

Informationstechnik
K. David/T. Benkner
Digitale Mobilfunksysteme

Informationstechnik

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Norbert Fliege, Hamburg-Harburg

In der Informationstechnik wurden in den letzten Jahrzehnten klassische Bereiche wie lineare Systeme, Nachrichtenübertragung oder analoge Signalverarbeitung ständig weiterentwickelt. Hinzu kam eine Vielzahl neuer Anwendungsbereiche wie etwa digitale Kommunikation, digitale Signalverarbeitung oder Sprach- und Bildverarbeitung. Zu dieser Entwicklung haben insbesondere die steigende Komplexität der integrierten Halbleiterschaltungen und die Fortschritte in der Computertechnik beigetragen. Die heutige Informationstechnik ist durch hochkomplexe digitale Realisierungen gekennzeichnet.

In der Buchreihe „Informationstechnik“ soll der internationale Stand der Methoden und Prinzipien der modernen Informationstechnik festgehalten, algorithmisch aufgearbeitet und einer breiten Schicht von Ingenieuren, Physikern und Informatikern in Universität und Industrie zugänglich gemacht werden. Unter Berücksichtigung der aktuellen Themen der Informationstechnik will die Buchreihe auch die neuesten und damit zukünftigen Entwicklungen auf diesem Gebiet reflektieren.

Digitale Mobilfunksysteme

Von Dr.-Ing. Klaus David,
DeTeMobil GmbH, Münster

und Dr.-Ing. Thorsten Benkner,
Universität – GH Siegen

Mit 217 Bildern und 42 Tabellen



B. G. Teubner Stuttgart 1996

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

David, Klaus:

Digitale Mobilfunksysteme : mit 42 Tabellen / von Klaus David
und Thorsten Benkner. – Stuttgart : Teubner, 1996

(Informationstechnik)

ISBN 978-3-322-92768-2 ISBN 978-3-322-92767-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-92767-5

NE: Benkner, Thorsten:

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© B. G. Teubner Stuttgart 1996

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1996

Vorwort

Der Inhalt dieses Buches basiert auf einer seit Anfang 1993 an der Universität-Gesamthochschule Siegen im Rahmen eines Lehrauftrages angebotenen Vorlesung. Es bietet eine Einführung der Zukunftsbranche "Digitaler Mobilfunk" bis hin zu aktuellen Entwicklungen. Die Stoffauswahl innerhalb dieses komplexen und sehr innovativen Gebietes stellte dabei eine interessante Herausforderung für das vorliegende Buch dar.

Das Buch besteht aus zwei Teilen: In Teil 1 werden die übertragungstechnischen Grundlagen des Übertragungskanal (Kapitel 2), zellulare Netze (Kapitel 3) bis hin zu Modulationsverfahren (Kapitel 4), Codierung (Kapitel 5) und Vielfachzugriffsverfahren (Kapitel 6) behandelt. Während mehrere Teile dieses Stoffs wie z.B. Kanalcodierung oder Modulationsverfahren in einer Reihe "traditioneller" Lehrbücher behandelt werden, gehen diese üblicherweise kaum auf mobilfunkspezifische Aspekte ein. Dies wird in diesem Buch geleistet. Der zweite Teil behandelt, aufbauend auf den Grundlagen des ersten Teils, das weltweit führende zellulare Mobilfunksystem GSM (Kapitel 7) und weitere Mobilfunksysteme (Kapitel 8) bis hin zu zukünftigen Systemen.

Neben den langfristig gültigen Grundlagen ist die Aktualität des Stoffes auch dadurch sichergestellt, daß wesentliche Ergebnisse relevanter Mobilfunkkonferenzen der letzten Jahre berücksichtigt sind.

Zum Aufbau des Buches ist zu sagen, daß die einzelnen Kapitel insgesamt in ein Gesamtkonzept eingebunden sind. Die Lektüre der einzelnen Kapitel kann dennoch weitgehend unabhängig voneinander erfolgen, da jeweils in sich abgeschlossene Problemkreise behandelt werden. Damit ist das Buch nicht nur für Studenten der Ingenieur- und Naturwissenschaften geeignet, sondern ebenso für Praktiker, die sich aus ihrer spezifischen Situation heraus für besondere Teilaspekte des Mobilfunks interessieren bzw. sich effektiv in dieses zukunftssträchtige Gebiet einarbeiten wollen.

Den folgenden Herren möchten wir für konstruktive Kommentare danken:

Von der DeTeMobil GmbH den Herren Dipl.-Ing. A. Bockentin-Bottke, Dr. V. Brass, Dr. B. Eylert, Dr. H. Frey, Dipl.-Ing. U. Holstiege, Dipl.-Ing. D.

