

Kamprath-Reihe

4.3

Professor Dr. Christian Lüders

Mobilfunksysteme

Grundlagen, Funktionsweise, Planungsaspekte

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	13
1.1 Teilnehmerzahlen in Mobilfunknetzen in Deutschland	13
1.2 Allgemeine Entwicklungstrends im Mobilfunk	13
1.3 Grundlegende Begriffe	18
1.3.1 Beschreibung von Telekommunikationssystemen	18
1.3.2 Mobilität	22
1.3.3 Besonderheiten der Funkübertragung	24
2 Funkausbreitung	25
2.1 Übersicht über grundsätzliche Effekte der Funkausbreitung	25
2.2 Sender- und Empfängerkenngößen	27
2.3 Freiraumausbreitung	30
2.4 Entfernungsabhängige Dämpfung	31
2.5 Abschattungen	31
2.6 Mehrwegeausbreitung	32
2.6.1 Wichtige Kenngrößen für die Mehrwegeausbreitung	32
2.6.2 Spezialfall: Zweirwegeausbreitung	35
2.6.3 Kurzzeitschwund	38
2.6.4 Maßnahmen gegen den Kurzzeitschwund	40
2.6.4.1 Zeitdiversität	40
2.6.4.2 Frequenzdiversität	41
2.6.4.3 Antennendiversität	42
2.6.5 Intersymbol-Interferenz	46
2.7 Der Einfluss des Wetters und der Atmosphäre auf die Funkausbreitung	47
3 Aspekte der Funkübertragungstechnik	49
3.1 Grundsätzliche Anforderungen an die Funkübertragungstechnik	49
3.2 Störfestigkeit eines Übertragungsverfahrens	50
3.3 Modulation	53
3.3.1 Allgemeines	53
3.3.2 Binäre Phasenumtastung	53
3.3.3 Höherwertige Modulationsverfahren	56
3.3.4 Gaußsches Minimum Shift Keying	59
3.4 Maßnahmen zum Fehlerschutz	60
3.4.1 Grundsätzliches	60
3.4.2 Das Prinzip der Fehlererkennung und -korrektur	62
3.4.3 Methoden der Vorwärtsfehlerkorrektur im Mobilfunk	63
3.4.4 Interleaving	66
3.4.5 ARQ-Verfahren	68
3.4.5.1 Fehlererkennung und -korrektur in hybriden ARQ-Verfahren	68
3.4.5.2 Protokolle für die Wiederholung fehlerhafter Datenblöcke	70
3.5 Sprachcodierung	71
3.6 Signalspreizung	71
4 Funkkanalzuteilung	77
4.1 Allgemeines	77
4.2 Multiplextechniken im Mobilfunk	77
4.2.1 Frequenzmultiplex	78

