Kenntnis des Wertebereiches die wichtigste Voraussetzung für eine bedarfsorientierte und individuelle Skalierung der Signale. Ferner wirkt sich Quantisierung nicht in allen Signalflussstrukturen und an allen Stellen in einer Signalflussstruktur gleich empfindlich auf den Dämpfungsverlauf aus.

VI. Danksagung

Die Förderung des Projektes MEESAS, Projektnr. 331-80080805, im Rahmen des TRAFÖ-Förderprogramms für Fachhochschulen führte zu einer Stärkung des Kernkompetenzbereiches Embedded Signal Processing. Hierdurch profiliert sich zusätzlich auch die KOPF-CAS. Darüber hinaus wurde in MEESAS die Basis für eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Unternehmen, insbesondere der Fa. Hella KGaA, Hueck & Co., geschaffen. Solch eine Projekterfahrung ist gerade an Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Anwendungsorientierung von entscheidendem Vorteil.

VII. Literatur

- [1] Antoniou, A., Digital Filters – Analysis, Design and Applications, McGrawHill, 1993
- [2] Caliskan, I., Untersuchungen zur bit-genauen Simulation mit der Entwicklungsumgebung MATLAB/Simulink, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2007
- [3] Degtyarenko, N., Anbindung der VisualDSP++ Entwicklungsumgebung an MATLAB/Simulink zur automatischen Codegenerierung für Analog Devices Gleitkommaprozessoren, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2006
- [4] Felderhoff, T., Simulation of Nonlinear Circuits with Period Doubling and Chaotic Behavior by Wave Digital Filter Principles, IEEE Trans. On Circuit and Systems, 1994
- [5] Felderhoff, T. und Nennstiel, N., MEESAS – Modellbasierte Entwicklung eingebetteter System für Anwendungen der Signalverarbeitung, Abschlussbericht, 2007
- [6] Fettweis, A. Wave Digital Filters: Theory and Practice, Proceedings of the IEEE, 1986
- [7] Heinzerling, S., Vergleichende Untersuchungen zu den automatischen Codegeneratoren TargetLink und Real-time Workshop Embedded Coder, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2005
- [8] Kohn, A., Erprobung des Codegenerators Real-time Workshop Embedded Coder und Bewertung der Nutzbarkeit, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2007
- [9] Nennstiel, N., Erweiterung einer Filterentwurfsumgebung zur Realisierung von Wellendigitalfiltern unter Berücksichtigung der automatischen Strukturgenerierung, Master-Thesis, FH Dortmund, 2006
- [10] Oppenheim, A.V.; Schafer, R.W. und Buck, J.R., Discrete-Time Signal Processing, Prentice Hall, 1999
- [11] Shen, J., Entwicklung eines “Embedded Target for the Professional Audio Development Kit” zur automatischen Codegenerierung, Master-Thesis, FH Dortmund, 2008
- [12] Stremkus, A., Erstellung einer Bibliothek von Digitalfiltern mit minimalem Realisierungsaufwand, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2004
- [13] Vennes, B., Untersuchungen zur methodischen Vorgehensweise und zur Toolunterstützung beim Übergang zur Festkommarealisierung, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2006
- [14] Wegener, C., Automatisierter Entwurf von (Wellen-)Digitalfiltern bei spezieller Berücksichtigung von Festkommaarithmetik, Diplomarbeit, FH Dortmund, 2004