Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 73 (1995)

Heft: 7

Artikel: Eine Triebkraft der modernen Kommunikation

Autor: Padgett, Jay E. / Günther, Christoph G. / Hattori, Takeshi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875949

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

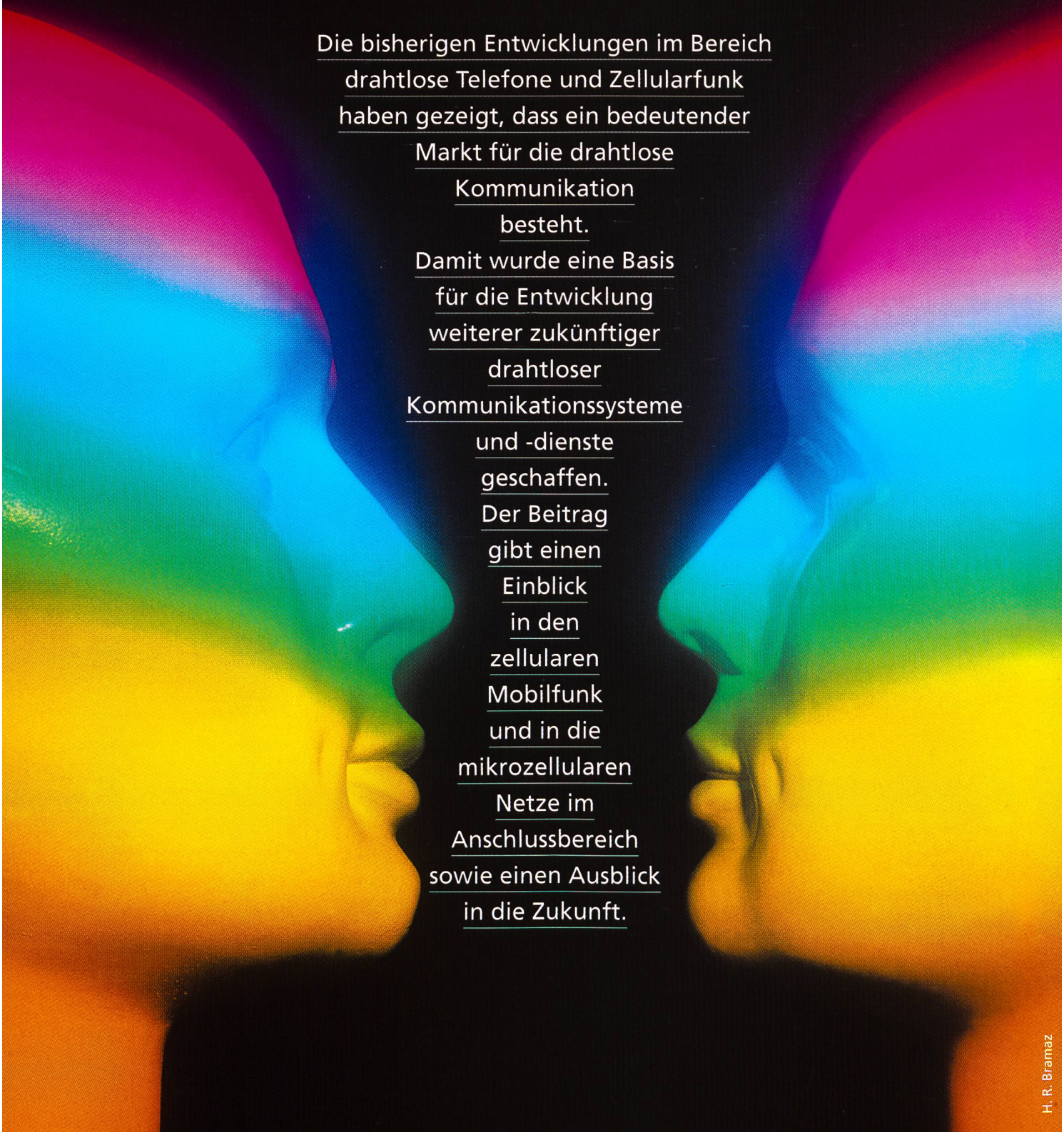
Download PDF: 30.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

WIRELESS PERSONAL COMMUNICATION

EINE TRIEBKRAFT DER MODERNEN KOMMUNIKATION

Die bisherigen Entwicklungen im Bereich drahtlose Telefone und Zellularfunk haben gezeigt, dass ein bedeutender Markt für die drahtlose Kommunikation besteht. Damit wurde eine Basis für die Entwicklung weiterer zukünftiger drahtloser Kommunikationssysteme und -dienste geschaffen. Der Beitrag gibt einen Einblick in den zellularen Mobilfunk und in die mikrozellularen Netze im Anschlussbereich sowie einen Ausblick in die Zukunft.



H. R. Bramaz

Grundsätzlich bietet das drahtlose Telefon ein Gegenstück zum gewöhnlichen Telefon. Der Handapparat arbeitet typisch in einem Distanzbereich von 50 bis 100 m von der Benutzerbasisstation. Diese ist wiederum ans öffentliche Netz angeschlossen (Public Switched Telephone Network, PSTN). Mit dem Aufkommen der drahtlosen digitalen Telefonie sind drahtlose «Systeme» mit erweiterten Funktionalitäten entwickelt worden (CT2, DECT, PHS), welche auch höhere Datenraten und anspruchsvollere Anwendungen unterstützen, wie beispielsweise private drahtlose Anschlussknoten und sogenannte Telepointsysteme für den öffentlichen Zugang.

JAY E. PADGETT, CHRISTOPH G. GÜNTHER UND TAKESHI HATTORI

Zellulare Systeme

Der Zellularfunk kann als ursprünglichste Form der drahtlosen «persönlichen Kommunikation» angesehen werden. Er erlaubt dem Benutzer, Telefonanrufe über das drahtgebundene Netz auszuführen oder zu empfangen, solange die zellulare Reichweite dies gewährleistet; «Roaming»-Möglichkeiten erweitern den Dienst sodann zu Benutzern, welche sich ausserhalb ihrer «Home»-Dienstbereiche bewegen. Die Entwicklung der Zellularsysteme wurde in den siebziger Jahren durch die Bell-Laboratorien in den USA eingeleitet, und die erste Realisation betraf den AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Bald ergaben sich weitere, dem AMPS ähnliche Systeme auf internationaler Basis. Sämtliche dieser zellularen Systeme der ersten Generation verwenden Analogfrequenzmodulation (FM) für die Sprachübertragung und Frequenzhüpfertechnik (FSK) für die Signalübertragung. Individuelle Anrufe erfolgen dabei auf verschiedenen Kanalfrequenzen. Diese Art spektraler Aufteilung ist bekannt als Frequenzmultiplex (FDMA).

Das Unterscheidungsmerkmal zwischen den zellularen und den Vorgängermobilfunksystemen ist die Verwendung einer Vielzahl von Basisstationen mit relativ kleinen Versorgungsradien (in der Grössenordnung von 10 km oder weniger gegenüber 50 bis 100 km für frühere Mobilsysteme). Jede Frequenz wird dabei mehrfach für verschiedene Basismobilpaare benutzt. Die angewandte Wiederverwendungsstrategie erlaubt eine viel höhere Benutzerdichte pro Megahertzspektrum als die Vorgängersysteme. Die Systemkapazität kann durch eine Verkleinerung der Zellen (Reichweite der Basisstationen) weiter erhöht werden bis zu einem Radius von etwa 0,5 km. Zusätzlich zu höheren Benutzerdichten ermöglicht dies die Verwendung kleiner batteriebetriebener Handgeräte mit kleineren RF-Sendeleistungen anstelle der grossen, früheren fahrzeuggebundenen Mobilgeräte. In Zellularsystemen wird eine räumlich kontinuierliche Versorgung erreicht durch einen sogenannten «Handoff» (nahtloser Übergang eines Anrufs von einer Basisstation zur anderen), falls die Mobileinheit eine Zellgrenze überschreitet. Das Mobilgerät wechselt hier unter der Steuerung des Basisnetzwerkes die Frequenz [1].