Kistowski, Dipl.-Ing. H. Klie, Dipl.-Ing. F. Knebelkamp, Dipl.-Ing. H. Kreie, Dr. R. Walsdorf und Dipl.-Ing. T. Wierlemann.

Von der Universität-GH Siegen den Herren Prof. Dr.-Ing. D. Ehrhardt und Dipl.-Ing. S. Pütz. Unser Dank gilt insbesondere auch den Herren Prof. Dr. rer. nat. C. Ruland und Prof. Dr.-Ing. R. Schwarte für die sehr gute Unterstützung dieser Arbeit und die Initiierung des Lehrauftrags.

Darüber hinaus möchten wir uns bei Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Fuhrmann (FH Dieburg), Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Bossert (Universität Ulm) und Dr.-Ing. U. Liebenow (Deutsche Telekom Forschungs- und Technologiezentrum, Darmstadt) bedanken.

Nicht zuletzt danken wir Herrn Dr. Schlembach (B.G. Teubner Verlag), der dieses Buch mitinitiiert hat.

Münster und Siegen, im September 1996

K. David und T. Benkner

Inhalt

1 Allgemeiner Überblick	1
1.1 Einleitung	2
1.2 Einführung in einige Grundprobleme des Mobilfunks	10
1.2.1 Fading	10
1.2.2 Zellularer Netzaufbau	11
1.2.3 Unterstützung der Teilnehmermobilität	13
1.3 Inhalt und Gliederung des weiteren Buches.....	15
Anhang A1.1 Kenndaten analoger zellularer Systeme.....	20
2 Mobilfunkkanal	21
2.1 Mehrwegeausbreitung	22
2.1.1 Problematik der Mehrwegeausbreitung.....	22
2.1.2 Hüllkurve und Phase des Empfangssignals	24
2.1.2.1 Einweg-Ausbreitung	24
2.1.2.2 Zweiwege-Ausbreitung.....	25
2.1.2.3 N-Wege-Ausbreitung.....	27
2.1.2.4 Rayleigh-Verteilung	28
2.1.2.5 Rice-Verteilung.....	34
2.1.3 Spektrale Empfangsleistungsdichte.....	37
2.1.3.1 Dopplerverschiebung	37
2.1.3.2 Dopplerspektrum eines Fading-Signals	38
2.1.4 Delay Spread und Kohärenzbandbreite	40
2.1.5 Level Crossing Rate	45

2.1.6	Mittlere Dauer von Fadingeinbrüchen.....	48
2.1.7	Diversity- und Combining-Verfahren	50
2.1.7.1	Selection Combining	51
2.1.7.2	Switched Combining	53
2.1.7.3	Maximal-Ratio Combining.....	55
2.1.7.4	Equal Gain Combining	57
2.1.8	Kanalsimulation.....	58
2.1.8.1	Simulation von nicht-frequenzselektiven Kanälen.....	58
2.1.8.2	Simulation von frequenzselektiven Kanälen	60
2.1.9	Kanalmessung.....	63
2.2	Ausbreitung und Pfadverlust.....	65
2.2.1	Ausbreitung im freien Raum	65
2.2.2	Ausbreitung über ebene Gebiete	66
2.2.3	Ausbreitung über unebene Gebiete	69
2.2.4	Pfadverlust-Vorhersagemodelle	73
2.2.4.1	Vorhersagemodell nach Lee	73
2.2.4.2	Vorhersagemodell nach Okumura	77
2.2.4.3	Vorhersagemodell nach Hata.....	81
2.2.5	Statistik des Signalmittelwertes.....	82
2.2.6	Einfluß der Atmosphäre	85
2.3	Rauschen	87
2.3.1	Rausch-/Interferenzbegrenzte Systeme	87
2.3.2	Thermisches Rauschen	88
2.3.3	Weitere Rauscheinflüsse	90
3	Zellulare Netze	93
3.1	Zellularer Netzaufbau.....	94
3.1.1	Zellulares Netz mit omnidirektionalen Antennen	96
3.1.2	Zellulares Netz mit gerichteten Basisstationsantennen	99
3.1.3	Handover	101
3.1.4	Weitere Zellstrukturen.....	106
3.1.4.1	Mikrozellulare Netze	106
3.1.4.2	Hierarchische Zellstrukturen	107
3.2	Verkehrs- und Bedientheorie	108
3.2.1	Begriffe und Größen der Verkehrs- und Bedientheorie	109
3.2.1.1	Verkehrsangebot	109
3.2.1.2	Ankunftsprozeß.....	110
3.2.1.3	Bedienprozeß	113
3.2.1.4	Kendallsche Notation.....	114
3.2.2	Die Erlangischen Formeln.....	115

