
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