

Bernhard Walke

Mobilfunknetze und ihre Protokolle 1

Grundlagen, GSM, UMTS und andere
zellulare Mobilfunknetze

3. Auflage

Mit 226 Abbildungen und 84 Tabellen



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Vorwort zur zweiten Auflage	X
Vorwort zur dritten Auflage	XI
Kurzzinhalt Band 2	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Bestehende bzw. in Einführung befindliche Netze und Dienste . . .	7
1.1.1 GSM/DCS1800-System	7
1.1.2 DECT	10
1.1.3 Funknetze als Bypass des verdrahteten Ortsnetzes	12
1.1.4 Drahtlose lokale Netze (IEEE 802.11 WLAN, Wireless LAN, ETSI/HIPERLAN 1)	13
1.1.5 Drahtlose Netze für die Prozeßautomatisierung	13
1.1.6 Universal Mobile Telecommunications System UMTS	14
1.1.7 Drahtlose Breitbandsysteme	14
1.1.8 Mobiler Satellitenfunk	15
1.1.9 Universelle persönliche Mobilität	18
1.2 Systeme mit intelligenten Antennen	18
1.3 Mobilfunksysteme mit dynamischer Kanalvergabe	20
1.4 Weitere Aspekte	22
1.4.1 Selbstorganisierende Systeme	22
1.4.2 Elektromagnetische Umweltverträglichkeitsuntersuchungen	22
1.5 Historische Entwicklung	23
2 Systemaspekte	29
2.1 Charakteristika der Funkübertragung	29
2.1.1 Dämpfung	32
2.1.2 Ausbreitung über einer Ebene	34
2.1.3 Schwund bei Ausbreitung mit vielen Reflektoren (Mehrwe- geausbreitung)	36
2.1.4 Statistische Beschreibung des Übertragungskanals	38
2.1.5 Reflexion	43
2.1.6 Beugung	45

2.1.7	RMS Delay-Spread	46
2.1.8	Abschattung	46
2.1.9	Störungen durch Fremdsysteme	47
2.2	Modelle zur Funkfeldberechnung	47
2.2.1	Empirische Modelle	48
2.2.2	Beugungsmodelle	48
2.2.3	Strahlverfolgungsverfahren	49
2.2.4	Das Okumura/Hata-Modell	49
2.2.5	Funkausbreitung in Mikrozellen	51
2.3	Zellulare Systeme	52
2.3.1	Clusterbildung und Störabstand	53
2.3.2	C/I -Verhältnis und Verminderungsfaktor	55
2.3.3	Verkehrslast und Zellradius	57
2.4	Sektorisierung und spektrale Effizienz	59
2.4.1	Effizienz und tragbarer Verkehr	60
2.4.2	Wirkung der Sektorisierung bei fester Clustergröße	62
2.4.3	Effizienz und tragbarer Verkehr bei Sektorisierung und unterschiedlicher Clustergröße	64
2.4.4	Sektorisierung bei Abschattung	65
2.5	Das ISO/OSI-Referenzmodell	66
2.6	Zuteilung der Funkkanäle	69
2.6.1	Frequenzmultiplex, FDM	70
2.6.2	Zeitmultiplex, TDM	71
2.6.3	Codemultiplex, CDM	72
2.6.4	CDMA-Technik für den zellularen Mobilfunk	75
2.6.5	Raummultiplex, SDM	81
2.6.6	Hybride Verfahren	81
2.7	Kanalvergabestrategien	82
2.7.1	Klassifizierung der Kanalvergabeverfahren	82
2.7.2	FCA	83
2.7.3	BCA	84
2.7.4	DCA	85
2.7.5	HCA	85
2.7.6	Adaptivität der BCA/HCA-Kanalvergabeverfahren	85
2.8	Grundlagen der Fehlersicherung	86
2.8.1	Besonderheiten der Fehlersicherung bei Funkkanälen	86
2.8.2	Fehlererkennung	87
2.8.3	Fehlerkorrektur	88
2.8.4	Fehlerbehandelnde Verfahren (Schiebefensterprotokolle)	92
2.8.5	Hybride ARQ/FEC-Verfahren	100
2.9	Grundlagen zum Zufallszugriff	100
2.9.1	Die Slotted-ALOHA Zugriffsmethode	101