8 Inhaltsverzeichnis

4.2.2	Zeitmultiplex	80
4.2.2.1	Prinzip und Realisierungsformen des Zeitmultiplex	80
4.2.2.2	Duplex-Verfahren für kombinierte TDM-FDM-Systeme	81
4.2.2.3	Vorteile des Zeitmultiplex	82
4.2.2.4	Beispiele für TDMA-Systeme	83
4.2.2.5	Realisierung höherer Datenraten in TDMA-Systemen durch Bündelung von Kanälen	85
4.2.2.6	Grenzen des TDMA-Verfahrens	85
4.2.3	Codemultiplex	86
4.2.3.1	Allgemeines Prinzip	86
4.2.3.2	Orthogonalität von Codes	86
4.2.3.3	Realisierung verschiedener Datenraten	90
4.2.3.4	Störungen beim Codemultiplex	90
4.2.3.5	Vor- und Nachteile des Codemultiplex-Verfahrens	92
4.2.3.6	Kombinationen mit anderen Multiplex-Verfahren und Beispiele	93
4.2.4	Orthogonales Frequenzmultiplex	94
4.2.5	Raummultiplex	96
4.3	Verteilung der Funkkanäle auf die Funkzellen	97
4.4	Zuteilung der Funkkanäle für eine Verbindung	98
4.4.1	Zugriffsverfahren	98
4.4.1.1	Das Slotted-ALOHA-Protokoll	99
4.4.1.2	Carrier Sense Multiple Access	101
4.4.2	Kriterien für die Funkkanalwahl	103
4.4.3	Vermittlungsprinzipien und Verbindungsarten	104
	Das GSM-System	107
5.1	Zur Entwicklung des GSM-Standards	107
5.1.1	Historisches	107
5.1.2	Überblick über Dienste und Anwendungen	108
5.1.3	Anmerkungen zur Gliederung des Kapitels	109
5.2	Funkkanäle im GSM-System	109
5.2.1	Physikalische Kanäle	109
5.2.1.1	Frequenzbereiche für GSM	109
5.2.1.2	Multiplex-Verfahren und elementare physikalische Kanäle	110
5.2.1.3	Physikalische Kanäle bei Frequency Hopping	112
5.2.1.4	Teilung und Bündelung elementarer physikalischer Kanäle	114
5.2.2	Sprachkanäle	115
5.2.2.1	Sprachcodierverfahren	115
5.2.2.2	Das Transportformat bei der Sprachübertragung	115
	<i>Aufbau eines normalen Bursts</i>	115
	<i>Kanalcodierung und Interleaving bei der Sprachübertragung</i>	117
	<i>Rahmenstruktur der Sprachkanäle</i>	119
5.2.2.3	Zusammenfassung	120
5.2.3	Steuerungskanäle - Control Channels	120
5.2.3.1	Broadcast Control Channels	120
	<i>Broadcast Common Control Channel</i>	120
	<i>Frequency Correction Channel</i>	122
	<i>Synchronization Channel</i>	123
5.2.3.2	Common Control Channels	123
	<i>Paging Channel</i>	123
	<i>Random Access Channel</i>	123
	<i>Access Grant Channel</i>	124
5.2.3.3	Dedicated Control Channels	125
	<i>Stand Alone Dedicated Control Channel</i>	125
	<i>Slow Associated Control Channel</i>	126
	<i>Fast Associated Control Channel</i>	126
5.2.3.4	Zusammenfassung: Aufgaben und Transportformate von Steuerungskanälen	127

5.2.4	Kanalkonfiguration einer Funkzelle.	127
5.2.4.1	Rahmenstruktur der Kontrollkanäle und allgemeine Regeln zur Konfiguration	127
5.2.4.2	Beispiel für eine Kanalkonfiguration	131
5.2.5	Allgemeine Gesichtspunkte bei der Beschreibung eines Funkkanals.	131
5.3	Architektur des GSM-Systems.	131
5.3.1	Netzelemente und deren Funktion.	131
5.3.1.1	Radio Sub-System.	133
5.3.1.2	Switching Sub-System.	135
5.3.1.3	Operation and Maintenance Sub-System.	136
5.3.1.4	Zusammenfassung zum Thema Netzelemente.	136
5.3.2	Teilbereiche eines GSM-Netzes.	136
5.3.3	Kennziffern und Adressen.	139
5.3.3.1	Kennziffern zum Auffinden und Identifizieren eines Teilnehmers.	139
5.3.3.2	Adressierung von Netzelementen und -bereichen.	140
5.3.3.3	Zusammenfassung: Kennziffern und Adressen.	140
5.3.4	Sicherheitsrelevante Netzfunktionen.	140
5.4	Prozeduren und Algorithmen.	143
5.4.1	Aktivierung der Mobilstation.	144
5.4.1.1	Identifikation gegenüber der SIM-Karte.	144
5.4.1.2	Zellwahl.	144
5.4.1.3	Netzwahl.	145
5.4.1.4	Anmeldung.	145
5.4.2	Aktivitäten der Mobilstation im Idle-Modus.	146
5.4.2.1	Abhören des Paging Channels.	146
5.4.2.2	Zellneuwahl.	147
5.4.2.3	Location Update.	148
5.4.3	Prozeduren beim Verbindungsaufbau.	150
5.4.3.1	Wegesuche auf der Festnetzseite.	150
5.4.3.2	Aufbau der Funkverbindung.	152
5.4.4	Prozeduren zur Verbindungssteuerung.	152
5.4.4.1	Messungen.	153
	<i>Messgrößen.</i>	153
	<i>Nachbarzellmessungen.</i>	154
	<i>Messwert-Reports.</i>	154
	<i>Vorverarbeitung der Messwerte.</i>	156
5.4.4.2	Handover.	156
	<i>Handover-Typen und -Phasen.</i>	156
	<i>Beispiel für einen Handover-Algorithmus.</i>	158
	<i>Durchführung eines Handovers - Signalisierung.</i>	161
5.4.4.3	Power Control.	163
5.4.4.4	Regelung des Aussendezeitpunktes der MS.	165
5.4.4.5	Radio Link Failure.	165
5.4.5	Überblick über die Signalisierungsprotokolle in GSM.	166
5.5	Datendienste.	168
5.5.1	Übersicht über die Datenübertragung in GSM.	168
5.5.2	Leitungsvermittelte Datenübertragung - Circuit Switched Data.	170
5.5.2.1	Erläuterung von Begriffen und Unterscheidungsmerkmalen.	170
5.5.2.2	Leitungsvermittelte Datenübertragung am Beispiel des Full-Rate-Kanals TCH/F9.6.	172
5.5.2.3	Mögliche Datenraten auf Full-Rate- und Half-Rate-Kanälen.	173
5.5.2.4	High Speed Circuit Switched Data	173
	<i>Regeln für die Bündelung von Kanälen.</i>	173
	<i>Aufbau einer HSCSD-Verbindung.</i>	174
	<i>Steuerung einer HSCSD-Verbindung.</i>	175
5.5.3	Short Message Service	176
5.5.3.1	Der Short Message Service Point-to-Point	177
5.5.3.2	Der Cell Broadcast Short Message Service	179