3.2.2.1 Erlangsche Verlustformel	115
3.2.2.2 Erlangsche Warteformel	119
3.2.3 Teilnehmerkapazität	121
3.3 Kanalzuteilungsverfahren.....	123
3.3.1 Statische Kanalzuteilung	124
3.3.2 Dynamische Kanalzuteilung.....	124
3.3.2.1 Verkehrsadaptive DCA-Verfahren	127
3.3.2.2 Signaladaptive DCA-Verfahren.....	133
3.3.2.3 Interferenzadaptive DCA-Verfahren	135
3.4 Planungswerkzeuge.....	136
3.4.1 Planungsziele.....	136
3.4.2 Planungsschritte.....	137
3.4.2.1 Marktanalyse.....	137
3.4.2.2 Auswahl möglicher Senderstandorte	138
3.4.2.3 Versorgungsanalyse.....	139
3.4.2.4 Ermittlung des Kanalbedarfs	141
3.4.2.5 Frequenzzuweisung	141
Anhang A3.1 Grundlagen der hexagonalen Zellgeometrie.....	143
4 Modulationsverfahren	147
4.1 Analoge Modulationsverfahren.....	148
4.1.1 Amplitudenmodulation (AM).....	148
4.1.2 Winkelmodulation	152
4.2 Digitale Modulationsverfahren	155
4.2.1 Amplitudenumtastung	156
4.2.2 Frequenzumtastung.....	157
4.2.3 Phasenumtastung	158
4.2.4 Quadratur-Amplitudenmodulation	163
4.2.5 Kontinuierliche Phasenmodulation	165
4.2.5.1 Minimum Shift Keying (MSK)	168
4.2.5.2 Gaußsches MSK (GMSK)	170
4.2.5.3 Tamed Frequency Modulation (TFM).....	172
4.2.6 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)	174
4.3 Leistungsdichtespektren digitaler Modulationsverfahren	177
4.3.1 BPSK und QPSK.....	178
4.3.2 MSK und GMSK.....	180
4.3.3 OFDM.....	182
4.3.4 Spektrale Effizienz	183
4.4 Demodulation.....	184
4.4.1 Empfangsprinzipien.....	184

4.4.2 Intersymbol-Interferenz und Equalizer.....	187
4.5 Digitale Übertragung über Gaußsche Kanäle.....	191
4.5.1 Binäre und quaternäre PSK	191
4.5.2 M-PSK und QAM.....	197
4.5.3 MSK und GMSK.....	198
4.6 Digitale Übertragung über Kanäle mit Rayleigh-Fading.....	200
4.6.1 Binäre und quaternäre PSK	201
4.6.2 MSK und GMSK.....	203
5 Codierung	205
5.1 Interleaving.....	206
5.1.1 Diagonales Interleaving.....	207
5.1.2 Block-Interleaving.....	208
5.1.3 Faltungs-Interleaver.....	209
5.2 Kanalcodierung	211
5.2.1 Einführung.....	211
5.2.1 Paritätskontrolle.....	212
5.2.2 Blockcodes	216
5.2.2.1 Lineare Blockcodes	216
5.2.2.2 Korrektoreigenschaften.....	219
5.2.2.3 Zyklische und weitere Codes.....	220
5.2.3 Faltungscodes	224
5.2.3.1 Einleitung und Darstellungsarten	224
5.2.3.2 Maximum Likelihood Decodierung	229
5.2.3.3 Viterbi-Decodierer	231
5.2.3.4 Korrektoreigenschaften.....	233
5.2.4 Concatenated Codes	234
5.3 Automatic Repeat Request (ARQ).....	234
5.4 Quellcodierung und Sprachcoder	237
5.4.1 Einleitung	237
5.4.1.1 Signalformcoder	240
5.4.1.2 Vocoder.....	242
5.4.1.3 Hybride Coder	243
6 Vielfachzugriffsverfahren	245
6.1 Einführung.....	246
6.2 Frequenzmultiplex.....	249
6.2.1 Eigenschaften von FDMA.....	249
6.2.2 Intermodulation	250
6.2.3 Verzerrungen und Störabstand	253

