

Martin Sauter

Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme

**LTE-Advanced, UMTS, HSPA, GSM, GPRS,
Wireless LAN und Bluetooth**

6., überarbeitete und erweiterte Auflage

 **Springer Vieweg**

Inhaltsverzeichnis

1 GSM	1
1.1 Leitungsvermittelnde Datenübertragung	1
1.1.1 Klassische Leitungsvermittlung	2
1.1.2 Virtuelle Leitungsvermittlung über IP	3
1.2 Standards	4
1.3 Übertragungsgeschwindigkeiten	5
1.4 Das Signalisierungssystem Nr. 7	6
1.4.1 Klassischer SS-7-Protokollstack	7
1.4.2 Spezielle SS-7-Protokolle für GSM	10
1.4.3 IP-basierter SS-7-Protokollstack	11
1.5 Die GSM Subsysteme	13
1.6 Das Network Subsystem	13
1.6.1 Die Mobile Vermittlungsstelle (MSC), Server und Gateway	14
1.6.2 Das Visitor Location Register (VLR)	18
1.6.3 Das Home Location Register (HLR)	19
1.6.4 Das Authentication Center (AC)	23
1.6.5 Das Short Message Service Center (SMSC)	25
1.7 Das Base Station Subsystem (BSS) und Sprachcodierung	27
1.7.1 Frequenzbereiche	27
1.7.2 Base Transceiver Station (BTS)	29
1.7.3 Die GSM-Luftschnittstelle	30
1.7.4 Der Base Station Controller (BSC)	38
1.7.5 Die TRAU für Sprachdatenübertragung	43
1.7.6 Channel Coder und Interleaver in der BTS	47
1.7.7 Verschlüsselung und Sicherheitsaspekte	50
1.7.8 Modulation	54
1.7.9 Voice Activity Detection	54

1.8	Mobility Management und Call Control	56
1.8.1	Cell Reselection und Location Area Update	56
1.8.2	Mobile Terminated Call	57
1.8.3	Handoverszenarien	61
1.9	Mobile Endgeräte	63
1.9.1	Aufbau eines einfachen GSM Telefons	64
1.9.2	Aufbau eines Smartphones	66
1.10	DieSIM-Karte	67
1.11	Das Intelligent Network Subsystem und CAMEL	72
1.12	Fragen und Aufgaben	75
2	GPRS und EDGE	77
2.1	Leitungsvermittelte Datenübertragung	78
2.2	Paketorientierte Datenübertragung	79
2.3	GPRS auf der Luftschnittstelle	81
2.3.1	GPRS Timeslot-Nutzung im Vergleich zu GSM	81
2.3.2	Gleichzeitige Nutzung einer Basisstation von GSM und GPRS	84
2.3.3	Coding Schemes	85
2.3.4	EDGE (EGPRS)	86
2.3.5	Mobile Device Classes	88
2.3.6	Network Operation Mode (NOM)	88
2.3.7	GPRS-Kanalstruktur auf der Luftschnittstelle	90
2.4	GPRS-Zustandsmodell	93
2.5	GPRS-Netzwerkelemente	95
2.5.1	Die Packet Control Unit (PCU)	96
2.5.2	Der Serving GPRS Support Node(SGSN)	97
2.5.3	Der Gateway GPRS Support Node (GGSN)	99
2.6	GPRS Radio Resource Management	100
2.7	GPRS-Schnittstellen und Protokolle	104
2.8	GPRS Mobility und Session Management (GMM/SM)	109
2.8.1	Mobility Management-Aufgaben	109
2.8.2	GPRS Session Management	112
2.9	Session Management aus Anwendersicht	115
2.9.1	Leitungsvermittelter Verbindungsaufbau	115
2.9.2	GPRS-Verbindungsaufbau	116
2.10	Der Multimedia Messaging Service (MMS) über GPRS	119
2.11	Weiterentwicklung von EDGE	124
2.12	Fragen und Aufgaben	124

