



Michael Möser

Analyse und Synthese akustischer Spektren

Mit 108 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg NewYork
London Paris Tokyo 1988

Dr. Ing.-habil. Michael Möser

Technische Universität Berlin, Fachbereich 21 – Umwelttechnik,
Institut für Technische Akustik, Einsteinufer 27, D-1000 Berlin 10

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Möser, Michael: Analyse und Synthese akustischer Spektren / Michael Möser. –

Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo . Springer, 1988

Zugl. Teildr. von: Berlin, Techn. Univ., Habil.-Schr.

ISBN-13: 978-3-540-18947-3 e-ISBN-13: 978-3-642-93374-5

DOI: 10.1007/978-3-642-93374-5

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1988

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

2068/3020-543210

Vorwort

Die Methode der Zerlegung physikalischer Vorgänge in spektrale Komponenten - das Mittel der Fourier-Transformation - ist ein weithin bekanntes und viel benutztes Hilfsmittel des Ingenieurs. Dieses Buch soll denn auch der langen Reihe vorhandener Abhandlungen über die Fourier-Transformation keine weitere hinzufügen: es behandelt das Teilproblem, wie sich erwünschte spektrale Verläufe realisieren lassen.

Die Aufgabenstellung, einen zeitlichen oder örtlichen Verlauf so zu gestalten, daß dessen Spektrum eine gewisse erwünschte Form besitzt oder dieser doch möglichst nahe kommt, ist für viele praktische Probleme von Interesse. Dabei kommen hier vor allem entweder konstante Spektren bei vorausgesetzt nicht sehr kurzen Originalfunktionen als Ziel in Betracht, oder es sollen nicht sehr lange Originalverläufe so bestimmt werden, daß sie so schmalbandig wie eben möglich sind.

Auf konstante Spektren wird etwa abgezielt, wenn eine Strahlergruppe in Form einer Sendezelle zum Zwecke möglichst gleichmäßiger Versorgung aller Richtungen mit einer so großen Strahlungsenergie eingesetzt werden soll, daß diese mit einem einzelnen Strahlerelement nicht erreicht werden kann. Dieses Problem tritt immer dann auf, wenn ein breiter zweidimensionaler Horizont bestrahlt werden soll, also beispielsweise in der Beschallungstechnik. Auch Verfahren, die mit den von Körpern oder von Störungen herstammenden Echos arbeiten, benötigen oft eine ungebündelte Versorgung des Raumes mit Strahlung : in der Radar- und Sonartechnik, aber auch für zerstörungsfreie Prüf- und Diagnoseverfahren mit Ultraschall und für geologische Untersuchungen sind primäre Schwingungsfelder mit der genannten Qualität wünschenswert.

Impuls-ähnliche Spektren interessieren als Gewichtsspektren für die Analyse abgetasteter Signale. Wie in Kapitel 3 geschildert wird, läßt sich das Spektrum eines beobachteten Vorganges nur bis auf die Faltung mit dem Spektrum der verwendeten Fensterung ermitteln, das Signal kann nur durch "die Brille Fensterfunktion" sichtbar gemacht werden. Meßtechnisch beobachtete Prozesse und ihre in spektrale Form umgerechneten spektralen Inhalte interessieren natürlich in sehr vielen wissenschaftlichen Disziplinen. Für örtliche Beobachtungen mit mehreren parallelen Sensoren ist deren Anzahl häufig aus Aufwandsgründen stark begrenzt, oft ist hier eher an eine Anzahl von einigen Zehn, jedenfalls nicht von einigen Hundert zu denken. Insbesondere in solchen Fällen ist ein Optimum an Trennschärfe der verwendeten "Beobachtungsoptik" Fensterung verlangt. Für Ortungstechniken, etwa bei der Quellen- oder Reflektorortung - einige Anwendungsbereiche sind bereits genannt - bedeutet dies eine möglichst sichere Erkennung der Einfallrichtungen.