Analogzellularfunk

In den Vereinigten Staaten ist eine Bandbreite von total 50 MHz in den Bändern 824 bis 849 MHz und 869 bis 894 MHz für den mobilen Zellularfunk reserviert. In einem gegebenen geographischen Lizenzbereich kontrolliert jede von zwei maximal erlaubten Betriebsgesellschaften eine Bandbreite von 25 MHz. Die «A»- und «B»-Bänder sind jeweils sogenannten «Nonwireline»- und «Wireline»-Netz-Betreibern zugeordnet.[1] Gemäss dem AMPS-Standard ist dieses Spektrum in 832 Frequenzkanäle aufgeteilt, welche je 30 MHz breit sind. Frequenzmodulation (8 kHz Hub) wird für Sprache verwendet, die Signalisierungskanäle verwenden binäre FSK mit einer 10-kbit/s-Rate. Zur Erfüllung der Co-Kanal-Störungsanforderungen[2] wird im typischen Frequenzwiederholungsplan entweder ein 12-Gruppen-Frequenzcluster, zusammen mit einer omnidirektionalen Antenne, oder ein 7-Gruppen-Frequenzcluster mit drei Sektoren pro Zelle verwendet. Öffentliche AMPS-Zellulardienste sind seit 1983 erhältlich, und es gibt heute in den Vereinigten Staaten rund 20 Mio Teilnehmer. AMPS wird daneben auch in Kanada, Zentral- und Südamerika sowie Australien verwendet.

In Europa wurden mehrere AMPS-ähnliche Systeme der ersten Generation eingeführt, unter anderem: Total Access Communication System (TACS) in Grossbritannien, Italien, Spanien, Österreich und Irland, in vielen Ländern auch das Nordic Mobile Telephone (NMT): das C-450 in Deutschland und Portugal, Radiocom 2000 in Frankreich, das Radio Telephone Mobile Telephone (RMTS) in Italien. Diese Systeme verwenden Frequenzmodulation für die Sprache, FSK für die Signalisierung und Kanalabstände von 25 kHz (TACS, NMT-450, RMTS), 10 kHz (C-450) und 12,5 kHz (NMT-900, Radiocom 2000)[3]. Handover-Entscheide werden üblicherweise aufgrund der empfangenen Leistung an der Basisstation in der Nähe der Mobileinheit getroffen. Das C-450 ist dabei eine Ausnahme: Es verwendet die total gemessene Verzögerung einer Zweiwegverbindung zwischen der Mobileinheit und der Basisstation. Die totale Zahl der Teilnehmer bei den Analogsystemen beträgt rund 8 Mio (3,7 Mio für TACS, 2,9 Mio für NMT, 0,9 Mio für C-450 sowie kleinere Anteile für die übrigen Systeme). Einige weitere Details sind in *Tabelle 1* aufgeführt.

In Japan sind total 56 MHz für analoge Zellularsysteme reserviert (860 bis 885/915 bis 940 MHz und 843 bis 846/ 898 bis 901 MHz). Für das erste Analogzellularsystem begann der Betrieb in Tokio im Jahre 1979. Die Sendefrequenzen lagen damals bei 924 bis 885 MHz (Mobileinheiten) und 870 bis 885 MHz (Basiseinheiten), die Kanalabstände waren 25 kHz, was total 600 Kanäle ergab. Die Steuerkanalsignalisierungsrate betrug 300 bit/s. 1988 wurde ein System mit höherer Kapazität im gleichen Band eingeführt, mit einer erhöhten Signalisierungsrate von 2,4 kbit/s und einem reduzierten Kanalabstand von

[1] Ein «Wireline»-Netz-Betreiber ist ein von einem als Monopolbetrieb operierenden Lokalnetzbetreiber (Local Exchange Carrier, LEC) völlig getrennter Betreiber.

[2] Der geltende Richtwert für das Signal/Störungs-Verhältnis beträgt im Mittel unter Berücksichtigung der Mehrwegschwundeffekte 17 dB für mindestens 90 % der mit dem Dienst versorgten Fläche.

[3] NMT-900 und C-450 verwenden einen Zwischenraster. Der «Kanalabstand» ist demnach die Hälfte des nicht überlappenden Kanalabstandes (nominelle Bandbreite). Die Kanalabstände in Tabelle 1 geben die Abstände zwischen den nicht überlappenden Kanälen an. Überlappende Kanäle können auf der gleichen Basisstation nicht verwendet werden.

12,5 kHz. Die Kanalzahl wurde weiter erhöht durch eine Kanalüberlappung (Kanalfrequenzen 6,25 MHz auseinander), was eine vierfache Erhöhung der Kanalzahl auf 2400 Kanäle ergab. Zusätzlich wurde ein Steuerkanal (unter dem Sprachband) mit einer Rate von 100 bit/s eingeführt, welcher eine Signalisierung ohne Unterbruch der Sprachverbindung erlaubt. Zur Verbesserung der Übertragungsqualität und der Kanalwiederverwendung wurde eine Empfangsdiversity an Basis- und Mobilstationen eingeführt. Der Mobilterminal des Hochkapazitätssystems ist als Dual-mode-System ausgebildet und ist auch kompatibel mit dem ursprünglichen 25-kHz-System. Der Zellularbetreiber NTT DoCoMo betreibt momentan ein landesweites Netz in den Bändern 870 bis 885/925 bis 940 MHz.

Im Jahre 1987 wurde der Zellularfunk in Japan dereguliert, und es erschienen zwei neue Betreiber. Einer der beiden, IDO, übernahm im Dezember 1988 das Breitbandsystem der NTT in den Bereichen von Kanto-Tokaido in den Bändern 860 bis 863,5/ 915 bis 918,5 MHz. Als dritter Zellularbetreiber tritt jetzt die DDI Cellular Group auf, welche ihre Dienste ausserhalb der städtischen Zonen anbietet, wobei sie die Systeme JTACS und NTACS (auf der Basis des europäischen TACS-Systems) in den Bändern 860 bis 870/915 bis 925 sowie 843 bis 846/898 bis 901 MHz anbietet. Wie DDI hat IDO ebenfalls NTACS in den Bändern 843 bis 846/898 bis 901 und 863,5 bis 867/918,5 bis 922 MHz eingeführt. IDO und DDI sind eine Partnerschaft eingegangen, um ihre Dienste landesweit einzuführen. Dazu besteht ein entsprechendes Roaming zwischen den beiden Systemen. Es gibt heute ungefähr 2,6 Mio Teilnehmer des analogen Zellularfunks in Japan.

