

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einführung | 1 |
| 1.1 | Digitale Übertragung von Audiosignalen | 2 |
| 1.2 | Zielvorgaben für den zu entwerfenden Audiocodec | 3 |
| 1.3 | Verwendeter Codierungsansatz | 3 |
| 1.4 | Überblick über folgende Kapitel | 6 |
| 2 | Stand der Forschung | 7 |
| 2.1 | Psychoakustische Audiocodierverfahren | 7 |
| 2.1.1 | Latenzzeit von psychoakustischen Audiocodecs | 8 |
| 2.2 | Teilbandcodierung | 10 |
| 2.3 | Prädiktionsansätze | 11 |
| 2.3.1 | Rauschformung | 12 |
| 2.3.2 | Spektrales Weißheitsmaß | 14 |
| 2.3.3 | Verbesserung der Frequenzauflösung mit Frequency War- ping | 16 |
| 2.4 | Teilbandcodierung in Kombination mit linearer Prädiktion . . . | 16 |
| 2.5 | Nutzung der Vor-/Nachfilterung zur Rauschformung | 18 |
| 2.5.1 | Modellierung der Maskierungsschwelle in Kombination mit breitbandiger Codierung | 19 |
| 2.5.2 | Modellierung der Maskierungsschwelle in Kombination mit Teilbandcodierung | 21 |
| 2.5.3 | Analoge Kompandersysteme | 22 |
| 2.5.4 | Dynamikbeeinflussung in Teilbändern | 22 |
| 2.5.5 | Nichtlineare Effekte bei adaptiven Filtern | 23 |
| 2.6 | Zusammenfassung | 24 |
| 3 | Psychoakustische Qualitätsbeurteilung | 25 |
| 3.1 | Eigenschaften des menschlichen Gehörs | 25 |
| 3.1.1 | Ruhehörschwelle | 26 |
| 3.1.2 | Frequenzgruppen | 26 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | Objektive Qualitätsbeurteilung mit Nutzung der Verdeckungseffekte | 29 |
| 3.2.1 | Berechnung der Maskierungsschwelle | 29 |
| 3.2.2 | Definition von Messgrößen | 41 |
| 3.3 | Objektive Messgrößen ohne Nutzung der Verdeckungseffekte . . | 45 |
| 3.3.1 | Signal-Rausch-Abstand (SNR) | 45 |
| 3.3.2 | Segmenteller Signal-Rausch-Abstand (segSNR) | 46 |
| 3.3.3 | Average Spectral Distortion (ASD) und Frequenzbereichs-SNR (FSNR) | 46 |
| 3.4 | Zusammenfassung | 47 |
| 4 | Analyse-/Synthese-Filterbank | 51 |
| 4.1 | Vergleich von Filterbank-Strukturen | 51 |
| 4.1.1 | Aufteilung in unterschiedlich breite Teilbänder | 52 |
| 4.1.2 | Aufteilung in gleich breite Teilbänder | 53 |
| 4.2 | Verzerrungsfunktionen bei einer gleichförmigen Filterbank . . . | 54 |
| 4.2.1 | Amplituden- und Phasenverzerrungen | 56 |
| 4.2.2 | Aliasing-Verzerrungen | 56 |
| 4.2.3 | Messgrößen zur Bewertung der Störungen | 57 |
| 4.3 | Komplex modulierte Filterbank | 58 |
| 4.4 | Cosinus-modulierte Filterbank | 59 |
| 4.4.1 | Bestimmung der Filterkoeffizienten für Analyse- und Synthese-Filterbank | 60 |
| 4.4.2 | Effiziente Polyphasen-Realisierung nach Vaidyanathan | 64 |
| 4.5 | Entwurf linearphasiger Tiefpass-Prototypen | 72 |
| 4.5.1 | Betrachtung geeigneter Kostenfunktionen | 72 |
| 4.5.2 | Entwurfsverfahren nach Creusere und Mitra | 77 |
| 4.5.3 | Erweiterung des Entwurfsverfahrens zur Optimierung des Gewichtsverhältnisses | 80 |
| 4.6 | Filterbank mit reduzierter Latenzzeit | 84 |
| 4.6.1 | Modifikation der Polyphasen-Realisierung mit Nutzung eines Synthese-Prototyps | 85 |
| 4.6.2 | Bedingungen für perfekte Rekonstruktion | 86 |
| 4.6.3 | Entwurf nicht-linearphasiger Prototypen | 88 |