2.9.2	Slotted-ALOHA mit Zufallszugriffsrahmen	111
2.9.3	Zugriffsverzögerung bei Slotted-ALOHA	118
2.9.4	Algorithmen zur Kollisionsauflösung bei Slotted-ALOHA	124
3	GSM-System	135
3.1	Die GSM-Empfehlung	135
3.2	Die Architektur des GSM-Systems	139
3.2.1	Funktioneller Aufbau des GSM-Systems	139
3.2.2	Schnittstellen des GSM-Systems	151
3.3	Die funkschnittstelle am Bezugspunkt U_m	153
3.3.1	Multiplex-Struktur	153
3.3.2	Frequency Hopping (FH)	159
3.3.3	Logische Kanäle	159
3.3.4	Hierarchie der Rahmenstrukturen	164
3.3.5	Kombinationen logischer Kanäle	164
3.3.6	Kanalkombinationen einer Zelle in Abhängigkeit von der erwarteten Zellauslastung	171
3.3.7	Schicht 1: Bitübertragung	172
3.3.8	GSM-Schicht-2: Sicherung	184
3.4	Signalisierungsprotokolle der GSM-Sicherungsschicht	185
3.4.1	Das LAPD _m -Protokoll	187
3.4.2	Dienste der physikalischen Schicht	195
3.4.3	Einfluß der physikalischen Schicht auf das LAPD _m	195
3.4.4	Dienste des LAPD _m	198
3.5	Die Netzschicht im GSM	200
3.5.1	Verbindungsaufbau	202
3.5.2	Dienste der CC-Teilschicht	203
3.5.3	Dienste der MM-Teilschicht	206
3.5.4	Dienste der RR-Teilschicht	209
3.5.5	Format und Codierung einer Schicht-3-Nachricht	210
3.5.6	Weiterleiten einer Schicht-3-Nachricht	213
3.5.7	Primitive der Teilschichten	215
3.6	GSM-Handover	215
3.6.1	Notwendigkeit für Handover	216
3.6.2	GSM-Empfehlungen	216
3.6.3	Handovervorbereitung	217
3.6.4	Meßwertreporte	223
3.6.5	Handoverentscheidung	227
3.6.6	Beispielalgorithmus GSM 05.08	231
3.6.7	Probleme des GSM-Handoverprozesses	236
3.6.8	Intra-MS-Handover	237
3.6.9	Das Intra-MS-Handoverprotokoll	242

3.6.10	Inter-MSK Handover	258
3.7	Aktualisierung des Aufenthaltsbereiches (<i>Location Update</i>)	259
3.7.1	Unterstützung von Roaming	261
3.7.2	Numerierungsplan für das Roaming	261
3.8	Verbindungsaufbau	263
3.8.1	Kommender Ruf (<i>Mobile Terminated Call</i>)	263
3.8.2	Gehender Ruf (<i>Mobile Originated Call</i>)	265
3.9	Datenübertragung und Raten-Anpassungsfunktionen	266
3.9.1	Ratenanpassung an die Leistung des Verkehrskanals	266
3.9.2	Ratenanpassung bei der Verbindung BTS/Transcoder zur MSC bzw. MSC/IWF	270
3.9.3	Schicht-2-Brückenfunktion (<i>Layer 2 Relay, L2R</i>) und <i>Radio Link Protocol (RLP)</i>	270
3.9.4	Das Radio-Link Protokoll (RLP)	270
3.10	Die Dienste im GSM-Mobilfunknetz	272
3.10.1	Einführungsphasen der Dienste	273
3.10.2	Trägerdienste	274
3.10.3	Teledienste	277
3.10.4	Zusatzdienste	282
3.11	Zukünftige Sprach- und Datendienste im GSM	283
3.11.1	ASCI – erweiterte GSM-Sprachdienste	284
3.11.2	HSCSD – der hochbitratige kanalvermittelte Datendienst	289
3.11.3	GPRS – der GSM-Paketdatendienst	294
3.12	Netzübergangsfunktion – <i>Interworking Function, IWF</i>	321
3.12.1	Übergang zum öffentlichen Fernsprechwählnetz	322
3.12.2	Übergang zum ISDN	322
3.12.3	Übergang zum öffentlichen paketvermittelten Datennetz	323
3.12.4	Übergang zum öffentlichen kanalvermittelten Datennetz	324
3.12.5	Netzübergangsfunktionen für Teledienste	324
3.13	Sicherheitsaspekte	325
3.13.1	Authentisierung	326
3.13.2	Vertraulichkeit der Nutz- und Signalisierdaten	326
3.13.3	Vertraulichkeit der Teilnehmeridentität	327
3.13.4	Transport sicherheitsrelevanter Informationen	327
3.14	GSM in Deutschland	329
3.15	Schlußbemerkung	329
3.16	Digital-Mobilfunknetz ETSI/DCS1800	338
3.17	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	340
3.17.1	Modulation	341
3.17.2	Sendeleistungssteuerung	342
3.17.3	Steuerung der Übertragungsqualität	343

