

Inhalt

Worum geht es in diesem Band?	7
[1994] Wandel in der Nachrichtentechnik.....	9
[1997] Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtenübertragung - Elemente, Bausteine, Systeme und ihre Algorithmen.....	19
Vorwort zur zweiten Auflage.....	19
Vorwort zur ersten Auflage.....	20
Einleitung	23
1. Grundlagen der DSV	27
1. 1. Zahlenfolgen.....	28
1. 2. Diskrete Fourier-Transformation (DFT): Analyse von Zahlenfolgen	42
1. 3. Digitale Filter: Filterung von Zahlenfolgen	56
1. 4. Veränderung der Abtastfrequenz.....	65
2. Algorithmen der DSV	73
2. 1. Struktur und Beschreibung algorithmischer Systeme	73
2. 2. Algorithmische Elemente: Mathematische Operationen.....	80
2. 3. Algorithmische Bausteine	93
2. 4. Algorithmische Teilsysteme.....	179
2. 5. Algorithmische Systeme in der analogen Übertragungstechnik.....	210
2. 6. Algorithmische Systeme in der digitalen Übertragungstechnik.....	245
2. 7. Algorithmische Systeme in der Meßtechnik.....	269
3. Realisierung der DSV	297
3. 1. Analoge und digitale Signalverarbeitung.....	297
3. 2. Echtzeit- und Stapelverarbeitung	298

Inhalt

3. 3. Wortlängeneffekte	300
3. 4. Wortlänge der Wandler	301
3. 5. Wortlänge im Rechenwerk	301
4. Entwicklungsmethodik in der DSV	307
4. 1. Entwicklungsphasen	307
4. 2. Simulation in der Entwurfsphase.....	310
4. 3. Implementierung	317
5. PC-Übungen mit MATLAB/SIMULINK und DSV_SIM.....	321
5. 1. Übung A: Matlab/Simulink	323
5. 2. Übung B: Filter	335
5. 3. Übung C: Mischung und Abtastung von Bandpaßsignalen	347
5. 4. Übung D: Modulation	353
5. 6. Übung F: Nichtlineare Kennlinie und Schwingungserzeugung.....	367
6. Anhang.....	377
6. 1. Fourier-Transformation	377
6. 2. Z-Transformation	381
6. 3. Hilbert -Transformation.....	384
6. 4. Abtasttheorem für Zeitfunktionen.....	386
6. 5. Einführung in MATLAB	388
6. 6. Einführung in SIMULINK	398
6. 7. Einführung in DSV_SIM	418
6. 8. Programme und Dateien auf der Diskette.....	433
6. 9. Lösungen zu den Übungsaufgaben	454

[1994] Wandel in der Nachrichtentechnik

Seit etwa 25 Jahren hat die Digitale Signalverarbeitung eine stürmische Entwicklung durchgemacht und sich jetzt endgültig als eine eigenständige Realisierungsalternative in der elektrischen Nachrichtentechnik etabliert. Dabei sind neue Methodiken und Betrachtungsweisen entwickelt worden, die auch die bisherige analoge Technik in einem anderen Licht erscheinen lassen. Diese neuen Aspekte, die besonders in der Buchveröffentlichung zu Tage treten, werden im Folgenden untersucht.¹

Wandel in der Entwicklungsmethodik

Aufbauend auf den Grundlagen der Elektrizitätslehre der Physik begann die elektrische Nachrichtentechnik ausgestattet mit einem relativ niedrigem technologischen Bestand an Bauelementen ihren Siegeszug vor allem durch Intuitionen und Erfindungsreichtum. Im Vordergrund des Interesses standen Systeme der Signalübertragung. Bestandteile solcher Systeme sind immer auch signalverarbeitende Systeme. Filterung, Modulation, Demodulation, Mischung und Gleichrichtung sind Beispiele zur Signalverarbeitung, die zum Kernbereich der analogen Nachrichtentechnik gehören. Durchgeführt wurde diese Signalverarbeitung von Schaltungen, die aus Widerständen, Induktivitäten, Überträgern, Kapazitäten, Dioden und Transistoren bestehen. Gefunden wurden diese Schaltungen zunächst in einer intuitiv-experimentellen Vorgehensweise. Analyse und Berechnung solcher Schaltungen waren deshalb seit jeher ein wichtiges Betätigungsfeld von Nachrichtentechnikern. Ergebnis der Analyse ist die mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Eingangs- und Ausgangssignal eines Signalverarbeitungsblocks.

