

UMTS

Universal Mobile Telecommunications System

Von Professor Dr.-Ing. Thorsten Benkner
Fachhochschule Pforzheim
Dipl.-Ing. Christoph Stepping
Universität Siegen

Mit 232 Bildern und 67 Tabellen



J. Schlemmbach Fachverlag

Inhalt

1 Einführung.....	1
1.1 Grundprobleme des zellularen Mobilfunks	3
1.1.1 Funkfelddämpfung.....	3
1.1.2 Mehrwegeausbreitung	5
1.1.3 Zellularer Netzaufbau	9
1.1.4 Teilnehmermobilität	11
1.2 Vielfachzugriffsverfahren im Mobilfunk	13
1.2.1 FDMA.....	16
1.2.2 TDMA	17
1.2.3 CDMA	19
1.2.4 Stochastische Zugriffsverfahren.....	24
1.2.5 SDMA.....	30
1.3 Duplexverfahren	33
1.3.1 FDD	33
1.3.2 TDD	36
1.4 Anford. an ein "Universal Mobile Telecommunications System"	37
1.5 Entwicklungs- und Standardisierungsstand.....	40
1.6 UMTS-Systemarchitektur.....	45
2 Grundlagen der CDMA-Technik.....	51
2.1 Prinzip der Bandspreizung	52
2.1.1 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)	52
2.1.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS).....	55
2.2 Spreizcodes.....	59
2.2.1 Anforderungen und Kenngrößen	59
2.2.2 M-Sequenzen	62

2.2.3 Gold- und Kasami-Folgen	64
2.2.4 Walsh-Folgen.....	67
2.2.5 OVVSF-Codes.....	68
2.3 Sendeleistungsregelung	69
2.4 CDMA-Empfänger	71
2.4.1 RAKE-Empfänger	71
2.4.2 Mehrteilnehmerdetektion.....	74
2.4.2.1 MLSE – Optimalempfänger.....	75
2.4.2.2 Dekorrelator	80
2.4.2.3 LMMSE	82
2.4.2.4 Interferenzeliminierung.....	85
3 Kanalcodierungs- und Fehlerschutzverfahren.....	87
3.1 Einführung.....	88
3.2 Blockcodes	94
3.2.1 Lineare binäre Blockcodes	94
3.2.2 Zyklische binäre Blockcodes	97
3.2.3 BCH-Codes.....	103
3.2.4 RS-Codes	107
3.3 Faltungscodes	109
3.3.1 Faltungscodierung	109
3.3.2 Zustands- und Trellis-Diagramm.....	112
3.3.3 Trellis-Decodierung und Viterbi-Algorithmus.....	115
3.3.4 Korrektureigenschaften	119
3.3.5 Terminierung	120
3.3.6 Punktierung.....	121
3.3.7 Codeverkettung.....	124
3.4 Interleaving.....	125
3.4.1 Diagonales Interleaving	126
3.4.2 Block-Interleaving	127
3.4.3 Faltungs-Interleaving.....	128
3.5 Turbo-Codes	131
3.5.1 Turbo-Coder	131
3.5.2 Turbo-Decoder.....	134
3.6 ARQ-Protokolle.....	136
4 Wideband CDMA.....	139
4.1 Leistungsmerkmale.....	140
4.2 Transportkanäle	143
4.3 Physikalische Kanäle.....	145

4.3.1 Downlink	146
4.3.2 Downlink Sender-Diversity	152
4.3.3 Uplink	156
4.4 Multiplex und Kanalcodierung	161
4.4.1 Verarbeitungsschritte	161
4.4.2 Kanalcodierung	164
4.4.3 Multiplexierung von Transportkanälen	167
4.4.4 Compressed-Mode	168
4.4.5 Transportformate	169
4.5 Bandspreizung und Modulation	172
4.5.1 Downlink	172
4.5.2 Uplink	176
4.6 Steuerprozeduren der Bitübertragungsschicht	180
4.6.1 Sendeleistungsregelung	180
4.6.2 Zeitsynchronisation	182
4.7 Meßwerterfassung durch die Bitübertragungsschicht	186
4.7.1 Meßwerterfassung seitens der Mobilstation	187
4.7.2 Meßwerterfassung seitens des UTRAN	189
5 TD-CDMA	191
5.1 Leistungsmerkmale	192
5.1.1 Besonderheiten des TDD-Modes	195
5.1.2 Leistungsmerkmale des UE	195
5.1.2.1 Sendeeinheit des UE	195
5.1.2.2 Empfangseinheit des UE	198
5.1.3 Leistungsmerkmale der BS	199
5.1.3.1 Sendeeinheit der BS	199
5.1.3.2 Empfangseinheit der BS	201
5.1.4 Organisation der Datenströme	202
5.2 Transportkanäle	203
5.2.1 Common Channels	204
5.2.1.1 Broadcast Channel (BCH)	204
5.2.1.2 Paging Channel (PCH)	204
5.2.1.3 Forward Access Channel (FACH)	204
5.2.1.4 Random Access Channel (RACH)	205
5.2.1.5 Uplink Shared Channel (USCH)	206
5.2.1.6 Downlink Shared Channel (DSCH)	206
5.2.2 Dedicated Channels	206
5.3 Physikalische Kanäle	207
5.3.1 Dedicated Physical Channel (DPCH)	208