5.5.4	General Packet Radio Service	180
5.5.4.1	Allgemeine Anforderungen an den General Packet Radio Service	180
5.5.4.2	Funkkanäle für GPRS	181
	<i>Transportformat der Paketdatenkanäle</i>	181
	<i>Kontrollkanäle für die Paketdatenübertragung</i>	185
	<i>Kanalkonfiguration für GPRS</i>	186
5.5.4.3	GPRS-Systemarchitektur	186
	<i>Netzelemente und Netzbereiche</i>	186
	<i>Adressen und Kennziffern</i>	189
5.5.4.4	Wesentliche Prozeduren und Algorithmen im GPRS-Netz	189
	<i>Mobility-Management-Zustände</i>	189
	<i>Zellwahl im Idle- und Standby-Zustand</i>	191
	<i>GPRS-Anmeldung</i>	191
	<i>Aufbau einer Verbindung zu einem Datennetz</i>	193
	<i>Der Packet Transfer Mode: Übertragung von Datenpaketen</i>	194
	<i>Verfahren zur Steuerung der Verbindungsqualität</i>	196
5.5.4.5	Übersicht über die Protokolle für den GPRS-Nutzdatentransport	199
5.5.5	Steigerung der Datenrate: Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)	200
5.6	Einige ausgewählte Anwendungen	202
5.6.1	Gruppenrufe, Rundrufe und Prioritäten für den Bahnfunk und für andere professionelle Anwendungen	202
5.6.2	Mobiler Internet-Zugang und das Wireless Application Protocol (WAP)	204
5.6.3	Location Services	207
6	Weitere bedeutende Mobilfunksysteme	211
6.1	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT)	212
6.1.1	Anmerkungen zur Entwicklung des DECT-Standards	212
6.1.2	Systemarchitektur	213
6.1.2.1	Anwendungsbereiche und Systemkonfigurationen	213
6.1.2.2	Adressen und Kennziffern	216
6.1.3	Funkkanäle	217
6.1.3.1	Physikalische Kanäle	217
6.1.3.2	Transportformate	218
6.1.3.3	Sicherungsschicht	220
6.1.3.4	Sprachkanäle	220
6.1.3.5	Datenkanäle	221
6.1.3.6	Kontrollkanäle	221
6.1.4	Verbindungsaufbau	222
6.1.5	Handover	225
6.1.6	Vergleich zwischen GSM und DECT	226
6.2	Bluetooth	227
6.2.1	Anmerkungen zur Entwicklung des Industriestandards Bluetooth	227
6.2.2	Netzkonfigurationen	228
6.2.3	Funkübertragung	229
6.2.4	Verbindungsaufbau und sicherheitsrelevante Netzfunktionen	232
6.3	HiperLAN/2	233
6.3.1	Anmerkungen zur Entwicklung des HiperLAN-Standards	233
6.3.2	Netzkonfigurationen und Anwendungsbeispiele	234
6.3.3	Funkkanäle	235
6.3.4	Verbindungsaufbau	238
6.3.5	Verbindungssteuerung und Verwaltung der Funkressourcen	239
6.3.6	Protokollarchitektur	241
6.4	Wireless LANs nach dem Standard IEEE 802.11	242
6.4.1	Funkkanäle	243
6.4.2	Zuteilung von Übertragungskapazitäten	244
6.5	Das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)	246
6.5.1	Anmerkungen zur Entstehung des UMTS-Standards	246

