
Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | <i>Software Defined Radio</i> -Systeme | 1 |
| 1.1.1 | Verarbeitung im Digitalteil | 2 |
| 1.1.2 | Hardware und Software im Digitalteil | 3 |
| 1.1.3 | Telemetrie-Systeme | 3 |
| 1.1.4 | SDR-Systeme für Entwicklung und Test | 4 |
| 1.2 | <i>Matlab</i> und <i>Octave</i> | 5 |
| 1.3 | Kapitelübersicht | 6 |
| 1.4 | Vorkenntnisse | 7 |
| 1.5 | Notation | 8 |
| 2 | Darstellung von Signalen und Spektren | 11 |
| 2.1 | Kontinuierliche und diskrete Signale | 11 |
| 2.2 | Spektrum eines Signals | 14 |
| 2.2.1 | Praktische Berechnung des Spektrums | 14 |
| 2.2.2 | Hintergründe zur Berechnung des Spektrums | 19 |
| 2.2.3 | Beispiel | 23 |
| 2.3 | Unterabtastung und Überabtastung | 27 |
| 2.3.1 | Einfache Berechnung von Tiefpass-Filtern | 29 |
| 2.3.2 | Filter-Berechnungsfunktion | 32 |
| 2.4 | Berechnung allgemeiner Tiefpass-Filter | 32 |
| 2.5 | Zusammenfassung | 33 |
| 3 | Aufbau und Signale eines <i>Software Defined Radio</i>-Systems | 35 |
| 3.1 | Blockschaltbilder eines <i>SDR</i> -Systems | 37 |
| 3.2 | Basisbandsignale und Trägersignale | 38 |
| 3.2.1 | Amplituden- und Frequenzmodulation | 39 |
| 3.2.2 | <i>I/Q</i> -Modulation | 40 |
| 3.2.3 | Spektren des Basisbandsignals und des Trägersignals | 43 |
| 3.2.4 | <i>I/Q</i> -Demodulation | 44 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.5 | Beispiel zur I/Q-Modulation und I/Q-Demodulation | 46 |
| 3.3 | Empfänger-Topologien | 53 |
| 3.3.1 | Direct Conversion Receiver | 54 |
| 3.3.2 | RF Sampling Receiver | 57 |
| 3.3.3 | Beispiel für einen RF Sampling Receiver | 59 |
| 3.3.4 | Überlagerungsempfänger | 60 |
| 3.3.5 | Hintergründe zur Frequenzumsetzung mit einem Mischer | 63 |
| 3.3.6 | Beispiel für einen Multiband-Amateurfunk-Empfänger | 67 |
| 3.3.7 | Beispiel für einen Miniatur-Empfänger | 68 |
| 3.4 | Signale in einem <i>SDR</i> -System | 69 |
| 3.4.1 | Übertragungsarten | 69 |
| 3.4.2 | Paket-Übertragung | 70 |
| 3.4.3 | CRC-Codierung | 71 |
| 3.4.4 | Scrambler | 75 |
| 3.4.5 | Symbol-Mapper | 78 |
| 3.4.6 | Präambel | 82 |
| 3.4.7 | Modulator | 90 |
| 3.4.8 | Nyquist Filter und Root Nyquist Filter | 94 |
| 3.4.9 | I/Q-Modulation und D/A-Umsetzung | 99 |
| 3.4.10 | Analoger Sender | 103 |
| 3.4.11 | GFSK: Eine einfache Alternative | 103 |
| 3.4.12 | Sequenz-Spreizung | 112 |
| 3.4.13 | Nachrichtentechnischer Kanal | 124 |
| 4 | Drahtlose Netzwerke | 135 |
| 4.1 | Wireless Personal Area Networks | 137 |
| 4.2 | Sensornetzwerke | 139 |
| 5 | Übertragungsstrecke | 143 |
| 5.1 | Funkstrecke | 145 |
| 5.1.1 | Freiraumdämpfung | 146 |
| 5.1.2 | Dämpfungsexponent | 147 |
| 5.1.3 | Antennengewinn | 148 |
| 5.1.4 | Äquivalente Sendeleistung | 149 |
| 5.2 | Antennen | 150 |
| 5.2.1 | Beschreibung mit Kugelkoordinaten | 151 |
| 5.2.2 | Richtcharakteristik | 153 |
| 5.2.3 | Strahlungsleistungsdichte | 154 |
| 5.2.4 | Antennenwirkfläche | 155 |
| 5.2.5 | Größen einer Funkübertragungsstrecke | 157 |
| 5.2.6 | Vektoren des elektromagnetischen Feldes | 158 |
| 5.2.7 | Polarisation | 158 |
| 5.2.8 | Berechnung von Antennen | 162 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.2.9 | Anpassung | 174 |
| 5.2.10 | Beispiele | 179 |
| 6 | Leistungsdaten eines Empfängers | 189 |
| 6.1 | Rauschen | 191 |
| 6.1.1 | Ursachen und Rauschleistungsdichten | 191 |
| 6.1.2 | Thermische Rauschleistungsdichte | 192 |
| 6.1.3 | Thermisches Rauschen als diskretes Signal | 193 |
| 6.1.4 | Rauschzahl | 193 |
| 6.1.5 | Alternative Definition der Rauschzahl | 194 |
| 6.1.6 | Kettenrauschzahl | 195 |
| 6.1.7 | Verstärkungen und Rauschzahlen typischer Komponenten | 197 |
| 6.1.8 | Beispiel | 199 |
| 6.2 | Nichtlinearität | 202 |
| 6.2.1 | Nichtlineare Kennlinien | 202 |
| 6.2.2 | Intermodulation | 205 |
| 6.2.3 | Intermodulationsabstände und Interceptpunkte | 208 |