5.3.5.1	Burst-Typen	209
5.3.5.2	Transportformate.....	212
5.3.5.3	Midambeln	217
5.3.2	Common Physical Channels	220
5.3.2.1	Primary Common Control Physical Ch. (P-CCPCH)	220
5.3.2.2	Second. Common Control Physical Ch. (S-CCPCH)	220
5.3.2.3	Physical Random Access Channel (PRACH).....	220
5.3.2.4	Synchronisation Channel (SCH).....	222
5.3.2.5	Physical Uplink Shared Channel (PUSCH).....	222
5.3.2.6	Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)	222
5.3.2.7	Page Indicator Channel (PICH)	223
5.3.3	Beacons.....	223
5.4	Multiplex und Kanalcodierung.....	224
5.4.1	CRC-Prüfsumme.....	226
5.4.2	Codeblock-Bildung.....	227
5.4.3	Kanalcodierung.....	228
5.4.3.1	Faltungscoder	228
5.4.3.2	Turbo-Codierung.....	231
5.4.4	Anpassung der Blockgröße an den Funkrahmen	234
5.4.5	Erster Interleaving-Vorgang	235
5.4.6	Segmentierung für den Funkrahmen	235
5.4.7	Ratenanpassung	236
5.4.8	Multiplexen der Transportkanäle.....	237
5.4.9	Segmentierung nach physikalischen Kanälen.....	238
5.4.10	Zweiter Interleaving-Vorgang	238
5.4.11	Abbildung auf physikalische Kanäle	239
5.5	Bandspreizung und Modulation	240
5.5.1	Kombination physikalischer Kanäle.....	244
5.5.1.1	Uplink	244
5.5.1.2	Downlink.....	245
5.5.2	Synchronisations-Codes	246
5.5.2.1	Code-Erzeugung	246
5.5.2.2	Code-Zuweisung.....	248
5.6	Steuerprozeduren der Bitübertragungsschicht.....	248
5.6.1	Regelung der Sendeleistung	248
5.6.1.1	Sendeleistungsregelung im Uplink	251
5.6.1.2	Sendeleistungsregelung im Downlink	252
5.6.2	Timing Advance	253
5.6.3	Synchronisation und Auffinden von Zellen.....	254
5.6.3.1	Synchronisierung auf die Zeitschlitzte.....	254

5.6.3.2 Rahmen-Synchr. u. Identifizierung d. Codegruppe	255
5.6.3.3 Code-Identifizierung	255
5.6.4 Discontinuous Transmission (DTX)	256
5.6.5 Sender-Diversity im Downlink	256
5.6.5.1 Sender-Diversity für den DPCH	256
5.6.5.2 Sender-Diversity für den SCH	258
5.6.5.3 Sender-Diversity für den P-CCPCH	258
5.6.6 Stochastischer Zugriff	259
5.7 Meßwerterfassung und Meßwertübermittlung	260
5.7.1 Messungen des UE	261
5.7.2 Messungen des UTRAN	264
5.8 Opportunity Driven Multiple Access (ODMA)	265
6 UTRA Luftschnittstellen-Protokolle	267
6.1 Protokollarchitektur	268
6.1.1 Übergeordnete Architektur	268
6.1.2 Architektur des U _v -Stratums	269
6.1.3 Dienstleistungen und Funktionen der physikalischen Schicht	273
6.2 MAC-Protokoll	275
6.2.1 Verkehrs- und Steuerkanäle	276
6.2.2 Aufgaben und Architektur	278
6.2.3 Kommunikation mit RLC und RRC	285
6.2.4 Datenelemente	286
6.2.5 Messung des Verkehrsvolumens	287
6.2.6 Zugriff auf den RACH-Kanal	289
6.3 RLC-Protokoll	290
6.3.1 Aufgaben des RLC-Protokolls	292
6.3.2 Aufbau der Protokollinstanzen	293
6.3.3 Datenelemente	296
6.3.4 Protokollspezifische Funktionen	299
6.4 RRC-Protokoll	301
6.4.1 Aufgaben und Architektur	301
6.4.2 Protokollzustände	304
6.4.3 Radio Bearer	308
6.4.4 Datenelemente	308
6.4.5 Protokollspezifische Funktionen	311
6.5 Broadcast/Multicast-Control	316
6.5.1 Aufgaben und Architektur	316
6.5.2 Datenelemente	317
6.5.3 Protokollspezifische Funktionen	320

