

Kapitel 1

Einleitung

Der rasante Fortschritt der Halbleitertechnologie in den letzten Jahrzehnten ist im wesentlichen durch eine stetige Reduktion der Strukturgrößen und eine Verringerung der benötigten Leistungsaufnahme bei fallendem Preis pro Chipfläche begründet. Diese Entwicklung erlaubt die immer kostengünstigere Herstellung mikroelektronischer Schaltungen, deren Integrationsdichte, Komplexität und Leistungsfähigkeit qualitativ exponentiell im Laufe der Zeit ansteigen [1,2]. Die Kommunikationstechnik und besonders die mobile Kommunikationstechnik profitieren außerordentlich von diesem Fortschritt. Die bezeichnenden Wachstumsmerkmale der Mikroelektronik ermöglichen verringerte Größenabmessungen, reduziertes Gewicht und einen verminderten Energiebedarf der mobilen Systemkomponenten bei einer gleichzeitigen Steigerung der Funktionalität des gesamten Kommunikationssystems und kommen damit gerade in drahtlosen Übertragungsszenarien in vollem Maße zur Geltung [3, 4]. Besonders bezeichnend für diese Entwicklung ist der weltweite Erfolg des digitalen zellularen Mobilfunksystems GSM (Global System for Mobile Communications) [5, 6]. Daneben vollzieht sich seit Anfang der neunziger Jahre ein umfangreicher Aufschwung hochfrequenzbasierter digitaler Übertragungssysteme mit verschiedensten Einsatzbereichen und Ausmaßen. Die Bandbreite reicht hier von energieautarken Identifikationssystemen auf der Basis der Transpondertechnik, die in niederfrequenten Kilo-Hertz-Bereichen mit Datenraten unterhalb von 100 Bit/s arbeiten [3, 7], bis hin zu aufwendigen, die ganze Welt umspannenden Satellitenfunksystemen auf der Basis der Mikrowellenübertragung im Giga-Hertz-Bereich. Ein Beispiel hierfür ist das Iridium-System [8,9].

Neben der hieraus resultierenden Zunahme drahtlos zu übertragender Signal- und Datenmengen wächst auch deren Verschiedenartigkeit enorm an. Auch für diesen Umstand ist die bisherige Entwicklung von GSM und der geplante Ausbau zu einem integralen Bestandteil eines mobilen Kommunikationssystems der dritten Generation charakteristisch. Etablierte sich GSM in erster Linie über die Möglichkeit mobil telefonieren zu können, so zeichnet sich die nächste Generation durch multimediale Fähigkeiten zur Sprach-, Audio-, Bild- sowie Videodatenverarbeitung und ein universelleres Konzept zur flexiblen Übertragung digitaler Signale aus [4, 10].

Die aktuelle Entwicklung hochfrequenzbasierender Übertragungssysteme ist über das Beispiel GSM hinaus ganz allgemein durch einen Anstieg der Menge der zu übertragenden Daten und durch eine Zunahme der Anwendungsbereiche gekennzeichnet. Neuartige und spezifische Anwendungen bringen dabei Signale mit besonderen Eigenarten mit sich, die bei der Verarbeitung und Übertragung berücksichtigt werden müssen. Ein charakteristisches Beispiel ist hier ein funkgestütztes Telemetriesystem, dessen mobile Einheit schematisch aus Sensoren zur Akquisition analoger elektrischer Signale, einer Analog/Digitalumsetzung, digitalen Signalverarbeitungseinheiten und Hochfrequenzkomponenten besteht. Die hier zu übertragenden Signale weisen oftmals individuelle, nichtstationäre Eigenschaften sowie einen zeitlich variierenden Bandbreitebedarf auf, oder werden vom Empfänger mit einer situationsabhängigen Qualität benötigt.

Als zwangsläufige Konsequenz aus diesem Entwicklungsprozeß ergibt sich in erster Linie ein erhöhter Bedarf an Kanalkapazität. Da diese einen maßgeblichen Kostenfaktor bei der Signalübertragung darstellt, sind Verfahren und Methoden gefragt, die eine optimale Ausnutzung der vorhandenen Kanalressourcen Bandbreite und Übertragungsdauer ermöglichen. Ebenso sind neuartige Signalverarbeitungsalgorithmen und Übertragungskonzepte zur bestmöglichen Anpassung der variablen Informationsflüsse an die zur Verfügung stehenden Kanalkapazitäten sowie zur Adaption der Kanalkapazitäten an variierende Informationsflüsse und Informationsbedürfnisse erforderlich. Die Auswirkungen des mikroelektronischen Fortschritts sind in diesem Zusammenhang beachtenswert. Durch fallende Kosten und steigende Leistungsfähigkeit insbesondere der mobilen Systemkomponenten entwickelten sich Bandbreite und Übertragungsdauer aufgrund steigenden Bedarfs aber limitierter Quantität zu den kostenbestimmenden Größen. Der Einsatz leistungsfähiger ressourcensparender Algorithmen erhält daher eine immer größere Berechtigung. Der erhöhte hardware- und softwaretechnische Aufwand und die damit verbundenen Mehrkosten amortisieren sich über den verringerten Übertragungsressourcenbedarf.