6.5.2	UMTS-Systemarchitektur	247
6.5.3	Funkkanäle	249
6.5.3.1	Frequenzbänder und physikalische Kanäle	249
6.5.3.2	Transportkanäle für den FDD-Modus	250
6.5.3.3	Kanalcodierung, Ratenanpassung und Multiplexing für den FDD-Modus	254
6.5.3.4	Zugriffssteuerung im FDD-Modus	256
6.5.3.5	Zellsuche im FDD-Modus bei asynchronen Basisstationen	256
6.5.3.6	Anmerkungen zum TDD-Modus	257
6.5.4	Wichtige Funktionen des UMTS Radio Access Networks	258
6.5.4.1	Sendeleistungsregelung - Power Control	259
6.5.4.2	Handover	260
7	Aspekte der Funknetzplanung	263
7.1	Generelle Ziele der Funknetzplanung	263
7.2	Qualitätskriterien und Planungsrichtlinien	263
7.2.1	Der Begriff der Versorgung	263
7.2.2	Wichtige Empfängerschwellewerte	264
7.3	Funkausbreitungsmodelle	266
7.3.1	Allgemeine Aspekte der Funkausbreitung	266
7.3.2	Funkausbreitung in Makrozellen	267
7.3.3	Funkausbreitung in Kleinzellen	269
7.3.4	Funkausbreitung in Mikrozellen	270
7.3.5	Versorgung innerhalb von Gebäuden - Funkausbreitung in Picozellen	273
7.4	Versorgungsplanung - Größe von Funkzellen	274
7.4.1	Wichtige Größen für die Versorgungsplanung	274
7.4.2	Beispielrechnung zur Abschätzung der Zellgröße	276
7.4.3	Einfluss der Datenrate	279
7.4.4	Beispiel für eine computergestützte Versorgungsplanung	279
7.5	Kapazitätsplanung	283
7.5.1	Grundzüge der Nachrichtenverkehrstheorie	283
7.5.1.1	Beschreibung des Teilnehmerverhaltens bei Sprachdiensten	284
7.5.1.2	Bestimmung der Blockieraten für Sprachdienste	286
7.5.1.3	Anmerkungen zur Behandlung von Datendiensten	289
7.5.2	Frequenzplanung	290
7.5.2.1	Das zellulare Prinzip	290
7.5.2.2	Das Modell des homogenen hexagonalen Netzes - Cluster-Größe	290
7.5.2.3	Sektorzellen	293
7.5.2.4	Abschätzungen des Nutz-/zu-Störleistungs-Verhältnisses	294
7.5.2.5	Beispiel für eine Kapazitätsabschätzung	296
7.5.2.6	Frequenzplanung für reale Funknetze	297
7.5.2.7	Kapazitätsplanung bei Soft Blocking	298
7.5.3	Die spektrale Kapazität und der Vergleich von Mobilfunksystemen	300
7.6	Kapazitätssteigernde Maßnahmen	305
7.6.1	Erhöhung der Dichte der Basisstationsstandorte	305
7.6.2	Hierarchische Zellstrukturen	306
7.6.3	Underlay-Overlay-Planung	308
7.6.4	Frequency Hopping, Power Control und Discontinuous Transmission	309
7.6.5	Intelligente Antennensysteme	310
	Anhänge	315
Anhang A	Übungsaufgaben	315
Anhang B	Lösungen zu den Übungsaufgaben	323
Anhang C	Pegelwerte und Dezibel	329
Anhang D	Spezifikationsdokumente	330
D.1	Einige wichtige GSM-Spezifikationsdokumente	330
D.2	Überblick über die Spezifikationsdokumente des UMTS-Standards	332

12 Inhaltsverzeichnis

D.3	Einige wichtige DECT-Spezifikationsdokumente.	332
D.4	Einige wichtige HiperLAN/2-Spezifikationsdokumente.	333
D.5	Bluetooth-Spezifikationen.	333
D.6	Der IEEE 802.11-Standard.	333
D.7	WAP-Spezifikationen.	333
Anhang E	Erlang-Tabelle.	334
Anhang F	Abkürzungsverzeichnis.	335
Literaturverzeichnis.		339
Stichwortverzeichnis.		343