3	UMTS und HSPA	127
3.1	Überblick, Historie und Zukunft	127
3.1.1	3GPP Release 99: Die erste Version des neuen Radionetzwerks	129
3.1.2	3GPP Release 4: Bearer Independent Core Network	130
3.1.3	3GPP Release 5: IP Multimedia Subsystem und HSDPA	132
3.1.4	3GPP Release 6: High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)	134
3.1.5	3GPP Release 7: HSPA+ und CPC	135
3.1.6	3GPP Release 8: LTE, HSPA+ Verbesserungen und Femtozellen	136
3.1.7	3GPP Release 9: Digitale Dividende und Dual Cell	137
3.1.8	3GPP Release 10 und 11: LTE-Advanced	138
3.2	Wichtige neue Konzepte in UMTS Release 99	139
3.2.1	Der Radio Access Bearer (RAB)	139
3.2.2	Aufteilung in Access Stratum und Non-Access Stratum	140
3.2.3	Gemeinsames Übertragungsprotokoll für CS und PS	141
3.3	Code Division Multiple Access (CDMA)	142
3.3.1	Spreizfaktor, Chiprate und Prozessgewinn	146
3.3.2	Der OVSF-Codebaum	147
3.3.3	Scrambling in Uplink- und Downlink-Richtung	148
3.3.4	Frequenz- und Zellplanung in UMTS	150
3.3.5	Near-Far-Effekt und Zellatmung	150
3.3.6	Vorteile des UMTS-Radionetzwerkes gegenüber GSM	152
3.4	UMTS-Kanalstruktur auf der Luftschnittstelle	155
3.4.1	User Plane und Control Plane	155
3.4.2	Common und Dedicated-Kanäle	155
3.4.3	Logische, Transport- und Physikalische Kanäle	156
3.4.4	Beispiel: Netzwerksuche	160
3.4.5	Beispiel: Der erste Netzwerkzugriff	163
3.4.6	Der Uu Protokoll Stack	165
3.5	Das UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)	170
3.5.1	Node-B, Iub Interface, NBAP und FP	170
3.5.2	Der RNC, Iu, Iub und Iur-Schnittstelle, RANAP und RNSAP	172
3.5.3	Adaptive Multi-Rate-NB und -WB für Sprachübertragung	177
3.5.4	Radio Resource Control (RRC)-Zustände	179
3.6	Mobility Management aus Sicht des Kernnetzes	184
3.7	Mobility Management aus Sicht des Radionetzwerkes	185

3.7.1	Mobility Management im Cell-DCH-Zustand	185
3.7.2	Mobility Management im Idle-Zustand	194
3.7.3	Mobility Management in anderen Zuständen	195
3.8	UMTS CS und PS-Verbindungsaufbau	197
3.9	High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)	201
3.9.1	HSDPA-Kanäle	201
3.9.2	Kleinere Delay- Zeiten und Hybrid ARQ (HARQ)	203
3.9.3	Scheduling im Node-B	205
3.9.4	Adaptive Modulation, Codierung und Geschwindigkeit	206
3.9.5	Auf- und Abbau einer HSDPA-Verbindung	209
3.9.6	HSDPA Mobility Management	210
3.10	High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)	211
3.10.1	E-DCH-Kanalstruktur	213
3.10.2	Der E-DCH-Protokoll Stack	217
3.10.3	E-DCH Scheduling	218
3.10.4	E-DCH Mobility	221
3.10.5	E-DCH-Endgeräte	222
3.11	Continuous Packet Connectivity	223
3.11.1	Ein neues Uplink Control Channel Slot Format	223
3.11.2	Reduzierung des CQI Reporting Intervals, DTX und DRX	224
3.11.3	HS-SCCH Discontinuous Reception	225
3.11.4	HS-SCCH-less Operation	225
3.11.5	Enhanced Cell-FACH, Cell/URA PCH States	226
3.12	FastDormancy	228
3.13	Fragen und Aufgaben	228
4	Long Term Evolution (LTE) und LTE-Advanced	231
4.1	Einleitung und Überblick	231
4.2	Netzwerk-Architektur und Schnittstellen	233
4.2.1	LTE-Endgeräte und die LTE Uu-Schnittstelle	234
4.2.2	Der eNodeB und die S1 und X2-Schnittstellen	237
4.2.3	Die Mobility Management Entity (MME)	240
4.2.4	Das Serving-Gateway	241
4.2.5	Das PDN-Gateway	242
4.2.6	DasHSS	242
4.2.7	Zusätzliche Systeme zur Abrechnung und Qualitätssteuerung (QoS)	243
4.3	Die LTE-Luftschnittstelle und das Radionetzwerk	244
4.3.1	OFDMA für die Datenübertragung im Downlink	245
4.3.2	SC-FDMA für Uplink Übertragungen	247

