

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Die rasante Entwicklung hochfrequenzbasierter Übertragungssysteme in den letzten Jahren ist wesentlich durch eine Zunahme der Anwendungsbereiche und daraus resultierend einem Anstieg der Menge der zu übertragenden Daten gekennzeichnet. Eine hauptsächliche Triebkraft dieses stetigen Wachstumsprozesses ist dabei der exponentielle Preisverfall integrierter Schaltungen, welcher einen funktionalitäts- und kostenbestimmenden Systembestandteil ausmacht. Als Konsequenz aus dieser Entwicklung können die zur Herstellung eines Hochfrequenzübertragungssystems benötigten Voraussetzungen somit zu immer geringeren Kosten bei größerer Leistungsfähigkeit realisiert werden. Auf der Basis dieses technischen Fortschritts haben sich schließlich in vielen Anwendungsbereichen wie z.B. der drahtlosen Telekommunikation die Übertragungressourcen Bandbreite und Übertragungsdauer zu den kostenbestimmenden Faktoren entwickelt. Vor diesem Hintergrund sind leistungsfähige algorithmische Signalverarbeitungsverfahren zur optimalen und flexiblen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen gefragt.

In der vorliegenden Arbeit wurden schwerpunktmäßig Wellenformcodierungsalgorithmen zur flexiblen Quellencodierung von analogen Signalen unter Verwendung der Wavelet-Transformation für die Anwendung in Übertragungssystemen entwickelt. Die Wavelet-Transformation bietet sich dabei aufgrund

- der vorteilhaften zeitlich-spektralen Struktur der Elementarfunktionen,
- der Existenz eines schnellen Algorithmus zur Berechnung der Entwicklungskoeffizienten,
- des durch die Regularitätseigenschaften des Signals bestimmten Konvergenzverhaltens der Entwicklungskoeffizienten und
- umfangreicher Möglichkeiten zur Anpassung der Transformationsparameter an das zu komprimierende Signal

als potentiell leistungsfähiger Kandidat für eine Transformationscodierung an.

Zur Einordnung der spezifischen Vorteile und Eigenarten, die aus einer Signalbeschreibung durch Linearkombination von skalierten und dilatierten Modifikationen einer Prototypfunktion erwachsen, wurden zunächst konventionelle Zeit-Frequenztransformationen betrachtet, deren Nachteile schließlich die Entwicklung der kontinuierlichen Wavelet-Transformation motivierten. Anschließend wurde die Entwicklung von der stark redundanzbehafteten kontinuierlichen Wavelet-Transformation zur redundanzfreien orthonormalen Wavelet-Transformation mit diskreten Transformationsparametern nachgezeichnet. Dieser Teil der Arbeit schließt mit einer vergleichenden Gegenüberstellung von Kurzzeit-Fourier-Transformation und Wavelet-Transformation mit diskreten Transformationsparametern. Als wesentliche Erkenntnisse bezüglich einer Verwendung der Wavelet-Transformation zu Kompressionszwecken konnte dabei festgehalten werden, daß Wavelet-Transformationen aufgrund ihrer Konstant-Q-Charakteristik eine besser lokalisierte und oftmals kompaktere Signalbeschreibung als Kurzzeit-Fourier-Transformationen ermöglichen.

Folgend wurde über den Zusammenhang von Wavelets und dyadischen Filterbänken, der sich durch die Multi-Skalen-Analyse ergibt, der zentraler Punkt der anschließend vorgestellten Kompressionsalgorithmen entwickelt: Das für die Signalkompression wichtige Abklingen der Entwicklungskoeffizientenbeträge ist durch die lokalen Regularitätseigenschaften des zugrunde liegenden analogen Signals und die Anzahl der verschwundenen Wavelet-Momente bestimmt. Grundsätzlich erzeugen glatte Funktionen schnell abklingende Entwicklungskoeffizienten, wogegen isolierte stark unregelmäßige Funktionsverläufe in ihrer lokal begrenzten Umgebung ein langsames Abklingen der Entwicklungskoeffizienten zur Folge haben.