System-Bezeichnung	Sendefrequenzen Mobileinheit/ Basiseinheit (MHz)	Kanalabstand (kHz)	Anzahl der Kanäle	Region
AMPS	824-849/869-894	30	832	Nord-/Südamerika[1]
TACS	890-915/935-960[2]	25	1000	Europa
ETACS	872-905/917-950	25	1240	United Kingdom
NMT 450	453-457.5/463-467.5	25	180	Europa
NMT 900	890-915/935-960[2]	12.5[3]	1999	Europa
C-450	450-455.74/460-465.74	10[3]	573	Deutschland, Portugal
RTMS	450-455/460-465	25	200	Italien
Radiocom 2000[4]	192.5-199.5/200.5-207.5 215.5-233.5/207.5-215.5 165.2-168.4/169.8-173 414.8-418/424.8-428	12.5	560 640 256 256	Frankreich
NTT	925-940/870-885[5] 915-918.5/860-863.5[6] 922-925/867-870[6]	25/6.25[3] 6.25[3] 6.25[3]	600/2400 560 480	Japan
JTACS/NTACS	915-925/860-870[7] 898-901/843-846[6, 7] 918.5-922/863.5-867[6]	25/12.5[3] 25/12.5[3] 12.5[3]	400/800 120/240 280	Japan

Bemerkungen:
[1] AMPS wird ebenfalls in Australien verwendet, AMPS, TACS und NMT in Teilen von Afrika sowie in Südostasien.
[2] Die Bänder 890-915/935-960 MHz wurden inzwischen für GSM reserviert.
[3] Frequenz-Verschachtelung durch Verwendung von Zwischenkanälen: Der Kanalabstand entspricht der Hälfte der nominellen Kanalbandbreite.
[4] Die letztgenannten beiden Bandpaare werden zur landesweiten Versorgung verwendet, die erstgenannten für dichte Verkehrszonen wie z. B. die Region Paris und andere grössere Städte.
[5] NTT DoCoMo, landesweit.
[6] IDO, im Bereich Kanto-Tokaido.
[7] DDI, ausserhalb des Bereichs Kanto-Tokaido.

Tabelle 1. Zusammenfassung der Analogzellularsysteme.

Digitaler Zellularfunk

Die Entwicklung von digitalen Sprachcodierern mit hoher Kompression (tiefer Taktrate) sowie die kontinuierliche Zunahme der IC-Schaltungsdichte (Transistoren pro Flächeneinheit) erlaubten die Entwicklung von Systemen der zweiten Generation auf komplett digitaler Basis. Die Digitalisierung ermöglicht zudem die Verwendung neuerer Techniken wie Zeitmultiplex (Time Division Multiple Access, TDMA) oder CDMA (Code Division Multiple Access) als Alternative zur bisherigen FDMA. Mit TDMA wird die zu übertragende Information in kurzen Zeitschlitzen übertragen. Jedem Teilnehmer wird eine bestimmte Kombination von Zeitschlitz und Frequenz zugeteilt. Im Zellularfunk verwendet ein einziger Mobilteilnehmer in einer gegebenen Zelle eine bestimmte Frequenz in einem bestimmten Zeitschlitz. Mit CDMA (mit direkter Sequenzspreizung) wird im Gegensatz dazu in einer bestimmten Zelle ein Frequenzkanal gleichzeitig durch verschiedene Mobilteilnehmer verwendet; die Signale werden durch die Verschiedenheit der Codes unterschieden, mit denen sie gespreizt werden. Einer der augenfälligsten Vorteile von TDMA wie auch von CDMA ist die gleichzeitige Verwendung des Funkteils der Basisstation für verschiedene Teilnehmer. *Bild 1* illustriert die Konzepte FDMA, TDMA und CDMA.[4]

Digitale Systeme sind in der Lage, mehr Teilnehmer pro Basisstation und pro Megahertz des Spektrums zu unterstützen als analoge; somit erlauben sie einem Betreiber, Funkdienste innerhalb von Zonen hoher Dichte günstiger anzubieten. Die Verwendung von TDMA- oder CDMA-Digitalarchitekturen führt zu weiteren Vorteilen. Unter anderem sind dies:
- eine einfachere Integration in das sich entwickelnde leitergebundene digitale Netzwerk
- eine bessere Flexibilität bezüglich gemischter Kommunikation von Sprache und Daten sowie der Unterstützung neuer Dienste
- die Möglichkeit von Kapazitätserhöhungen bei einer späteren Einführung von Sprachcodern mit reduzierter Rate
- eine Reduktion der Sendeleistung (Erhöhung der Betriebszeit der Batterie im Mobilgerät)
- eine einfache Verschlüsselungsmöglichkeit
- eine reduzierte Systemkomplexität (automatische Handoffs usw.)

Momentan werden digitale Mobilfunksysteme der zweiten Generation

[4] Die drahtlosen digitalen Systeme CT2, DECT und PHS, welche in Bild 1 erwähnt sind, werden noch im Abschnitt «Drahtlose Telefone» behandelt.

entwickelt. Die entsprechenden Frequenzbelegungen werden in *Bild 2* dargestellt.

Die paneuropäischen Systeme GSM und DCS 1800

Die grosse Zahl verschiedener Analogsysteme, der steigende Bedarf und die Notwendigkeit, eine einfache Integration in das fixe digitale Netz zu ermöglichen, führten die Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) dazu, 1982 eine sogenannte «Groupe Spécial Mobile» zu gründen. Die Arbeiten der Gruppe kulminierten mit dem Entwurf des GSM- Systems (neuerdings Global System for Communications genannt). Die Anforderungen an das neue System betrafen primär eine bessere Qualität, paneuropäisches Roaming sowie die Übertragung von Daten für Fax, e-mail, Datenfiles usw. Ein von Grund auf neuer Entwurf bot auch die Gelegenheit, eine ökonomischere Lösung sowie eine höhere spektrale Effizienz anzupeilen. Schliesslich sollte das System so flexibel sein, um Verbesserungen und gezielte spätere Optionen zu ermöglichen [2].
Unter Berücksichtigung der zu erwartenden und bereits diskutierten Vorteile war der Entscheid für ein digitales Konzept offensichtlich. Ein TDMA-System wurde schliesslich gewählt mit acht Zeitschlitzen pro Funkkanal. Jeder Teilnehmer sendet dabei in jedem achten Zeitschlitz während einer Dauer von 0,57 ms und empfängt in einem entsprechenden Zeitschlitz (Bild 1). Durch dieses Konzept wird nur eine Basisstation pro acht Teilnehmer benötigt. Zusätzlich erlaubt der Versatz der Sende- und Empfangsschlitze eine Verringerung der Anforderungen an die Duplexfilter des Mobilgerätes. Die intermittierende Aktivität des Mobiltransceivers erlaubt es ausserdem, zwischen den Sende- und Empfangsbursts des Mobilempfängers die von den umliegenden Basisstationen ankommende Signalstärke zu messen. Die Messwerte werden an die effektiv benutzten Basisstationen übermittelt, woraus sich ein Entscheid betreffend Handover ergibt. Im Gegensatz zu traditionellen FDMA-Systemen wird hier keine zusätzliche Hardware zur Bestimmung der Kandidaten für die Basisstation benötigt. Die Zeitkompression der Benutzerdaten (22,8 kbit/s, mit Einschluss der Fehlerkorrektur), welche entsprechend dem gewählten TDMA-Format ungefähr einen Faktor 8 beträgt, führt zu einer entsprechenden Bandbreitenexpansion. Allerdings ergeben sich daraus wiederum Konsequenzen bezüglich des Ausbreitungsschwundes beim Empfangssignal, da mit einer Vielzahl von Echos von Bergen, Hügeln, Gebäuden und andern Objekten zu rechnen ist. In einem Schmalbandsystem werden die Teilsignale von den verschiedenen Signalpfaden nicht aufgelöst, jedoch kann dies bei einer Bandbreite von 200 kHz bis zu einem gewissen Grad der Fall sein. Beim GSM-System wird nun der Zeitversatz der Ausbreitungspfade durch eine fixe «mid-amble» (eine Trainingssequenz in der Mitte des Zeitschlitzes) geschätzt. Die Intersymbolinterferenz wird sodann, zum Bei-

