

Optimierung der Filterbank für eine Teilbandcodierung bezüglich Redundanz- und Irrelevanzreduktion

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Universität Hannover

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Ulrike Pestel-Schiller

geboren am 22. 1. 1963 in Hannover

1997

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. H. G. Musmann

2. Referent: Prof. Dr.-Ing. J. Gaul

Tag der Promotion: 28.02.97

Vorwort

Die vorliegende Tätigkeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Universität Hannover und am Laboratorium für Informationstechnologie der Universität Hannover.

Dem Direktor des Instituts, Herrn Professor Dr.-Ing. H. G. Musmann, danke ich für die Anregung zum Thema dieser Arbeit und für die hervorragenden Arbeitsmöglichkeiten, die mir an seinem Institut zur Verfügung standen. Ihm gilt mein besonderer Dank für die Betreuung der Arbeit und die Übernahme des Hauptreferats.

Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Graul danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats.

All meinen Kollegen und ehemaligen Kollegen sowie studentischen Hilfskräften, die durch fruchtbare Diskussionen, Anregungen und vielerlei praktische Unterstützung zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, danke ich herzlich. Hierbei gilt mein besonderer Dank Herrn Dr.-Ing. B. Edler, Herrn Dr.-Ing. B. Schmale und Herrn Dr.-Ing. O. Werner für die stets entgegengebrachte Hilfsbereitschaft und für die vielen konstruktiven Diskussionen.

Zum Schluß möchte ich meiner ganzen Familie für die von ihr aufgebrachte vielfältige Unterstützung danken.

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine zweidimensionale separierbare Filterbank für die Teilbandcodierung von HDTV-Sequenzen optimiert. Als Optimierungskriterium dient die Datenrate der Teilbandsignale, die minimiert wird unter der Nebenbedingung, daß Redundanz- und Irrelevanzreduktion gleichzeitig maximal ausgenutzt werden. Als Eingangssignal der Filterbank liegen entweder mittels Bewegungskompensation gewonnene Prädiktionsfehlersignale oder HDTV-Originalsignale an. Für die Optimierung werden geeignete Modelle für das Eingangssignal der Filterbank, die Quantisierung und Codierung der Teilbandsignale sowie für das menschliche Auge als Empfänger eingeführt. Für beide Eingangssignaltypen werden in einer zweischrittigen Optimierung zuerst geeignete Filterbankstrukturen bestimmt und anschließend für diese Strukturen die Koeffizienten der Teilbandfilter optimiert. Als optimal erweist sich für beide Eingangssignaltypen eine einstufige Filterbankstruktur mit gleichförmiger Bandaufteilung in 64 Teilbandsignale und 16 Koeffizienten je Teilbandfilter. Mit dem insgesamt resultierenden Teilbandcodierungssystem wird eine Datenreduktion um 8% gegenüber einer vergleichbaren DCT-Codierung erreicht.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Grundlagen der bewegungskompensierenden Teilbandcodierung	9
2.1	Zweidimensionale Analyse- und Synthesefilterbank	13
2.1.1	Eindimensionale Zweibandaufteilung	13
2.1.2	Eindimensionale Mehrbandaufteilung	21
2.1.3	Zweidimensionale Mehrbandaufteilung	23
2.2	Ersatzsystem für die Optimierung der Filterbank	26
3	Modellannahmen und Bezugswerte bei der Optimierung der Filterbank ...	29
3.1	Modelle zur Beschreibung des Ersatzsystems	29
3.1.1	Quellenmodell	30
3.1.2	Empfängermodell	34
3.1.3	Modell zur Beschreibung der Quantisierer	37
3.1.4	Modell zur Beschreibung der Entropiecoder der Teilbandsignale	37
3.2	Überprüfung und Verifikation sowie Verbesserung der gewählten Modelle ..	38
3.2.1	Überprüfung und Verifikation des Empfängermodells	38
3.2.2	Überprüfung und Verbesserung des Modells zur Beschreibung der Entropiecoder der Teilbandsignale	39
3.2.3	Überprüfung des Quellenmodells	45
3.3	Informationstheoretische Grenzwerte hinsichtlich Redundanz- und Irrelevanzreduktion	48
3.3.1	Theoretischer unterer Grenzwert der Datenrate	48
3.3.2	Unterer Grenzwert der Datenrate bei vorgegebener Bandaufteilung mit begrenzter Teilbandanzahl	50