In dieser Arbeit sollen Algorithmen und Verfahren zur Signalkompression vorgestellt und diskutiert werden, die die benötigte Leistungsfähigkeit und Flexibilität bereitstellen. Die zu übertragenden digitalen Signale werden dabei grundsätzlich als zeit- und wertdiskretisierte analoge Signale, wie sie beispielsweise in Telemetriesystemen auftreten, angenommen. Unter diesen Voraussetzungen wird die Signalkompression auch als Wellenformcodierung bezeichnet [11]. Um zeitabhängigen Informationsgehalt und Relevanz der zu verarbeitenden Signale bewerten zu können, basieren die dargelegten Algorithmen zur Kompression und Quellkodierung auf einer Analyse des verbundenen zeitlich-spektralen Signalverhaltens.

Die Grundlage der vorgestellten Konzepte bildet die Wavelet-Transformation, die sich im Laufe des letzten Jahrzehnts als leistungsfähige Alternative zu bekannten Zeit-Frequenz-Transformationen etabliert hat [12, 13]. Hinsichtlich der gestellten Problematik empfiehlt sich die Wavelet-Transformation besonders wegen der Möglichkeit der orthonormalen Signalzerlegung in zeitlich- und spektral lokalisierbare und überlappende elementare Bestandteile sowie wegen vorteilhaft verwendbarer Zusammenhänge zwischen Signaleigenschaften

und Entwicklungskoeffizienten [14–19]. Darüber hinaus existieren viele Freiheitsgrade bei der Konstruktion des zugrundeliegenden Funktionensystems, die eine signaladaptive Gestaltung der Transformation zulassen.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt:

Das Kapitel 2 gibt ausgehend von der Fourier-Transformation einen Überblick über Eigenschaften linearer Zeit-Frequenz-Transformationen. Exemplarisch wird die Gabor-Transformation als Spezialfall der Kurzzeit-Fourier-Transformation diskutiert und wichtige Merkmale verbunden zeitlich-spektraler Signaldarstellungen herausgestellt.

Kapitel 3 befaßt sich mit der kontinuierlichen Wavelet-Transformation als den wesentlichsten Ursprung der Wavelet-Theorie. Die ursprüngliche Motivation zur Entwicklung eines zur Kurzzeit-Fourier-Transformation alternativen verbunden zeitlich-spektralen Analysekonzepts werden dargelegt. Weiter werden die grundlegenden Eigenschaften der kontinuierlichen Wavelet-Transformation und die daraus resultierenden Vorteile bei der Signalanalyse aufgezeigt. Das Kapitel endet mit einer zusammenfassenden Gegenüberstellung von Wavelet-Transformation und Kurzzeit-Fourier-Transformationen.

In dem Kapitel 4 werden die wesentlichen Grundlagen für die in Kapitel 5 vorgestellten Algorithmen zur Wellenformcodierung entwickelt. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Zusammenhang von Wavelets und Filterbänken zu. Dargestellt wird unter welchen Bedingungen orthonormale und perfekt rekonstruierende Filterbänke mit orthonormalen und biorthogonalen Wavelets korrespondieren. Auf der Basis der Multi-Skalen-Analyse wird dann erläutert, wie Wavelet-Funktionensysteme mit bestimmten Eigenschaften ausgehend von Filterbänken konstruiert werden können, und welche Anforderungen die Filterkoeffizienten dabei erfüllen müssen. Am Ende des Kapitels sind die für Anwendungen in Übertragungssystemen wichtigsten Eigenschaften der Wavelet-Transformation zusammengefaßt.

In Kapitel 5 werden neuartige Anwendungen der Wavelet-Transformation in Übertragungssystemen vorgestellt, die eine flexible und leistungsfähige Anpassung schwankender Informationsflüsse und Informationsbedürfnisse an die zur Verfügung stehenden ebenfalls variablen Übertragungskapazitäten ermöglichen. Zentraler Bestandteil der dargestellten Transformationscodierungsverfahren zur Wellenformcodierung ist die Wavelet-Paket-Transformation. Darüber hinaus umfaßt das vorgestellte Quellencodierverfahren Quantisierungs- und Entropie-Codierungsoperationen, die zum Erreichen einer herausragenden integralen Leistungsfähigkeit angepaßt an die Transformationscodierung optimiert werden. Die parametrische Dimensionierung des Kompressionsverfahren ist exemplarisch für EKG-Signale durchgeführt. EKG-Signale weisen als nichtstationäre Signale Eigenschaften auf, die für viele weitere im Kontext der telemetrischen Übertragung auftretende Signalklassen typisch sind.

Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und einem Ausblick.