Dieser zentrale Bestandteil der Wavelet-Theorie wurde bei dem vorrangigen Ziel der vorliegenden Arbeit, dem Entwurf von Wellenformcodierungsverfahren zur Kompression nichtstationärer Signale durch eine als Rangordnungsoperation interpretierbare, nichtlineare Schwellwertquantisierung im Bildbereich der Wavelet-Paket-Transformation berücksichtigt. Die komprimierte Darstellung eines Signalblocks beschränkt sich danach auf die jeweils energiereichsten, nach fallendem Betrag angeordneten Entwicklungskoeffizienten. Da sich die Regularitätseigenschaften der nichtstationären, exemplarisch betrachteten EKG-Signale über verschiedene Signalblöcke hinweg als näherungsweise konstant betrachten ließen, erzeugte diese Rangordnungsoperation die Abbildung des ursprünglich nichtstationären Signalprozesses auf den in guter Näherung stationären Prozeß der nach fallenden Beträgen sortierten Entwicklungskoeffizienten. Die vor der Signalübertragung durchgeführte Quantisierung konnte so für stationäre Verhältnisse dimensioniert werden.

Ein weiterer neuartiger Bestandteil der vorgestellten Transformationscodierungsverfahren war die adaptive Prädiktion der Entwicklungskoeffizienten. Hierbei wurden die nach Wavelet-Paket-Transformation und Schwellwertquantisierung zwischen den Entwicklungskoeffizienten vorhandenen Korrelationen zur Dynamikbereichsreduktion ausgenutzt, so daß eine geringere Bitrate zur Quantisierung benötigt wird. Grundlage dieses zusätzlichen Kompressionsschritts war eine geometrische Interpretation der korrelativen Verhältnisse zwischen den Entwicklungskoeffizienten. Diese führte zu einer Unterscheidung zwischen Koeffizienten, die

sich als Prädiktionsgrundlage eignen und Koeffizienten die sich mit geringem Fehler schätzen lassen.

Abschließend wurde die Leistungsfähigkeit der entwickelten Konzepte durch die exemplarische Anwendung zweier vollständiger Quellcodierungssysteme als Übertragungssystembestandteile auf die EKG-Signale der MIT-BIH-Datenbasis nachgewiesen. Das erste Quellcodierungsverfahren wurde dabei mit dem Ziel einer konstanten Verzerrung bei geringer Übertragungsrate dimensioniert, während die zweite Methode eine geringe Verzerrung für eine Übertragungsrate, die möglichst nahe an einer oberen Grenze liegt, anstrebte. In den Veröffentlichungen [138–140] sind basierend auf den hier vorgestellten Algorithmen Weiterentwicklungen publiziert. Es werden modifizierte Verfahren zur Kompression von polysomnografischen Signalen und Bildern zur Anwendung in Übertragungssystemen vorgestellt.

Neben der hier vorrangig betrachteten Anwendung der Wavelet-Transformation zur Signalkompression existieren sicherlich noch weitere potentiell sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten der Wavelet-Transformation in Übertragungssystemen. Für einen zweckmäßigen Einsatz dieser Theorie sollte dabei allerdings immer der aus der Multi-Skalen-Analyse resultierende Zusammenhang der zeitkontinuierlichen Wavelets und der damit zu assoziierenden zeitdiskreten Filterbänke, die die Grundlage der effektiven Koeffizientenberechnung auf digitaler Signalverarbeitungsebene bilden, berücksichtigt werden. Eine außergewöhnliche Leistungsfähigkeit kann zumeist nicht erreicht werden, wenn dieser Zusammenhang unbeachtet bleibt. So ist in der Regel die Verwendung einer mit Wavelets korrespondierenden Filterbank einzig aufgrund ihrer Konstant-Q-Filtercharakteristik nicht sinnvoll. Es bedarf der Berücksichtigung der Zusammenhänge in der kontinuierlichen Domäne, damit sich der Einsatz der Wavelet-Theorie von der ausschließlichen Betrachtung als Filterbank abhebt.