4	Optimierung von Filterbänken für die Teilbandcodierung	61
4.1	Freiheitsgrade der Filterbank	61
4.1.1	Freiheitsgrade der Struktur der Filterbank	62
4.1.2	Freiheitsgrade der Übertragungsfunktionen der Teilbandfilter	65
4.2	Lösungsansatz für die Optimierung der Filterbank	67
4.2.1	Beispiel für einen geschlossenen Lösungsansatz	68
4.2.2	Gewählter numerischer Lösungsansatz	69
4.3	Optimierung der Filterbankstruktur	70
4.3.1	Optimierungsstrategie	70
4.3.2	Optimierungsergebnisse	71
4.4	Optimierung der Übertragungsfunktionen der Teilbandfilter	75
4.4.1	Optimierungsstrategie	75
4.4.2	Optimierungsergebnisse	81
5	Experimentelle Untersuchungen	85
5.1	Simulierte Realisierung der Teilbandcodierung	85
5.2	Meßergebnisse	86
6	Vergleich und Bewertung der Optimierungs- und Meßergebnisse	89
6.1	Vergleich der Optimierungs- und Meßergebnisse	89
6.2	Bewertung der Optimierungsergebnisse	94
6.3	Bewertung der Meßergebnisse durch Vergleich mit bekannten Codierverfahren	96
7	Zusammenfassung	99
Anhang A	Verwendete Testsequenzen	105
Anhang B	Vergleich der Freiheitsgrade einer kaskadierten mit einer einstufigen Filterbankstruktur	109
Anhang C	Koeffizienten und Übertragungsfunktionen optimierter Filterbänke	111
	Literaturverzeichnis	121

Abkürzungen und Formelverzeichnis

AKF	Autokorelationsfunktion
$B_{n,x}, B_{n,y}$	Bandbreite des n-ten Teilbandes in x- bzw. y-Richtung
\vec{d}	$= (d_x, d_y)^T$: Bewegungsvektor
dB	Dezibel
DCT	Diskrete Cosinus Transformation
δ	Quantisiererstufenbreite
$\Delta f_{x,n}, \Delta f_{y,n}$	Frequenzbereich des n-ten Teilbandes in x- bzw. y-Richtung
$\delta(m)$	δ -Impuls
e	2.718282...
$e^{(\cdot)}$	Exponentialfunktion
$E[s]$	Erwartungswert des Zufallssignals s
F_S	Freiheitsgrade der Struktur der Filterbank
$F_{\tilde{U}}$	Freiheitsgrade der Übertragungsfunktionen der Teilbandfilter
f_x, f_y	auf die Abtastfrequenz normierte horizontale bzw. vertikale Ortsfrequenz
$g_n(m_x, m_y)$	Impulsantwort des n-ten zweidimensionalen Teilbandfilters der Synthesefilterbank
$G_n(f_x, f_y)$	Übertragungsfunktion des Synthesefilters $g_n(m_x, m_y)$
$g_n(m)$	Impulsantwort des n-ten eindimensionalen Teilbandfilters der Synthesefilterbank
$G_n(z)$	z-Transformierte des Teilbandfilters $g_n(m)$
$\mathcal{G}(z^2)$	Synthese-Polyphasenmatrix
$h_n(m_x, m_y)$	Impulsantwort des n-ten zweidimensionalen Teilbandfilters der Analysefilterbank
$H_n(f_x, f_y)$	Übertragungsfunktion des Analysefilters $h_n(m_x, m_y)$
$h_n(m)$	Impulsantwort des n-ten eindimensionalen Teilbandfilters der Analysefilterbank