| 6.2.4 | Ketten-Interceptpunkte | 210 |
| 6.2.5 | Beispiel | 213 |
| 6.3 | Abhängigkeit von der Verstärkungseinstellung | 215 |
| 6.4 | Dynamikbereich eines Empfängers | 216 |
| 6.4.1 | Minimaler Empfangspegel | 216 |
| 6.4.2 | Maximaler Empfangspegel | 218 |
| 6.4.3 | Dynamikbereich | 218 |
| 6.4.4 | Inband-Dynamikbereich | 219 |
| 6.4.5 | Spurious Free Dynamic Range | 221 |
| 7 | Digital Downconverter | 223 |
| 7.1 | CIC-Filter | 227 |
| 7.1.1 | Übertragungsfunktion | 227 |
| 7.1.2 | Bandbreite und Alias-Dämpfung | 227 |
| 7.1.3 | Wortbreiten der Signale | 230 |
| 7.1.4 | Kompensationsfilter | 233 |
| 7.2 | Polyphasen-FIR-Filter | 235 |
| 7.2.1 | Funktionsprinzip | 235 |
| 7.2.2 | Polyphasen-Zerlegung | 235 |
| 7.2.3 | Praktische Realisierung | 237 |
| 7.2.4 | Relative Bandbreite und Berechnung der Koeffizienten | 240 |
| 7.3 | Halbband-Filterkaskade | 244 |
| 7.3.1 | Aufbau einer Halbband-Filterkaskade | 244 |
| 7.3.2 | Entwurf eines Halbbandfilters | 245 |
| 7.4 | Interpolation | 252 |
| 7.4.1 | Interpolation zur Symbolabtastung | 255 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| 7.4.2 | Konstante Signalverzögerung mit einem FIR-Filter | 255 |
| 7.4.3 | Variable Signalverzögerung mit einem FIR-Filter | 263 |
| 7.5 | Beispiel | 272 |
| 8 | Demodulation digital modulierter Signale | 277 |
| 8.1 | Einführung | 278 |
| 8.1.1 | Aufgabe eines Demodulators | 278 |
| 8.1.2 | Betrachtete Übertragungssysteme | 278 |
| 8.1.3 | Kanal | 279 |
| 8.1.4 | Paket-Übertragung | 280 |
| 8.1.5 | Vorverarbeitung | 281 |
| 8.2 | Demodulation einer GFSK-Paketsendung | 282 |
| 8.2.1 | LDI-Demodulator | 282 |
| 8.2.2 | Signalparameter | 284 |
| 8.2.3 | Signal-Rausch-Abstand | 284 |
| 8.2.4 | Signale im Sender und im Empfänger | 286 |
| 8.2.5 | Detektion | 289 |
| 8.2.6 | Detektionsschwelle und Detektionsfehler | 292 |
| 8.2.7 | Wahrscheinlichkeiten für Detektionsfehler | 294 |
| 8.2.8 | Detektor mit euklidischer Metrik | 301 |
| 8.2.9 | Symbol-Abtastung | 308 |
| 8.3 | Demodulation einer PAM-Paketsendung | 317 |
| 8.3.1 | Differenzielle Übertragung der Symbole | 318 |
| 8.3.2 | Differenzielle Übertragung auf der Signal-Ebene | 321 |
| 8.4 | Signalpegel | 323 |
| 8.4.1 | Präambel-Detektion | 324 |
| 8.4.2 | Symbol-Abtastung | 332 |
| 8.5 | Zusammenfassung | 338 |
| Anhang A: | Eine kurze Einführung in <i>Matlab/Octave</i> | 341 |
| A.1 | Vektoren | 342 |
| A.1.1 | Zeilen- und Spaltenvektoren | 342 |
| A.1.2 | Komplex-wertige Vektoren | 343 |
| A.1.3 | Umwandlungen | 343 |
| A.1.4 | Multiplikation | 344 |
| A.1.5 | Wiederholungen | 345 |
| A.1.6 | Multiplexer und Demultiplexer | 345 |
| A.2 | Funktionen zur Signalverarbeitung | 346 |
| A.2.1 | Faltung | 346 |
| A.2.2 | Korrelation | 350 |
| A.2.3 | Komplexe Mischung | 350 |
| A.3 | Spezielle Funktionen zur Echtzeitverarbeitung | 351 |
| A.3.1 | Funksignalempfang mit einem RTL-SDR-Empfänger | 351 |

| | |
|--|------------|
| A.3.2 Audioausgabe | 354 |
| A.3.3 Beispiel | 355 |
| Anhang B: Ergänzungen | 359 |
| B.1 Rauschbandbreite eines Tiefpass-Filters | 359 |
| B.2 Fensterfunktionen | 361 |
| Anhang C: Verzeichnis der <i>Matlab/Octave</i>-Funktionen | 365 |
| C.1 <code>sig</code> – Signale und Spektren | 366 |
| C.2 <code>sdr</code> – Aufbau und Signale eines SDR-Systems | 367 |
| C.3 <code>ueb</code> – Übertragungsstrecke | 369 |
| C.4 <code>daten</code> – Leistungsdaten eines Empfängers | 370 |
| C.5 <code>ddc</code> – Digital Downconverter | 371 |
| C.6 <code>demod</code> – Demodulation | 372 |
| Literatur | 375 |
| Sachverzeichnis | 377 |



<http://www.springer.com/978-3-662-53233-1>

Software Defined Radio-Systeme für die Telemetrie
Aufbau und Funktionsweise von der Antenne bis zum
Bit-Ausgang

Heuberger, A.; Gamm, E.

2017, XIII, 383 S. 288 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-662-53233-1