4.3.3	Symbole, Slots, Radio Blocks und Frames	248
4.3.4	Referenz-und Synchronisations-Signale	250
4.3.5	Das LTE-Kanalmodell in Downlink-Richtung	251
4.3.6	Downlink Management-Kanäle	252
4.3.7	System Information Messages	253
4.3.8	Das LTE-Kanalmodell in der Uplink-Richtung	253
4.3.9	Multiple Input Multiple Output Übertragungen	254
4.3.10	HARQ	256
4.3.11	PDCP – Komprimierung und Verschlüsselung	257
4.4	Scheduling	258
4.4.1	Downlink Scheduling	258
4.4.2	Uplink Scheduling	262
4.5	Grundsätzliche Prozeduren	263
4.5.1	Netzwerksuche	263
4.5.2	Attach und Aktivierung des Default Bearers	266
4.5.3	Handover Szenarien	270
4.6	Mobility Management und Leistungsoptimierung	273
4.6.1	Mobilitätsmanagement im Connected State	273
4.6.2	Mobility Management im Idle State	274
4.6.3	Mobility Management und Zustandsänderungen in der Praxis	276
4.7	LTE Sicherheitsarchitektur	276
4.8	Zusammenspiel mit UMTS und GSM	278
4.8.1	Cell Reselection zwischen LTE und GSM/UMTS	278
4.8.2	RRC Connection Release mit Redirect zwischen LTE und GSM/UMTS	280
4.8.3	Handover zwischen LTE und GSM/UMTS	281
4.9	Backhaulverbindungen	281
4.10	Self-Organizing Networks	283
4.11	CS-Fallback für Sprache und SMS mit LTE	284
4.11.1	SMS über SGs	284
4.11.2	CS Fallback	286
4.12	Voice over LTE (VoLTE)	289
4.12.1	Das Session Initiation Protocol (SIP)	289
4.12.2	Das IP Multimedia Subsystem (IMS) und VoLTE	294
4.12.3	Single Radio Voice Call Continuity	298
4.12.4	Internet-basierte Alternativen	301
4.12.5	LTE Bearer Konfigurationen für VoLTE	301
4.13	LTE-Advanced (3GPP Release 10-12)	303
4.13.1	Carrier Aggregation	303
4.13.2	8x8 Downlink und 4x4 Uplink MIMO	304
4.13.3	Relays	305

4.13.4	HetNets, ICIC und eCIC	305
4.13.5	Coordinated Multipoint Operation	307
4.13.6	Zukünftige LTE Anwendungsszenarien: Machine Type Communication und Sicherheitsnetze	309
4.14	Fragen und Aufgaben	310
5	Wireless LAN IEEE 802.11	311
5.1	Wireless LAN Überblick	311
5.2	Geschwindigkeiten und Standards	312
5.3	WLAN-Konfigurationen: Von Ad-hoc bis Wireless Bridging	314
5.3.1	Ad-hoc, BSS, ESS und Wireless Bridging	314
5.3.2	SSID und Frequenzwahl	318
5.4	Management-Operationen	320
5.5	Die MAC-Schicht	325
5.5.1	Zugriffssteuerung auf das Übertragungsmedium	325
5.5.2	Der MAC Header	328
5.6	Physical Layer und MAC-Erweiterungen	330
5.6.1	IEEE 802.11b mit bis zu 11 Mbit/s	330
5.6.2	IEEE 802.11g mit bis zu 54 Mbit/s	333
5.6.3	IEEE 802.11a mit bis zu 54 Mbit/s	335
5.6.4	IEEE 802.11n mit bis zu 600 Mbit/s	335
5.6.5	IEEE 802.11ac mit bis zu 6.8 Gbit/s	346
5.7	Wireless LAN-Sicherheit	351
5.7.1	Wired Equivalent Privacy (WEP)	352
5.7.2	WPA und WPA2 Personal Mode-Authentifizierung	353
5.7.3	WPA und WPA2 Enterprise Mode-Authentifizierung	355
5.7.4	Authentifizierung mit EAP-SIM und EAP-AKA	357
5.7.5	Verschlüsselung mit WPA und WPA2	359
5.7.6	Wi-Fi Protected Setup (WPS)	361
5.8	IEEE 802.11e und WMM – Quality of Service	363
5.9	Vergleich zwischen Wireless LAN und LTE	369
5.10	Fragen und Aufgaben	373
6	Bluetooth	375
6.1	Überblick und Anwendungen	375
6.2	Physikalische Eigenschaften	377
6.3	Piconetze und das Master Slave Konzept	379
6.4	Der Bluetooth Protokoll Stack	382
6.4.1	Der Baseband Layer	382
6.4.2	Der Link Controller	387
6.4.3	Der Link Manager	391
6.4.4	Das HCI Interface	392

6.4.5	Der L2CAP Layer	395
6.4.6	Das Service Discovery Protocol	396
6.4.7	Der RFCOMM Layer	398
6.4.8	Aufbau einer Verbindung im Überblick	400
6.5	Bluetooth Sicherheit	401
6.5.1	Pairing bis Bluetooth 2.0	402
6.5.2	Pairing ab Bluetooth 2.1 (Secure Simple Pairing)	403
6.5.3	Authentifizierung	405
6.5.4	Verschlüsselung	406
6.5.5	Autorisierung	407
6.5.6	Sicherheitsmodi	408
6.6	Bluetooth Profile	409
6.6.1	Grundlegende Profile: GAP, SDP und Serial Profile	411
6.6.2	Object Exchange Profile: FTP, Object Push und Synchronize	412
6.6.3	Headset, Hands-Free und SIM-Access Profile	415
6.6.4	High Quality Audio Streaming	419
6.6.5	Das Human Interface Device (HID) Profile	422
6.7	Fragen und Aufgaben	424
	Weiterführende Literatur	425
	Sachverzeichnis	427