4	Weitere öffentliche Mobilfunksysteme	347
4.1	Flugtelefon-Netz für öffentliche Luft-Boden-Kommunikation	347
4.1.1	TFTS-Zellulernetz	347
4.1.2	Frequenz- und Zeitmultiplexkanäle	348
4.1.3	Sprach- und Datenübertragung	349
4.1.4	Funktionsmerkmale	349
4.1.5	Bodenstationen und Frequenzplan	351
4.2	Das US Digital Cellular System (USDC)	351
4.2.1	Technische Daten des USDC-Systems	353
4.3	CDMA-Zellularfunk gemäß IS-95	354
4.3.1	Forward-Link	354
4.3.2	Return-Link	359
4.3.3	Praktische Erfahrungen mit IS-95-CDMA	363
4.4	Das japanische Personal Digital Cellular System (PDC)	365
4.4.1	Technische Daten des PDC-Systems	365
4.5	Vergleich von Zellularsystemen der 2. Generation	367
5	Zellulare Mobilfunknetze der 3. Generation	369
5.1	UMTS – Universal Mobile Telecommunications System	372
5.2	FPLMTS – IMT 2000	374
5.3	Dienste für UMTS und IMT-2000	376
5.3.1	Trägerdienste	376
5.3.2	Teledienste	378
5.3.3	Zusatzdienste	379
5.3.4	Mehrwertdienste	380
5.3.5	Dienstparameter	380
5.3.6	Verkehrsdichte	382
5.4	Frequenzspektrum für UMTS	385
5.5	Die Architektur des UMTS	388
5.5.1	User Equipment Domain	388
5.5.2	Access Network Domain	389
5.5.3	Core Network Domain	389
5.6	Die Zugangsebene	390
5.6.1	Das Kernnetz	391
5.6.2	UMTS Terrestrial Radio Access Network	392
5.6.3	Funktionaler Aufbau des UTRAN	393
5.6.4	Funktionen des UTRAN	393
5.7	Die Funkschnittstelle am Bezugspunkt U_u	397
5.8	Die Bitübertragungsschicht	399
5.8.1	Vielfachzugriff	399
5.8.2	Die Transportkanäle	402
5.8.3	Physikalische Kanäle im FDD-Modus	408

5.8.4	Physikalische Kanäle im TDD-Modus	417
5.8.5	Code-Spreizung und Modulation	421
5.8.6	Kanalcodierung, Multiplexen und Verschachteln	426
5.9	Die Sicherungsschicht	434
5.9.1	Die MAC-Teilschicht	434
5.9.2	Die RLC-Teilschicht	442
5.9.3	Datenfluß durch die Sicherungsschicht	446
5.9.4	Die BMC-Teilschicht	448
5.9.5	Die PDCP-Teilschicht	448
5.10	Die Netzschicht	450
5.10.1	Funktionen der Netzschicht	450
5.10.2	Aufbau der Netzschicht	452
5.11	Der UMTS Standard	453
A	Warte- und Verlustsysteme	463
A.1	Das Wartesystem $M/M/n-\infty$	463
A.1.1	Zustandsprozeß als spezieller Geburts- und Sterbe-Prozeß	464
A.1.2	Charakteristische Leistungskenngrößen	465
A.2	Das Warte-Verlustsystem $M/M/n-s$	467
A.2.1	Zustandsraum als spezieller GS-Prozeß	467
A.2.2	Charakteristische Größen	468
B	Standards und Empfehlungen	471
B.1	Internationale Standardisierungsorganisationen	472
B.1.1	ISO	472
B.1.2	ITU	473
B.1.3	IEC	477
B.1.4	INTELSAT/INMARSAT	478
B.1.5	ATM Forum	478
B.2	Europäische Standardisierungsorganisationen	478
B.2.1	CEN/CENELEC	479
B.2.2	CEPT	479
B.2.3	ETSI	480
B.2.4	ECMA	488
B.2.5	EBU	489
B.2.6	EUTELSAT	489
B.2.7	ESA	489
B.3	Nationale Standardisierungsorganisationen	489
B.4	Quasi-Standards	490
B.4.1	Firmen-Standards	490
B.4.2	Benutzer-Standards	491

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	XIX
C Internationale Frequenzzuweisungen	493
D Frequenzen europäischer Mobilfunksysteme	497
E Der GSM-Standard	499
F Abkürzungen	505
Literaturverzeichnis	525
Index	539