| 4.7 | DSP-Implementierung | 94 |
| 4.7.1 | Skalierungen | 94 |
| 4.7.2 | Effiziente Realisierung der Filteroperationen | 94 |
| 4.7.3 | Organisation der Speicherverwaltung | 95 |
| 4.7.4 | Speicherkonzept zur Verarbeitung von Teilbandsignalen | 96 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.7.5 | Analyse-Filterbank | 97 |
| 4.7.6 | Synthese-Filterbank | 100 |
| 4.7.7 | Modifikation für nicht-linearphasige Prototypen | 103 |
| 4.7.8 | Latenzzeit | 105 |
| 4.7.9 | Komplexität | 106 |
| 4.8 | Zusammenfassung | 110 |
| 5 | Lineare Prädiktion der Teilbandsignale | 111 |
| 5.1 | Grundlagen der linearen Prädiktion | 112 |
| 5.1.1 | Ermittlung des Prädiktionsfehlers | 112 |
| 5.1.2 | Lattice-Filterstruktur | 113 |
| 5.1.3 | Prädiktionsgewinn | 114 |
| 5.1.4 | Synthesefilter und Spektralschätzung | 115 |
| 5.1.5 | Betrachtung eines Beispielsignals | 115 |
| 5.1.6 | Adaption der Prädiktionskoeffizienten | 117 |
| 5.1.7 | Konzept der adaptiven Quantisierung | 117 |
| 5.2 | Codierungsstrukturen | 119 |
| 5.2.1 | Vorwärtsprädiktion mit Übertragung von Nebeninformationen | 119 |
| 5.2.2 | Vorwärtsprädiktion ohne Übertragung von Nebeninformationen | 122 |
| 5.2.3 | Rückwärtsprädiktion mit ADPCM | 123 |
| 5.2.4 | Lattice-Filterung in der ADPCM-Struktur | 125 |
| 5.2.5 | Zeitliche Abfolge der Operationen | 128 |
| 5.2.6 | Vergleich der Codierungsstrukturen | 131 |
| 5.3 | Blockbasierte Adaption der Prädiktionskoeffizienten | 136 |
| 5.3.1 | Autokorrelationsmethode | 136 |
| 5.3.2 | Burg-Algorithmus | 140 |
| 5.3.3 | Weitere Verfahren | 144 |
| 5.4 | Kontinuierliche Adaption der Prädiktionskoeffizienten | 144 |
| 5.4.1 | Adaption der Direktstruktur-Koeffizienten (LMS) | 145 |
| 5.4.2 | Adaption der Lattice-Koeffizienten (GAL) | 147 |
| 5.5 | Neuberechnung der Filterzustände bei adaptiven Lattice-Filtern | 149 |
| 5.5.1 | Burg-Algorithmus mit Nutzung vergangener Abtastwerte | 152 |
| 5.5.2 | Gradient Adaptive Lattice mit integrierter Zustandsaktualisierung | 153 |
| 5.5.3 | Vergleich der Verfahren mit und ohne Aktualisierung der Lattice-Zustände | 154 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.6 | DSP-Implementierung des Burg-Algorithmus | 162 |
| 5.6.1 | Aufwandsbetrachtung der verschiedenen Rechenoperationen | 162 |
| 5.6.2 | Zeitliche Verteilung der Koeffizientenberechnungen | 163 |
| 5.6.3 | Vorteile gegenüber der Autokorrelationsmethode und GAL | 165 |
| 5.7 | Zusammenfassung | 166 |
| 6 | Adaptive Quantisierung | 169 |
| 6.1 | Gleichmäßige Quantisierung | 169 |
| 6.2 | Vorwärtsberechnung des Skalierungsfaktors | 173 |
| 6.3 | Rückwärtsadaptive Ermittlung des Skalierungsfaktors | 173 |
| 6.3.1 | Wertebereich des Skalierungsfaktors | 174 |
| 6.3.2 | Nutzung der zeitlichen Einhüllenden | 175 |
| 6.3.3 | Nutzung einer Kompressionskennlinie | 175 |
| 6.3.4 | Glättungsfilter 1. Ordnung | 179 |
| 6.3.5 | Unterscheidung in Ansprech- und Rücklauffall | 189 |
| 6.3.6 | Einhüllenden-Bestimmung nach HighCom | 191 |
| 6.3.7 | Maßnahmen zur Vermeidung von Übersteuerungen | 193 |