$H_n(z)$	z -Transformierte des Teilbandfilters $h_n(m)$
$H(S)$	differentielle Entropie einer zeitdiskreten wertkontinuierlichen Quelle S
$\mathfrak{H}(z^2)$	Analyse-Polyphasenmatrix
$[I]$	Einheitsmatrix
$K_{pdf} K_{psd}$	Korrekturwerte für die Datenrate R_{TBC}
k_l	Kreuzgliedkoeffizient
L	Anzahl der Filterkoeffizienten
$\ln(\cdot)$	natürlicher Logarithmus
$\log(\cdot)$	Logarithmus zur Basis 10
$Max\{\cdot\}$	Maximum
$Min\{\cdot\}$	Minimum
M_n	Faktor der Abtastratenerhöhung bzw. -erniedrigung im Teilband n
MTF	Modulationsübertragungsfunktion (<u>m</u> odulation <u>t</u> ransfer <u>f</u> unction)
$M(\omega_x, \omega_y)$	örtliche Modulationsübertragungsfunktion des menschlichen Auges
μ_s	Mittelwert des Signals s
N	Anzahl der Teilbandsignale
$p(s)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen s
π	3.141593...
q	Codierfehlersignal
q_n	Quantisierungsfehlersignal im n -ten Teilband
R	Datenrate
R_{DCT}	berechnete Datenrate einer DCT-Codierung
R_{min}	unterer Grenzwert der Datenrate
R_{orth}	unterer Grenzwert der Datenrate für orthogonale Systeme bei vorgegebener Bandaufteilung mit begrenzter Teilbandanzahl
R_{Sim}	gemessene Datenrate einer Teilbandcodierung
R_{TBC}	berechnete Datenrate einer Teilbandcodierung
$R_{TBC,min}$	unterer Grenzwert der Datenrate für beliebige Systeme der TBC bei vorgegebener Bandaufteilung mit begrenzter Teilbandanzahl

$R_{ss}(\Delta m_x, \Delta m_y)$	Autokorrelationsfunktion des Zufallssignals s
$s(m)$	Eingangssignal der eindimensionalen Analysefilterbank
$s'(m)$	Ausgangssignal der eindimensionalen Synthesefilterbank
$s_n(m_{M_n})$	Teilbandsignal des n -ten eindimensionalen Teilbandes
$s'_n(m_{M_n})$	quantisiertes Teilbandsignal des n -ten eindimensionalen Teilbandes
$s(m_x, m_y)$	Eingangssignal der zweidimensionalen Analysefilterbank
$s'(m_x, m_y)$	Ausgangssignal der zweidimensionalen Synthesefilterbank
$\hat{s}(m_x, m_y)$	prädiziertes Signal
$s_{HDTV}(m_x, m_y)$	HDTV-Signal
$s'_{HDTV}(m_x, m_y)$	rekonstruiertes HDTV-Signal
$s_n(m_{M_{nx}}, m_{M_{ny}})$	Teilbandsignal des n -ten zweidimensionalen Teilbandes
$s'_n(m_{M_{nx}}, m_{M_{ny}})$	quantisiertes Teilbandsignal des n -ten zweidimensionalen Teilbandes
$S_{ss}(f_x, f_y)$	Leistungsdichtespektrum des Zufallssignals s
$S(z)$	z -Transformierte des Eingangssignals $s(m)$
$S'(z)$	z -Transformierte des Ausgangssignals $s'(m)$
σ_q^2	Varianz des Codierfehlersignals q
$\sigma_{q,n}^2$	Varianz des Quantisierungsfehlersignals q_n im n -ten Teilband
$\sigma_{s,n}^2$	Varianz des Teilbandsignals s_n im n -ten Teilband
T	Schalter
TBC	Teilbandcodierung
$T_V(f_x, f_y)$	frequenzabhängige Sichtbarkeitsschwelle
$\omega_{s,x}, \omega_{s,y}$	horizontale bzw. vertikale Abtastfrequenz
ω_x, ω_y	horizontale bzw. vertikale Ortsfrequenz
x, y	horizontale bzw. vertikale Ortskoordinate
z^{-m}	Verzögerungsglied um m Abtastwerte
*	Faltungsoperator
$(.)^T$	transponiert
$ \cdot $	Betrag