6.3 Zeitmultiplex	255
6.3.1 Eigenschaften von TDMA.....	255
6.3.2 Schutzzeit und Synchronisation	258
6.4 Codemultiplex	259
6.4.1 Grundlagen der Spreizspektrumtechnik	259
6.4.2 Spreizsequenzen	263
6.4.2.1 M-Sequenzen	264
6.4.2.2 Walsh-Folgen.....	268
6.4.3 DS-CDMA.....	269
6.4.4 FH-CDMA.....	271
6.4.5 Interferenzeliminierung	273
6.5 Paketzugriffsverfahren	275
6.5.1 ALOHA-Verfahren.....	276
6.5.2 CSMA-Verfahren	280
6.5.3 PRMA-Verfahren	281
6.6 Raummultiplex.....	284
6.6.1 Adaptives SDMA	284
6.6.2 Phasengesteuerte Gruppenantennen	287
6.7 Duplexverfahren.....	290
6.7.1 Frequenzduplex	291
6.7.2 Zeitduplex.....	293
6.8 Spektrale Effizienz von Mobilfunksystemen	295
6.8.1 Clustergröße	296
6.8.3 Bandbreite.....	298
6.8.4 Getragener Verkehr	300
6.8.5 Zellfläche.....	301
7 GSM	305
7.1 Einleitung	306
7.1.1 Historischer Überblick.....	306
7.1.2 GSM-Dienste.....	309
7.2 Systemtechnik	312
7.2.1 Systemarchitektur des GSM-Systems	312
7.2.2 Sicherheitsdienste in GSM	319
7.2.2.1 SIM-Karte (Subscriber Identity Module)	320
7.2.2.2 Authentikation	322
7.2.2.3 Internationale und temporäre Identitäten.....	324
7.2.2.4 Verschlüsselung der Daten	324
7.3 Die Luftschnittstelle	326
7.3.1 Einführende Zusammenfassung wichtiger Charakteristika.....	327

7.3.2 Bursts und Synchronisation	329
7.3.3 Logische Kanäle	334
7.3.4 Multiplexen der logischen Kanäle auf die Bursts.....	339
7.3.5 Link Control	342
7.3.6 Leistungsregelung und Unterschiede zu DCS1800.....	343
7.3.7 Handover (HO).....	345
7.3.8 Frequenzspringen	353
7.3.9 Kanal- und Sprachcodierung bei GSM.....	355
7.3.9.1 Sprachkanal.....	355
7.3.9.2 Datenkanäle	360
7.4 Fallbeispiele	362
7.4.1 Beispiele von Protokollabläufen.....	362
7.4.2 Abläufe von Verbindungsszenarien	365
Anhang A7.1 Funktionale Schnittstellen am Endgerät	367
Anhang A7.2 Access Control.....	368
Anhang A7.3 Weitere digitale zellulare Systeme	368
8 Weitere Mobilfunksysteme	371
8.1 Schnurlose Telefone	372
8.1.1 Einleitung	372
8.1.2 Digital European Cordless Telephone (DECT).....	374
8.1.2.1 DECT in Relation zum OSI- Referenzmodell	377
8.1.2.2 Die Luftschnittstelle: Der Physical Layer (PHL)	378
8.1.2.3 Der Medium Access Control (MAC) Layer	379
8.2 Funkrufsysteme	382
8.2.1 Einleitung	382
8.2.2 Systeme in Deutschland	385
8.2.2.1 Eurosignal	385
8.2.2.2 Cityruf.....	385
8.2.3 ERMES (European Radio Message System)	387
8.3 Datenfunksysteme	392
8.3.1 Einleitung	392
8.3.2 MODACOM (Mobile Data Communication)	393
8.3.3 Mobitex.....	396
8.4 Bündelfunksysteme	397
8.4.1 Einleitung	397
8.4.2 TETRA (Trans European Trunked Radio).....	399
8.5 Terrestrial Flight Telephone System (TFTS).....	401
8.6 Satellitensysteme.....	405
8.6.1 INMARSAT	405

Inhaltsverzeichnis	XIII
8.6.2 Zukünftige Satellitensysteme	407
8.7 IS-95 (Qualcomm CDMA).....	409
8.7.1 Einleitung	409
8.7.2 Beschreibung des IS-95 Systems.....	410
8.7.2.1 Der Downlink (Forward Channel).....	410
8.7.2.2 Der Uplink (Reverse Channel)	413
8.8 Dritte Generation.....	417
8.8.1 Einleitung	417
8.8.2 Anforderungen an UMTS.....	419
8.8.3 Entwicklungsstand und zukünftige Tendenzen.....	420
Anhang A8.1 Personal Handy Phone (PHS).....	428
Literaturverzeichnis	429
Abkürzungsverzeichnis	437
Index	451