Eine Abkehr von dieser klassischen Entwicklungsmethodik wurde durch die teilweise Ablösung der Analogtechnik durch digitale Signalverarbeitung eingeleitet. Bild 1 gibt einen Überblick über die Stufen des Umbruchs in der

¹ Vgl. Gerdson, Peter und Peter Kröger: *Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtenübertragung*, Wiesbaden 1993.

1. Grundlagen der DSV

Digitale Signalverarbeitung bedeutet die Verarbeitung von Digitalsignalen. Das sind Signale, die in der Form von Zahlenfolgen vorliegen, wobei die Zahlen häufig Dualzahlen sind. So wie die Zahlenfolgen in der Regel durch Abtasten analoger Signale entstanden sind, hat sich auch die digitale Signalverarbeitung in enger Anlehnung an die analoge Signalverarbeitung durch Schaltungen mit elektronischen und elektrischen Bauelementen entwickelt. Bild 1.1

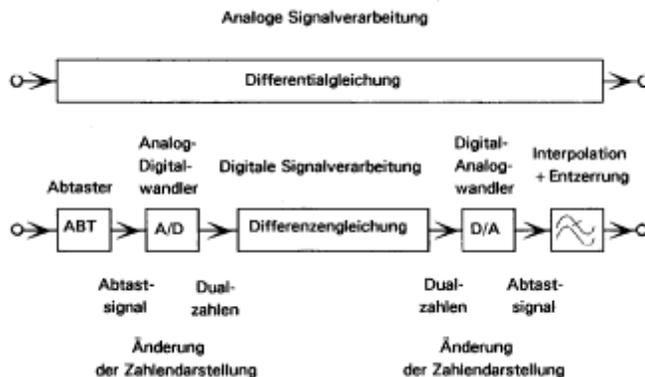


Bild 1.1. Analoge und digitale Signalverarbeitung

zeigt den Übergang von der analogen zur digitalen Signalverarbeitung. Betrachtet man die Signalverarbeitung am Beispiel eines Filters der analogen Schaltungstechnik, so lässt sich das Ausgangssignal mit Hilfe einer Differentialgleichung aus dem Eingangssignal berechnen. Den Übergang auf ein digitales System bewirkt der Vorgang der Digitalisierung. Dabei wird durch äquidistantes Abtasten mit einer Abtastperiodendauer T_A dem Eingangssignal eine Folge von Funktionswerten entnommen. Die so entstehenden Zahlen werden am Ausgang des Abtasters durch proportionale Flächen von Impulsen gleicher Form und Dauer dargestellt.

2. Algorithmen der DSV

Den Schaltungen der analogen Signalverarbeitung entsprechen Algorithmen in der digitalen Signalverarbeitung. Diese Algorithmen sind Rechenvorschriften zur Berechnung einer Ausgangszahlenfolge aus einer Eingangszahlenfolge. Häufig wird in der digitalen Signalverarbeitung etwas bewirkt, was früher durch analoge Schaltungstechnik gelöst wurde. Daher gibt es viele Algorithmen, die in Anlehnung an die analoge Schaltungstechnik entstanden sind. Meist sind jedoch Algorithmen, die direkt von der mathematisch-signaltheoretischen Beschreibung ausgehen, wirksamer. Während die analoge Schaltungstechnik vollkommen festgelegt wird durch die Angabe der Schaltung, ist dies bei der digitalen Signalverarbeitung nicht der Fall. Vielmehr sagen die Schaltungsunterlagen eines digitalen signalverarbeitenden Systems über die Art der Signalverarbeitung in der Regel überhaupt nichts aus. Somit stellt sich die Frage nach einer geeigneten Methode zur Darstellung der Algorithmen.

2. 1. Struktur und Beschreibung algorithmischer Systeme

Ein System der analogen Signalverarbeitung ist vollständig beschrieben durch die Angabe seines Schaltbildes mit der Spezifikation der Bauelemente. Betrachtet man als Beispiel eines solchen Systems einen Empfänger der Nachrichtenübertragungstechnik, so lässt sich ein hierarchischer Aufbau erkennen: Der Empfänger enthält u.a. einen Mischer, einen Zwischenfrequenzverstärker und einen Demodulator. Ein Zwischenfrequenzverstärker besteht aus Filtern und Verstärkern, die wiederum aus Dioden, Transistoren, Spulen und Kondensatoren zusammengesetzt sind. Im folgenden soll die Struktur und Beschreibung eines Systems der digitalen Signalverarbeitung systematisch dargestellt werden.