Das konventionelle Verfahren der "Fensterung mit Gewichtung" bei der Analyse von Signalen hat den entscheidenden Nachteil, daß eine schmalbandige Beobachtung einer spektralen Komponente gleichzeitig die Fähigkeit zur Entdeckung schwacher anderer Anteile stark vermindert. Liegen nur einige wenige Abtastwerte vor, so bieten die modernen Spektralschätzverfahren eine sinnvolle Alternative, mit der dieses Problem teilweise umgangen werden kann. Sie gehen von a-priori-Kenntnissen über die globalen Qualitäten der zu untersuchenden Signale aus und arbeiten mit Modellen für die gemessenen Verläufe. Ist beispielsweise von einem Vorgange bekannt, daß er wellenförmig ist, so genügt die Ermittlung der Frequenz (oder der Wellenzahl) und der komplexen Amplitude zur vollständigen Beschreibung : mehr als zwei Stützstellen wären zur Charakterisierung nicht erforderlich. Von Verfahren, die parametrische Signalmodelle benutzen, sind einige in Kapitel 4 erläutert. Sie sind weniger mechanistisch in der Vorgehensweise und in den Voraussetzungen vielfältiger als das traditionelle Fensterfahren mit der immergleichen Bedingung, daß alles Unsichtbare gleich Null und nicht vorhanden sei, und sie können so zu sehr viel klareren und ausgeprägteren spektralen Verläufen führen, wenn nur wenige Modell-fremde Anteile im Signal enthalten sind. Aus diesem Grund gibt es bei sehr vielen Fragestellungen, bei denen aus einigen wenigen Abtastwerten trotzdem noch trennscharfe Aussagen über die spektralen Komponenten verlangt sind, ein reges Interesse an den parametrischen Verfahren zur Ermittlung von Spektren. Betroffen sind auch hier wieder vor allem die schon angeführten Ortungsproblematiken.

Die folgende Arbeit ist um eine anschauliche und leicht verständliche, dem Stand eines Ingenieur-Studenten in nicht zu frühem Semester angemessene Schilderung bemüht. Es werden insbesondere keine zu hohen Erwartungen an Vorkenntnisse aus den Bereichen der Mathematik, der Theorie der Signalanalyse oder der mathematischen Statistik gestellt. Im ersten Kapitel werden die erforderlichen Grundlagen in einem Umfang geschildert, der den Erfahrungen des Autors aus eigener Lehrtätigkeit notwendig erscheint. Andererseits geht die Arbeit naturgemäß von einem Leser aus, der wenigstens mit den Grundbegriffen der Spektralanalyse und Synthese schon etwas anzufangen weiß. Verweise sowohl auf Literatur, die eventuelle Lücken schließen hilft, als auch auf weiterführende Literatur, werden an den geeigneten Stellen gegeben.

Dieses Buch stellt einen Teil der Habilitationsschrift des Verfassers dar. Der Autor bedankt sich für deren kritische Durchsicht und für die wertvollen Hinweise, die er von seinen Berichtern, den Herren Prof. Heckl und Prof. Kuttruff, erhalten hat. Auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft schuldet der Verfasser Dank, denn sie hat ihm durch Förderung im Rahmen eines Habilitantenstipendiums das Anfertigen der Arbeit erst möglich gemacht.

Im Februar 1988

M. Möser

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Fourier-Transformation kontinuierlicher Vorgänge	1
1.2	Abstrahlung von ebenen Flächen	3
1.3	Fourier-Transformation von Folgen	13
1.3.1	Sätze über die Transformierten von Folgen	15
1.3.2	Konsequenzen des diskreten Abtastens	18
1.3.3	Endlich lange Folgen und ihr periodisches Gegenstück	21
1.3.4	Numerische Berechnung der Transformierten von Folgen	26
1.4	z-Transformation	29
1.4.1	Endlich lange Folgen	29
1.4.2	Unendlich lange Folgen	37
1.4.3	Inverse z-Transformation	41
1.4.4	Theoreme	43
1.4.5	Hilbert-Transformation	44
2	Erzeugung konstanter Leistungsspektren	51
2.1	Folgen endlicher Länge	52
2.1.1	Vorzeichenfolgen	56
2.1.2	Mehrphasige Folgen	66
2.1.3	Impuls-äquivalente Folgen	69
2.1.4	Lautsprecherzeilen mit gleichmäßiger Richtwirkung	77
2.2	Folgen unendlicher Länge	91
2.2.1	Folgen maximaler Länge	92
2.2.2	Ebene Streukörper	96
3	Fenster und Gewichtung	108
3.1	Akustisches Reihenmikrophon	112
3.2	Optimale Gewichtsfolgen	117

3.2.1	Dolph-Chebyshev-Gewichtung	120
3.2.2	Energieoptimierte Gewichtung	128
3.2.3	Gewichtung für bandbegrenzte Signale	139
3.3	Einfluß von Störungen	144
4	Spektrales Modellieren	151
4.1	Wellensummen	155
4.1.1	Bestimmung der Amplituden	156
4.1.2	Bestimmung der Wellenzahlen und Dämpfungen	159
4.2	All-Pol-Modell	162
4.3	Praktische Berechnung der All-Pol-Parameter	171
4.3.1	Levinson-Durbin-Rekursion	171
4.3.2	Schätzung der Autokorrelierten	175
4.4	Einfluß von Störungen	184
	Literatur	193
	Sachverzeichnis	199