| 6.3.8 | Beispiel der adaptiven Signalskalierung | 195 |
| 6.4 | Optimalquantisierung mit angepasster Quantisierungskennlinie | 197 |
| 6.4.1 | Definition der Quantisierungskennlinie | 197 |
| 6.4.2 | Amplitudenverteilung | 199 |
| 6.4.3 | Optimierung der Quantisierungskennlinie | 204 |
| 6.4.4 | Durchführung der Quantisierung mit gegebener Kennlinie | 213 |
| 6.4.5 | Zusammenfassung der Ermittlung der optimierten Quantisierungskennlinie | 216 |
| 6.4.6 | Anpassung der Signalnormierung bei Nutzung einer Optimalquantisierung | 216 |
| 6.4.7 | Ergebnisse | 217 |
| 6.5 | DSP-Implementierung | 231 |
| 6.6 | Zusammenfassung | 232 |
| 7 | Spektrale Rauschformung mit adaptiver Vor-/Nachfilterung | 235 |
| 7.1 | Nutzung von Shelving-Filtern zur Spektralformung | 236 |
| 7.2 | Tiefen-Shelving-Filter 2. Ordnung | 238 |
| 7.2.1 | Übertragungsfunktion des analogen Filters | 238 |
| 7.2.2 | Parametrische Filterstruktur | 239 |

| | | |
|-------------------|---|----------------|
| 7.2.3 | Definition der Grenzfrequenz in der Flankenmitte | 240 |
| 7.3 | Höhen-Shelving-Filter 2. Ordnung | 243 |
| 7.4 | Band-Shelving-Filter aus Tiefen- und Höhen-Shelving-Filter | 244 |
| 7.5 | Realisierung zeitvarianter und invertierbarer Shelving-Filter | 245 |
| 7.5.1 | Realisierung der zeitdiskreten Tiefen- und Höhen-Shelving-Filter 2. Ordnung | 247 |
| 7.6 | Reihenschaltung von parametrischen Shelving-Filtern | 250 |
| 7.6.1 | Zeitdiskrete Realisierung | 252 |
| 7.6.2 | Entwurf eines 3-Band-Systems | 253 |
| 7.6.3 | Analysefilter zur Adaption der Anhebungswerte | 256 |
| 7.6.4 | Nutzung der Kompressionskennlinie | 263 |
| 7.7 | Zusammenfassung | 263 |
| 8 | Untersuchung des Gesamtsystems | 265 |
| 8.1 | Wahl der Teilbandanzahl und der Bitzuweisung | 265 |
| 8.1.1 | Wahl der Teilbandanzahl | 265 |
| 8.1.2 | Wahl der Bitzuweisung | 266 |
| 8.2 | Vergleich verschiedener Codierungsstrukturen | 267 |
| 8.2.1 | Qualitätsbeurteilung der Codierungsstrukturen | 268 |
| 8.3 | Vergleich verschiedener Tiefpass-Prototypen | 275 |
| 8.3.1 | Qualitätsbeurteilung bei Nutzung verschiedener Tiefpass-Prototypen | 279 |
| 8.4 | Nutzung einer FM-Funkstrecke | 283 |
| 8.5 | Zusammenfassung | 286 |
| 9 | Zusammenfassung | 289 |
| Anhang | | 293 |
| A | Leistungs- und Energieberechnung zeitdiskreter Signale | 295 |
| A.1 | Betrachtung eines Zufallsprozesses | 295 |
| A.2 | Energiesignale | 296 |
| A.3 | Nutzung der diskreten Fourier-Transformation | 297 |
| B | Auswahl benutzter Audio-Signale | 299 |
| B.1 | Audiosignale zur Qualitätsbeurteilung | 299 |
| B.2 | Trainingssequenz zur Optimierung der Quantisierungskennlinien | 301 |

| | |
|--|------------|
| C Bilineare Transformation | 303 |
| C.1 Grundlagen | 303 |
| C.1.1 Nutzung eines normierten Analogentwurfs | 304 |
| C.1.2 Entnormierung des Analogentwurfs | 305 |
| C.2 Bilineare Transformation einer Übertragungsfunktion 1. Ordnung | 306 |
| C.3 Bilineare Transformation einer Übertragungsfunktion 2. Ordnung | 306 |
| Symbol- und Abkürzungsverzeichnis | 309 |
| Literaturverzeichnis | 319 |
| Index | 335 |
| Lebenslauf | 339 |