6.6 Konvergenzschicht für Paketdatendienste.....	321
6.6.1 Aufgaben und Architektur	321
6.6.2 Datenelemente	323
7 UTRAN.....	325
7.1 Netzarchitektur des UTRAN	327
7.1.1 Adressierung und Kennungen	329
7.1.2 Beschreibung der UTRAN-Funktionen	332
7.1.3 Mobilitätsmanagement	335
7.1.4 Synchronisation	336
7.1.5 Betriebs- und Wartungsaufgaben (O&M)	337
7.1.6 UTRAN-Schnittstellen	338
7.1.7 Protokollübersicht.....	341
7.1.7.1 RACH und FACH.....	341
7.1.7.2 DCH	344
7.1.7.3 DSCH und USCH	344
7.2 I _u -Schnittstelle: Verbindung zum Kernnetz.....	346
7.2.1 Aufgaben und Funktionen	348
7.2.2 RANAP-Protokoll	348
7.2.3 Protokollstruktur der I _u -Schnittstelle	350
7.2.4 Bitübertragungsschicht	353
7.2.5 Transportprotokolle in der Steuerebene	353
7.2.5.1 Leitungsvermittelnder (CS-) Bereich.....	354
7.2.5.2 Paketvermittelnder (PS-) Bereich	355
7.2.6 Transportprotokolle in der Teilnehmerebene	356
7.2.6.1 Leitungsvermittelnder (CS-) Bereich.....	357
7.2.6.2 Paketvermittelnder (PS-) Bereich	357
7.2.7 Signalisierung des RANAP-Protokolls	359
7.2.7.1 Verwaltung von "Radio Access Bearern"	362
7.2.7.2 Verwaltung von I _u -Ressourcen	362
7.2.7.3 Durchführung einer "SRNS-Relocation"	362
7.2.7.4 Informationsaustausch beim Intersystem-Handover.....	364
7.2.8 Protokolle der Teilnehmerebene.....	365
7.2.8.1 Einordnung der UP-Protokolle	365
7.2.8.2 Betriebsmodi der UP-Protokolle.....	368
7.3 I _{ur} -Schnittstelle: Verbindung zwischen Funknetz-Teilsystemen.....	371
7.3.1 Protokollstruktur der I _{ur} -Schnittstelle	372
7.3.2 Logisches Modell	376
7.3.3 RNSAP-Protokoll	378
7.3.4 Bitübertragungsschicht	381

7.3.5 Transportprotokolle der Steuerebene.....	381
7.3.6 Transportprotokolle der Teilnehmerebene	383
7.3.7 Userplane-Protokolle	384
7.3.7.1 Gemeinsame Kanäle	385
7.3.7.2 Zugewiesene Kanäle	390
7.4 I _{ub} -Schnittstelle: Verbindung zur Basisstation	393
7.4.1 Protokollstruktur der I _{ub} -Schnittstelle	394
7.4.2 Logisches Modell	396
7.4.3 NBAP-Protokoll	399
7.4.4 Bitübertragungsschicht	402
7.4.5 Transportprotokolle der Steuerebene.....	402
7.4.6 Transportprotokolle der Teilnehmerebene	404
7.4.7 Protokolle der Teilnehmerebene.....	405
7.4.7.1 RACH-Datenstruktur	406
7.4.7.2 FACH-Datenstruktur.....	408
7.4.7.3 PCH-Kanal.....	408
7.4.7.4 DSCH-Kanal.....	409
7.4.7.5 USCH-Kanal.....	410
7.4.7.6 Steuerinformationen.....	410
7.5 Interworking mit GSM-Netzen.....	411
7.5.1 Wechsel vom UTRAN zum GERAN	412
7.5.2 Wechsel vom GERAN zum UTRAN	415
8 Quellencodierung.....	417
8.1 Grundlagen	418
8.2 AMR-Codec	419
8.2.1 Funktionsweise	420
8.2.2 Quellengesteuerte Übertragungsrate (SCR)	423
8.2.3 Sprachaktivitäts-Erkennung (VAD)	425
8.2.4 Pausenkennung (SID)	426
8.2.5 Rahmensynthesierung.....	426
8.2.6 Rahmenstruktur der codierten Sprache.....	428
8.3 Netzwerkaspekte	431
8.3.1 Kaskadierte AMR-Codecs	431
8.3.2 Transcoder-freier Betrieb (TrFO).....	432
8.3.3 Tandem Free Operation (TFO).....	433
9 Einsatz von Kryptographie in UMTS.....	435
9.1 Sicherheitsarchitektur	437
9.1.1 Netzzugangssicherheit	438

9.1.2 Netzwerksicherheit	439
9.1.3 Sicherheit auf Teilnehmerseite	439
9.1.4 Anwendungssicherheit.....	440
9.1.5 Sichtbarkeit und Konfigurierbarkeit	440
9.2 Temporäre Identitäten	441
9.3 Authentifikation.....	443
9.3.1 Generierung von Authentifikations-Quintetten	445
9.3.2 Ablauf der Authentifikation.....	447
9.3.3 Durchführung der Authentifikation im UE	449
9.4 Schlüsselverwaltung.....	452
9.5 Datenintegrität	453
9.6 Datenverschlüsselung.....	455
9.7 Kryptographische Algorithmen	458
9.8 KASUMI-Algorithmus.....	458
9.8.1 Ablauf der Verschlüsselung.....	459
9.8.2 Betriebsarten	462
A Anhang.....	465
Abkürzungen.....	479
Literaturverzeichnis.....	487
Index.....	497