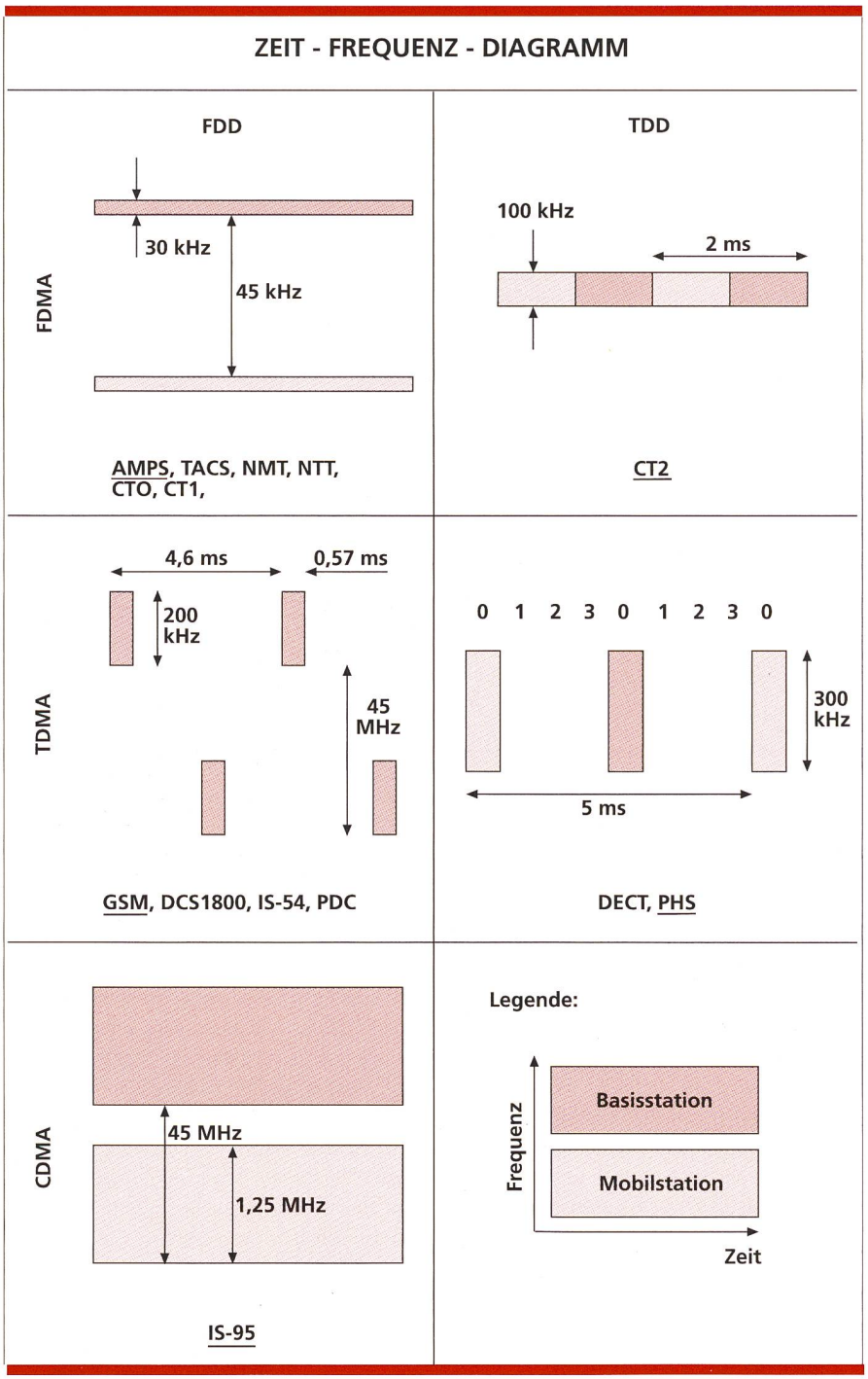


Bild 1. Zeit-Frequenz-Diagramm bezüglich der Mehrfachszugriffs- und Duplexiermethoden. Die angegebenen Zahlen entsprechen dem jeweils unterstrichenen System.

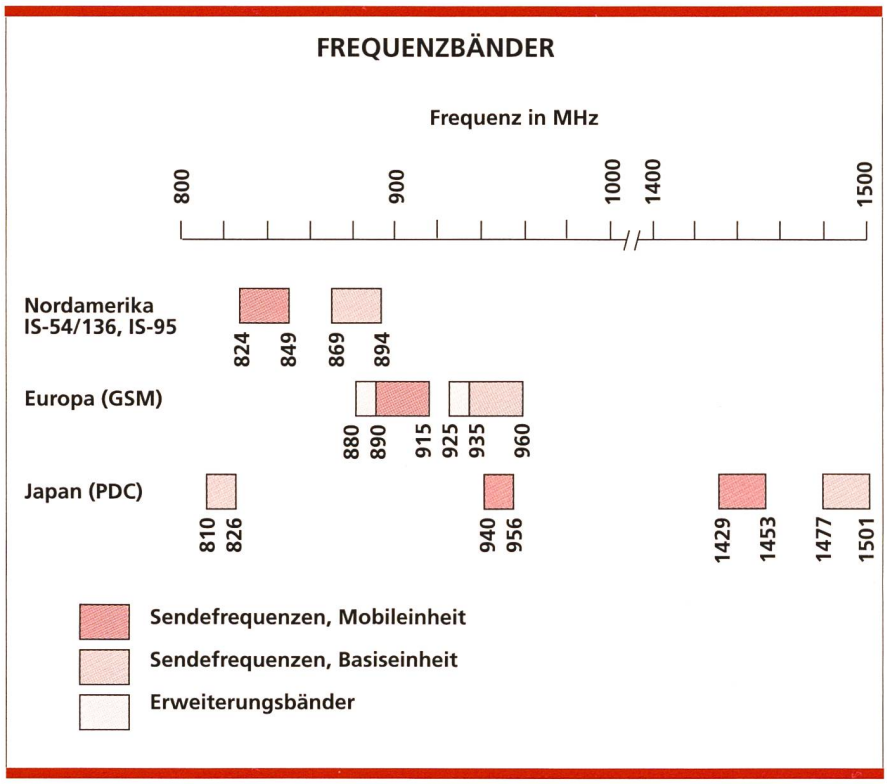


Bild 2. Frequenzbänder für den digitalen Zellularfunk.

spiel durch einen Viterbi-Equalizer, aufgelöst. Die Mehrweginterferenz wird deshalb nicht nur eliminiert, sondern als eine Form von Diversity eingesetzt, woraus sich je nach Umgebungsbedingungen eine bedeutende Verbesserung ergibt. Bei schnell bewegten Mobilgeräten können die Restfehler durch die gewählte Rate 1/2 beim gewählten Convolutional Coding und Convolutional Interleaving über die 8 Bursts (für die 1-bit-Klasse) korrigiert werden.

In städtischen Umgebungen mit Verzögerungszeiten von 1 bis 2 µs genügt die Bandbreite von 200 kHz nicht mehr zur Auflösung der auftretenden Umwege, und an langsam bewegten Mobilstationen könnten hier bereits lange Fehlersequenzen auftreten. Die Situation wird hier aber durch Frequenzhüpfen von Zeitschlitz zu Zeitschlitz, stark verbessert. Durch Anwendung verschiedener Hüpfsequenzen bei verschiedenen Basisstationen kann eine Interferenzdiversity erreicht werden. Dies ist ganz besonders attraktiv bei diskontunierlicher Übertragung (Sprachpausen werden nicht übertragen).

In seiner jetzigen Version unterstützt das GSM-System einen Betrieb mit «full-rate» (22,8 kbit/s, 8 Zeitschlitze/Rahmen) und mit «half-rate» (11,4 kbit/s, 16 Zeitschlitze/Rahmen). Sprachcoder wurden für beide Raten spezifiziert, und zukünftige verbesserte Coders mit «full-rate» für Anwendungen in Radio Local Loop (RLL) sind ebenfalls vorgesehen. Bezüglich der Datenübertragung sind diverse synchrone und asynchrone Raten von 9,6/4,8/2,4 kbit/s spezifiziert, wobei ein Betrieb mit «full-rate» oder «half-rate» möglich ist. Diese Datenschnittstellen sind ausserdem kompatibel mit Audiomodems (z. B. V.22bis oder V.32) und ISDN. Zusätzlich ist ein kontaktloser Paketdatendienst in Vorbereitung mit Schwergewicht auf ein Interworking mit X.25 und Internet (siehe auch Abschnitt über drahtlose Datendienste). Gruppe-3-Fax wird durch den Standard ebenfalls unterstützt.