2. 1. 1. Hierarchischer Systemaufbau

Ein System der digitalen Signalverarbeitung leitet aus Eingangszahlenfolgen an Hand definierter Rechenvorschriften Ausgangszahlenfolgen ab. Diese

3. Realisierung der DSV

In diesem Kapitel soll in geraffter Weise eine Antwort gegeben werden auf die beiden Fragen: Wie sieht die Realisierung eines Systems der digitalen Signalverarbeitung aus? Welche Probleme treten bei der Realisierung auf? Dazu werden die analoge und die digitale Signalverarbeitung vergleichend betrachtet, der Weg vom Algorithmus zum Rechenweg skizziert und die Auswirkungen der Zahlendarstellung untersucht.

3. 1. Analoge und digitale Signalverarbeitung

Für Systeme der Signalverarbeitung in der Nachrichtenübertragungstechnik gibt es zwei Methoden der Realisierung: analoge Signalverarbeitung, digitale Signalverarbeitung.

Dabei handelt es sich nicht um miteinander konkurrierende, sondern um einander ergänzende Methoden. Seitdem sich die digitale Signalverarbeitung als eine Realisierungsmethode durchgesetzt hat, gilt es, das breite Spektrum an Signalverarbeitungsaufgaben daraufhin zu untersuchen, ob eine bestimmte Aufgabe hinsichtlich technischer Qualität und Wirtschaftlichkeit besser in analoger oder in digitaler Signalverarbeitung gelöst werden kann. So werden gegenwärtig in zunehmenden Maße Aufgaben statt in analoger in digitaler Signalverarbeitung realisiert. Grundsätzlich ist es aber so, dass innerhalb eines Gesamtsystems beide Methoden der Signalverarbeitung Anwendung finden.

Am Anfang der Realisierung eines signalverarbeitenden Systems steht die Formulierung der Anforderungen als Antwort auf die Frage: Was soll es leisten? Das Endergebnis der Realisierung ist dann eine Hardware, bestehend aus einer Leiterplatte mit Bauelementen und integrierten Schaltungen und, wenn es sich um Prozessoren handelt, ergänzt durch Software. Der Weg von den Anforderungen bzw. von der Aufgabenstellung zum Endergebnis ist bei der analogen und der digitalen Signalverarbeitung naturgemäß unterschiedlich. Bild 3.1 stellt die unterschiedlichen Realisierungswege schematisch dar. In beiden Fällen folgt in der Regel auf die Aufgabenstellung die Formulierung einer Lösung in der Symbolsprache der Mathematik. Bei analogen Systemen ist die nächste Stufe die SCHALTUNG, die festlegt, in welcher Weise

6. Anhang

Die Beschäftigung mit Themen der theoretischen Nachrichtentechnik erfordert die Verwendung von Ergebnissen aus den Grundlagen. Besonders wichtig sind dabei die Fourier-Transformation, die diskrete Fourier-Transformation und die Hilbert-Transformation mit ihren Korrespondenzen. Um das Lesen des Buches zu erleichtern, sind in diesem Anhang wichtige Grundlagen und Tabellen zu den Transformationen zusammengestellt.

Ein großer Teil des Anhangs beschreibt die im Übungsabschnitt 5 benutzten Programme MATLAB/SIMULINK und DSV_SIM. Funktion, Installation und Bedienung dieser Programme werden ausführlich erläutert. Dateien zu den Programmen findet man auf der Begleitdiskette. Zur Funktionssimulation von Systemen und Teilsystemen der Nachrichtenübertragungstechnik und speziell der Systeme dieses Buches wurde in Ergänzung zur Signal Processing Toolbox der Fa. The MathWorks eine Toolbox DsvCom entwickelt, die ebenfalls Bestandteil der Diskette ist. Eine Beschreibung dieser Toolbox findet man in Abschn. 6. 8. 5.

Am Schluß des Anhangs sind die Lösungen zu den Übungsaufgaben des Abschnittes 5 zu finden.

6. 1. Fourier-Transformation

Diese Transformation ist für den Nachrichtentechniker von grundlegender Bedeutung. Sie begründet das Denken im Zeit- und im Frequenzbereich. Zu einer Zeitfunktion lässt sich eine korrespondierende Frequenzfunktion berechnen. Bestimmte, mit den Zeitfunktionen durchzuführende Rechenoperationen haben andere korrespondierende Rechenoperationen für die entsprechenden Frequenzfunktionen. Nützlich sind daher Korrespondenz-Tabellen für die Funktionen selbst, aber auch für die Rechenoperationen.

6. 1. 1. Definition

Einer Zeitfunktion $u(t)$ wird durch das Integral