Ursprünglich war vorgesehen, das GSM-System nur im Bereich von 900 MHz zu spezifizieren. Anfang 1989 startete aber das UK Department on Trade and Industry eine Initiative, welche schliesslich zur Zuteilung eines Frequenzabschnittes von 150 MHz im Bereich von 1,8 GHz für Anwendungen von Personal Communications Networks (PCN) im europäischen Raum unter gleichzeitiger prinzipieller Anwendung des GSM-Systems führte. Dieses System wird als DCS1800 (Digital Cellular System 1800) bezeichnet. Trotzdem der Standard weitgehend auf dem GSM basiert, erhielt er noch gewisse Modifikationen und Zusätze, indem neu eine Überlagerung von Mikro- und Makrozellen toleriert wird. Obwohl der Zellularfunk und PCN sicher die wichtigsten Anwendungen des Systems sind, ergeben sich momentan noch Erweiterungen, beispielsweise für Konferenzanrufe oder den «Push-to-talk»-Modus bei Private Mobile Radio (PMR).

Im Bereich des Zellularfunks hat GSM seit seinem Start im Jahre 1993 ein unerhörtes Wachstum erfahren; bis im November 1994 waren es bereits 2 Mio Teilnehmer in ganz Europa. Das System wurde bereits auch von vielen nichteuropäischen Ländern ausgewählt (total 26 europäische und 26 nichteuropäische Länder). DCS1800 wurde kürzlich durch Netzbetreiber in Grossbritannien und Deutschland in Betrieb genommen. Die Versorgung betrifft allerdings noch lokale Bereiche (Agglomerationen), jedoch wird ein ähnlicher Erfolg wie bei GSM erwartet.

Für einen Überblick bezüglich GSM siehe [3], für eine detaillierte Beschreibung siehe [4] oder den effektiven Standard [5]. Für einen Überblick über DCS1800, siehe [6]. *Bild 3* zeigt die Frequenzzuweisungen für DCS1800 zusammen mit den Zuweisungen im Bereich von 2 GHz in den USA und in Japan.

IS-54 in Nordamerika

Zur Deckung des wachsenden Bedarfs im Bereich Zellularfunk in Gegenden hoher Teilnehmerdichte schufen die Electronic Association (EIA) und die Telecommunications Industry Association (TIA) den IS-54-Standard, basierend auf TDMA [7]. Zur Vereinfachung des Übergangs von analogen auf digitale Systeme behält der IS-54-Standard den 30-kHz-Kanalabstand von AMPS[5] bei. Jeder Frequenzkanal bietet eine modulierte Bitrate von

[5] Die Kapazität in Erlang (bei gegebener statistischer Blockierung durch Überlast) wird hier effektiv verdreifacht durch eine verbesserte «Bündelungseffizienz», da mehr Kanäle gleichzeitig zur Verfügung stehen.

48,6 kbit/s, welche durch eine $\pi/4$-DQPSK[6] bei einer Kanalrate von 24,3 kBaud erreicht wird. Diese Kapazität wird aufgeteilt auf sechs Zeitschlitze, wobei zwei davon in der heutigen Version je einem Teilnehmer zugeteilt werden. Die Implementation basiert auf einer 7,95-kbit/s-vektorsummenbasierenden linearen Prädiktion (VSELP), wobei mit einem Sprachcoder und einer Fehlerkorrektur eine Rate von 13 kbit/s erreicht wird. Auf diese Art ist jedes 30-kHz-Frequenzpaar in der Lage, sechs Teilnehmerkanäle zu übernehmen, was einer Verdoppelung gleichkommt. Die IS-54-Norm enthält einen adaptiven Equalizer, der die Intersymbolinterferenz kompensiert, welche durch grosse Verzögerungsunterschiede verursacht werden kann. Durch die relativ tiefe Kanalrate von 24,3 kBaud (kleine Bandbreite) ist der Equalizer in vielen Situationen allerdings überflüssig.[7]

Der IS-54-Standard ist im Prinzip ein doppelter Standard, das heisst, er erlaubt sowohl einen analogen (AMPS) als auch einen digitalen Betrieb. Systeme innerhalb dieses Standards benutzen deshalb das gleiche Spektrum wie existierende AMPS-Systeme. Dies ist notwendig, um ein Roaming von Teilnehmern, unter Berücksichtigung der weit eingebetteten Basis der AMPS-Ausrüstungen, zu erlauben. Obwohl Netzbetreiber schon damit begonnen haben, IS-54-Ausrüstungen in den wichtigsten Agglomerationen der USA zu installieren, wird der digitale Betrieb in weniger dichten Gegenden langsamer vorwärtsschreiten. Demzufolge wird sich während langer Zeit eine Mischung von analogen und digitalen Teilnehmer- wie auch Basisstationen ergeben.

Während die ursprüngliche Version der IS-54-Norm die AMPS-Steuerkanalspezifikation (10 kbit/s, Manchestercodierte FSK) verwendete, schliesst IS-136 (früher IS-54, rev. C, genannt) einen digitalen Steuerkanal ein (DCC), der ein 48,6-kbit/s-Modem verwendet. Zusätzlich zur erhöhten Signalrate bietet der DCC Möglichkeiten wie Punkt-zu-Punkt-Kurzmeldungen («short messaging»), Rundspruchmeldungen, Gruppenadressierungen, private Benutzergruppen und hierarchische Zellstrukturen sowie Zeitschlitzrufkanäle, welche einen «Sleep»-Modus im Teilnehmergerät erlauben (zur Einsparung der Batterieleistung). Die verwandte EIA/TIA-Norm IS-41 bietet Signalprotokolle, welche das Intersystem-Handoff sowie Roaming und auch das Angebot von netzwerkbasierenden Eigenheiten und Diensten unterstützen [8]. IS-54-Systeme wurden installiert und sind bereits operationell in den zehn bedeutendsten Zellularmärkten der Vereinigten Staaten, wobei die Wachstumsrate bezüglich Kunden momentan steigt.

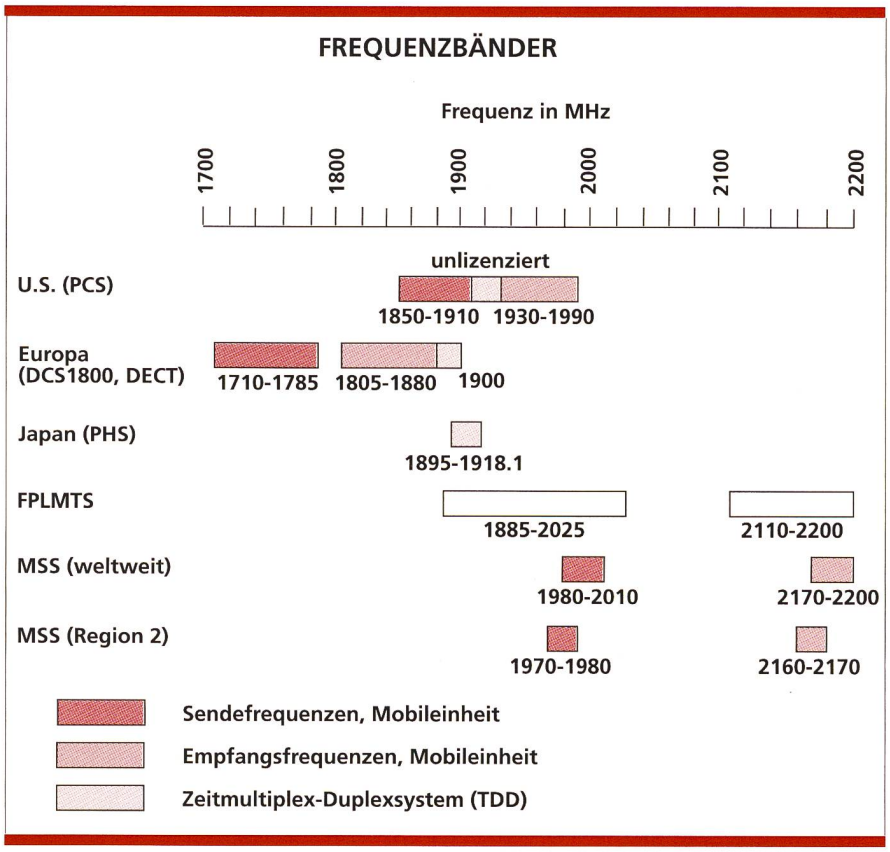


Bild 3. Frequenzbänder für Mobilfunk (u. a. MSS, Satellitenmobilfunk), drahtlose Telefonsysteme und zukünftige Anwendungen (PCS, FP LMTS usw.) im 2-GHz-Bereich.

Personal Digital Cellular (digitaler Zellularfunk) in Japan

In Japan gibt es zwei verschiedene Arten von Analogzellularsystemen, nämlich NTT und JTACS. Diese beiden haben sich aus verschiedenen Grundsituationen entwickelt. Für den Teilnehmer wurde es als vorteilhaft beurteilt, eine einzige Luftschnittstelle zu haben, um ein Roaming zwischen den verschiedenen Mobilnetzen zu ermöglichen. Eine Entwicklungsstudie für digitale Zellularsysteme mit einer gemeinsamen Luftschnittstelle wurde im Jahre 1989 initialisiert unter der Ägide des Ministeriums für Post und Telekommunikation (MPT). Das neue digitale System wurde 1991 Personal Digital Cellular (PDC) genannt.

Das PDC-System basierte ebenfalls auf TDMA mit drei Zeitschlitzen pro Träger, ähnlich wie IS-54. Der Kanalabstand ist 25 kHz mit einem sogenannten Interleaving (Überlappen), um einen Übergang von analog auf digital zu erlauben. Die Signalrate pro modulierten Kanal ist 42 kbit/s, und die Modulation ist wiederum $\pi/4$-DQPSK. Eine der bedeutendsten Eigenschaften von PDC ist das Handoff, das durch die Mobilstation ausgelöst wird und die Verwendung von kleinen Zellen und eine entsprechend hohe Frequenzausnutzung erlaubt. Der Vollratensprachcodec arbeitet bei 6,7 kbit/s (11,2 kbit/s bei Fehlerkorrektur). Momentan ist der Vollratencodec erhältlich,

[6] Differentielle Quadraturphasentastung (DQPSK) arbeitet mit einem Phasenversatz von $\pi/4$ zwischen sukzessiven Symbolen. Mit dieser Modulationsart wird die Fluktuation der Amplitudenenveloppe tief gehalten.

[7] Als Faustregel gilt, dass ein Equalizer benötigt wird, falls der Bereich der Umwegverzögerung einen Anteil von mindestens 20 % der Symboldauer erreicht (gilt für binäre oder quaternäre Modulationsarten). Die Symboldauer beträgt rund 40 ms bei IS-54. Der Verzögerungsbereich ist bei Zellularfunk normalerweise < 8 µs, ausser in speziell bergigen Gegenden.

jedoch ist ein 5,6-kbit/s-psi-CELP[8]-Halbratencodec schon standardisiert und wird bald eingeführt, was zu einer Verdoppelung der Kapazität führt.
Total sind 80 MHz für PDC reserviert; die Frequenzbänder betreffen 810 bis 826 MHz zusammen mit 940 bis 956 MHz sowie 1429 bis 1453 MHz zusammen mit 1477 bis 1501 MHz. Mit Antennenraumdiversity wird das erforderliche Verhältnis C/I reduziert, was einen Wiederverwendungsfaktor von 4 ergibt. Gruppe-3-Fax (2,4 kbit/s) und 4,8-kbit/s-Modemübertragung mit MNP, Klasse 4, werden unterstützt. Es besteht dazu ein Adapter, der die notwendige Übertragungsqualität sicherstellt. Es gibt fünf PDC-Betreiber mit heute 250 000 Teilnehmern. PDC gewinnt an Popularität durch die hohe Qualität, die hohe Sicherheit, die höhere Batterielebensdauer usw. Siehe [9] oder die Normenbeschreibung für weitere Details.

IS-95 in Nordamerika

Der EIA/TIA-IS-95-Standard basiert auf dem CDMA-Prinzip. Bei diesem System teilen viele Teilnehmer einen gemeinsamen Übertragungskanal. Es wird ursprünglich in [11] beschrieben. Die grundsätzliche Kanalrate beträgt 9,6 kbit/s, wobei diese Rate durch das Spreizverfahren auf eine Chiprate von 1,2288 Mchip/s transponiert wird, was einem Spreizfaktor von 128 entspricht. Dabei wird eine Kombination von verschiedenen Prozessen angewandt. Der Spreizprozess ist auf dem Vorwärts-link (Basisstation zum Mobilteilnehmer) nicht derselbe wie auf dem Rückwärtslink. Auf dem Vorwärtslink wird der Nutzdatenstrom codiert, durch einen Faltungscode mit der Rate $^1/_2$, überlappt und durch eine von 64 orthogonalen Spreizsequenzen (WalshFunktionen) gespreizt. Jedem Mobilterminal in einer gegebenen Funkzelle wird eine individuelle Spreizsequenz zugeordnet, was eine praktisch perfekte Trennung zwischen den Signalen gewährleistet, zumindest für die Fälle, in welchen ein einfacher Übertragungspfad besteht. Um die Störung zwischen Mobilteilnehmern, welche die gleiche Spreizsequenz in benachbarten Zellen verwenden, zu vermindern und die gewünschten Breitbandspektren zu erhalten (nicht alle Walsh-Funktionen erzeugen ein Breitbandspektrum), werden alle Signale einer gegebenen Zelle durch eine pseudozufällige Sequenz mit der Länge 2^{15} chips verwürfelt.
Die Orthogonalität zwischen verschiedenen Teilnehmern innerhalb einer Zelle wird beibehalten, da die Signale auf gleiche Art verwürfelt werden. Ein Pilotkanal (Code) wird auf dem Vorwärtslink vorgesehen als Referenz für die Kanalschätzung. Dies erlaubt eine kohärente Detektion. Der Pilotkanal wird im übrigen mit höherer Leistung ausgesendet.
Auf dem Rückwärtslink wird eine unterschiedliche Spreizstrategie verwendet, da jedes empfangene Signal an der Basisstation über einen unterschiedlichen Ausbreitungskanal ankommt. Der Nutzdatenstrom wird zunächst mit einem Faltungscode der Rate $^1/_3$ belegt. Nach der Faltung wird jeder Block von sechs codierten Symbolen auf eine von 64 orthogonalen Walsh-Funktionen abgebildet (das heisst eine orthogonale Signalisierung der Ordnung 64). Schliesslich wird der 307,2-kchip/s-Datenstrom vierfach gespreizt, was zu einer Rate von 1,2288 Mchip/s führt. Dies geschieht unter Anwendung von teilnehmer- und basis- spezifischen Codes, welche Periodenlängen von 2^{42} oder 2^{15} chips haben. Die Rate-$^1/_3$-Codierung und die Abbildung auf Walsh-Funktionen ergeben eine grössere Resistenz gegenüber Interferenz als eine konventionelle Spreizung (mit einem Repetitionscode). Diese zusätzliche Robustheit ist auf dem Rückwärtslink speziell wichtig, da die Detektion inkohärent ist und eine Interferenz innerhalb von Zellen zu berücksichtigen ist (keine Orthogonalität zwischen Teilnehmern gleicher Zellen).
Ein weiteres wichtiges Element auf dem Rückwärtslink ist die präzise Regelung der Ausgangsleistung des Mobilgerätes zur Vermeidung des «Nahefern»-Problems, welches durch die verschiedenen Situationen bezüglich Schwund, Abschattung sowie Pfaddämpfung bei verschiedenen Signalen entstehen kann. Eine Kombination zwischen «Open-loop»- und schneller «Closed-loop»-Steuerung wird verwendet, wobei die Signale der «Closed-loop»-Steuerung mit einer Rate von 800 bit/s übertragen werden. Diese Bits werden im übrigen aus dem Sprachrahmen abgezweigt. Bei der Basisstation wie auch beim Mobilteilnehmer werden RAKE-Empfänger verwendet, um Mehrwegsignalkomponenten aufzulösen und zu kombinieren, was Schwundeffekte im Empfänger signifikant vermindert. Diese Empfängerarchitektur wird ausserdem dazu verwendet, um eine Basisstationsdiversity während «Softhandoff»-Situationen zu erreichen. Die Mobilstation unterhält während des Zellübergangs mit beiden Basisstationen gleichzeitig eine Verbindung, und der Empfänger des Mobilgerätes kombiniert die beiden Signale ähnlich wie ein sogenannter «diversity combiner» bei Mehrwegausbreitung.

[8] Psi-CELP ist eine eine von der Sprache abhängige Codierung (Pitch Synchronous Innovation Code Excited Linear Prediction, Psi-CELP) und entspricht einem neu in Japan eingeführten Halbratencodec.

HINTERGRUND

Im laufenden Jahrhundert hat die Entwicklung eines öffentlichen drahtgebundenen Netzes stattgefunden, welche eine verlässliche und günstige Übertragung von Sprache und Daten niedriger Bitraten über den ganzen Globus möglich macht. Es gibt daneben auch eine Vielfalt spezifischer drahtgebundener Netze, welche speziellen Zwecken dienen, wie beispielsweise der lokalen Übertragung von Hochgeschwindigkeitsdaten. Das Ziel der drahtlosen Übertragung ist es, dem Benutzer zu jeder Zeit und ohne Einschränkung bezüglich des Ortes oder der Mobilität Zugang zu den Möglichkeiten des globalen Netzwerkes zu verschaffen.

Weltweiter Zugang zum globalen Netzwerk

Die zellulare und die drahtlose Telefonie haben beide in den letzten zehn Jahren eine weitverbreitete Benutzerakzeptanz gefunden. Diese haben den Prozess der Einführung der drahtlosen Kommunikation eingeleitet, jedoch ist damit noch keine total drahtlose Kommunikation gewährleistet. Die Verwendung zellularer Systeme ist momentan begrenzt auf Sprache und Daten niedriger Bitraten; ausserden decken sie Bereiche ab, die durch die Verteilung der Basisstationen gegeben sind.

Die CDMA-Methode des Systems IS-95 bietet eine ganze Anzahl Vorteile, wie beispielsweise eine erhöhte Kapazität, eine Vereinfachung der Planung, indem den Zellen keine Frequenzen zugewiesen werden müssen, und eine Flexibilität bezüglich der Rate des Sprachcoders (ein Sprachcoder höherer Qualität mit 13 kbit/s). Ausserdem tragen die Sprachcodierung mit variabler Rate, die Leistungsregelung, die reduzierte Schwundmarge und die FEC (Forward Error Correction) zur allgemeinen Reduktion der RF-Sendeleistung bei. Wie bereits IS-54 ist IS-95 kompatibel mit dem IS-41-Signalisierungsprotokoll und ist ein Zweifachstandard, der den existierenden nordamerikanischen Zellularbändern entspricht: IS-95-Mobilstationen können demzufolge sowohl mit dem CDMA-Modus wie auch dem AMPS-Modus betrieben werden. Die Inbetriebsetzung von IS-95-Systemen im Bereich von Los Angeles wird für dieses Jahr erwartet.
Für eine detaillierte Übersicht des Systems IS-95 siehe [11, 12], für eine Darstellung des Rückwärtslinks siehe [13].

Drahtlose Telefone

Drahtloses Telefon der ersten Generation: analog

Seit 1984 arbeiten analoge drahtlose Telefone in den Vereinigten Staaten mit zehn Frequenzpaaren innerhalb der Bänder 46,6 bis 47,0 MHz (Sender an Basisstation) und 49,6 bis 50,0 MHz (Sender an Handapparat). Vor 1984 wurden fünf der 49-MHz-Kanal-Frequenzen mit fünf Frequenzen bei 1,6 MHz gepaart. Diese Anordnung stellte sich aus Gründen des Ungleichgewichts bezüglich Qualität der beiden Verbindungen und wegen der begrenzten Anzahl Kanäle als weniger befriedigend heraus. Die erlaubte Emissionsbandbreite im 46/49-MHz-System ist 20 kHz. Die Sendeleistung (EIRP) ist sehr tief, ungefähr 20 mW (verglichen mit den 10 mW für die meisten übrigen drahtlosen Telefone). Für das Sprachsignal wird Analog-FM verwendet, und die US Federal Communications Commission (FCC) verlangt eine digitale Codierung der Signalisierungsfunktionen zur Gewährleistung der Sicherheit. Es wird geschätzt, dass heute 60 Mio drahtlose 46/49-MHz-Telefone in den Vereinigten Staaten in Gebrauch sind; das totale Verkaufsvolumen beträgt momentan 15 Mio Einheiten pro Jahr. Aus Kostengründen ist trotz der heute erhältlichen drahtlosen Telefone mit höherer Leistung im 915-MHz-ISM-Band (Industrial, Scientific, Medical Band) noch für geraume Zeit eine anhaltende Popularität von 49-MHz-Analogtelefonen zu erwarten (typischer Preis: 50 bis 100 US-$).
Aus Gründen der grossen Verbreitung der Geräte genügen die zehn Kanalpaare nicht mehr, speziell in dichtbesiedelten Gebieten. Im August 1992 hat die TIA die FCC gebeten, 15 zusätzliche Frequenzpaare bei 44 MHz (Sender, Basisstation) und bei 49 MHz (Sender, Handapparat) für drahtlose Telefone freizugeben. Im August 1993 hat die FCC eine Notice of Proposed Rule Making (NPRM) auf die Anfrage hin herausgegeben, worin gewisse Modifikationen zur bestehenden FCC-Regelung vorgeschlagen werden. Eine endgültige Regelung bezüglich neuer Frequenzen wird von der FCC noch dieses Jahr erwartet.
Die ersten drahtlosen Telefone wurden in Europa aus dem Fernen Osten oder aus den Vereinigten Staaten importiert. In den meisten europäischen Ländern waren solche Geräte illegal, wurden aber trotzdem in grossen Quantitäten unter der Bezeichnung «for export only» verkauft. In England wurde eine mit derjenigen der USA sehr ähnliche Norm eingeführt (MPT 1322), um zu den illegalen Importen eine Alternative bieten zu können [15]. Dieser Standard (manchmal als CT0 bezeichnet) erlaubte acht Kanalpaare bei 1,7 MHz (Basiseinheit) und 47,5 MHz (Handapparat), wobei pro Einheit meistens eines oder zwei Kanalpaare zugänglich waren. Ein ähnliches Vorgehen wurde in Frankreich gewählt, wo ein Bestand von rund 4,7 Mio Telefonen geschätzt wird, welche illegal in Betrieb sind. Der Verkauf von legalen und illegalen Telefonen belief sich dort 1994 auf rund 2,4 Mio bzw. 1 Mio Einheiten.
Schliesslich wurde aufgrund des offensichtlichen Bedarfs in Europa ein Standard entwickelt, der bekannt ist unter CEPT/CT1 [16]. Dieser erlaubt 40 Duplexkanäle mit einer Breite von je 25 kHz in den Bändern 914 bis 915/959 bis 960 MHz. Zusätzlich sind 80 Duplexpaare für CT1+ den Bändern 885 bis 887/930 bis 932 MHz zugeordnet, welche die GSM-Bänder nicht überlappen. Hier ist ein Dynamic Channel Assignment (DCA) vorgesehen, bei welchem eine der 40 (80) Duplexfrequenzen am Anfang jedes Anrufs gewählt wird. Mit dieser grossen Zahl von Kanälen und dem DCA ist die Blockierungswahrscheinlichkeit klein, was sogar für dichtbesiedelte Gebiete gilt. CT1 ist historisch gesehen ein Koexistenzstandard und nicht ein Interoperabilitätsstandard, was zur Folge hat, dass die Geräte zweier Hersteller im allgemeinen inkompatibel sind. Diese Situation hat auch Vorteile, indem hier die Gelegenheit besteht, einzelne Systeme mit Zusätzen wie beispielsweise Scramblers zur Sprachverschleierung oder einer drahtlosen Vermittlung zu versehen.

Drahtlose digitale Telefone im Vergleich zu digitalen Zellulartelefonen

Aus den Zusammenfassungen, welche die diversen Luftschnittstellen für drahtlose digitale Telefone betreffen, ist sichtbar, dass es zwar bedeutende Unterschiede unter den verschiedenen Typen gibt, gleichzeitig aber auch generelle Unterschiede gegenüber den digitalen Zellulartelefonen existieren. Im allgemeinen wird bei drahtlosen digitalen Telefonen eine nicht zu

HINTERGRUND

hohe Komplexität bei gleichzeitiger hoher Sprachqualität im Bereich einer quasistationären Umgebung des Teilnehmers gefordert. Umgekehrt sind die Luftschnittstellen der digitalen Zellularsysteme optimiert bezüglich der Bandbreiteneffizienz und damit auch der Frequenzwiederbelegung. Ausserdem ist eine makrozellulare Umgebung mit hohen Bewegungsgeschwindigkeiten (Betrieb in Fahrzeugen) zu berücksichtigen, was im allgemeinen eine höhere Komplexität des Terminals wie auch der Basisstation zur Folge hat. In Tabelle 3 sind die Parameter der physikalischen Schicht für drahtlose Telefone und für digitale Zellularsysteme zusammengestellt, wobei diese konzeptuellen Unterschiede noch einmal aufgezeigt werden.

Solche Zusätze wären unmöglich gewesen unter einer sehr eng spezifizierten Norm. Das totale Verkaufsvolumen für CT1/CT1+ wird bisher auf 2,2 Mio Einheiten geschätzt, und es wird eine Zunahme auf 2,5 bis 2,7 Mio Einheiten in den Jahren 1995 und 1996 geschätzt. Die Anzahl der in Gebrauch stehenden Geräte wird heute auf 5,4 Mio Einheiten geschätzt.

In Japan sind 89 Duplexkanäle bei 254 MHz (Handapparate) und 380 MHz (Basiseinheit) für drahtlose Analogtelefone reserviert; es wird FM verwendet [17]. Der Kanalabstand ist 12,5 MHz und die erlaubte Sendeleistung 10 mW. Im Gegensatz zu CT1/CT1+ sind zwei separate Steuerkanäle vorhanden, welche einen schnellen Anschluss erlauben und Batteriestrom sparen auf Kosten einer etwas reduzierten Resistenz gegenüber Interferenzen. Die typische Batterielaufzeit zwischen Ladezeiten beläuft sich im Standby-Modus auf 150 bis 190 Stunden. Die Penetration des Marktes beträgt momentan 20 Mio und das Verkaufsvolumen 3 bis 4 Mio Einheiten pro Jahr. Zusätzlich sind in Japan drahtlose Telefone mit sehr geringer Leistung (500 µV/m in einem Abstand von 3 m, entsprechend rund 50 nW ERP) erlaubt in Bändern unter 350 MHz und über 1 GHz. Die Nachfrage nach solchen Geräten ist aber sehr klein, was wohl durch die eher kleine Reichweite (nur rund 10 m) zu erklären ist.

Digitales drahtloses Telefon

Die gemeinsame Luftschnittstelle CT2

Die Mängel des analogen drahtlosen Telefons in England (UK), insbesondere die begrenzte Anzahl der Kanäle und die daraus resultierende hohe Blockierungswahrscheinlichkeit, stimulierten die Suche nach einer Alternative. Das Resultat dieser Evaluation entstand die Luftschnittstelle CT2 (Common Air Interface, CAI). Die hauptsächlichsten Eigenschaften dieser Norm betreffen das digitale Übertragungsformat und die Verwendung eines speziellen Zeitmultiplexschemas (Time Division Duplexing, TDD). Die Sprache wird dabei zuerst unter Anwendung eines 32-kbit/s-adaptiven und differentiellen PCM-Coders (ADPCM) gemäss ITU-T G.721 digitalisiert. Die zeitkomprimierten digitalen Sprach- und Steuerdaten werden mit der Rate 72 kbit/s auf einen Träger moduliert und schliesslich mit Gauss-gefilterter FSK (GFSK) mit einem 2-ms-Takt-Rahmen übertragen. In jedem Rahmen ist je ein Burst in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung enthalten (Bild 1). Dieser Duplexiermodus bietet bedeutende Vorteile: Das teure Duplexfilter bei Frequenzduplex entfällt und wird durch einen Schalter ersetzt; es kann eine Sende- oder Empfangsdiversity verwendet werden. (Ausbreitungspfad ist reziprok). Ausserdem können die Duplexkanäle praktisch ohne jede Restriktion gewählt werden. (FDM-Systeme setzen im Gegensatz dazu symmetrische Gruppen von Sende- und Empfangsfrequenzen voraus, die durch eine Lücke getrennt sind.)[9]

Die CT2-Spektrums-Zuteilung besteht aus 40 FDMA-Kanälen im Abstand von je 100 kHz im Bereich 864 bis 868 MHz. Der 100-kHz-Abstand hat eine Reduktion der Bandbreiteneffizienz gegenüber CT1 zur Folge (50 kHz pro Duplexkanal). Die maximale Sendeleistung beträgt 10 mW, und eine Zweistufenleistungsregelung hilft mit, eine Beeinträchtigung der Empfindlichkeit von Basisstationsempfängern zu vermeiden, wobei diese als Nebenprodukt aber noch zu einer Verbesserung der Frequenzausnutzung beiträgt. Die Wiedererstellungsprozedur einer Verbindung auf einem neuen Träger nach einem «Handshake»-Fehler von 3 s führt zu einer Robustheit gegen übliche Einflüsse des Funkkanals. Die Steuerbits sind speziell geschützt gegen Übertragungsfehler. CT2 unterstützt auch die Datenübertragung: bis 2,4 kbit/s über den Sprachcodec, 4,8 kbit/s mit einer erhöhten Fehlerrate und höhere Raten durch einen Zugang direkt über den 32-kbit/s-Hauptkanal. CT2 wurde zu einem Telepointstandard erweitert. Telepointnetzwerke verwenden die gegebenen Basisstationen, um drahtlose Zahlstationsdienste («pay phones») zu ermöglichen. Ankommende Anrufe werden allerdings durch diesen Grunddienst nicht unterstützt. Diese erfordern zusätzliche Funktionalitäten wie manuelle Registrierung und Suchfunktionen. Die Benutzerakzeptanz von CT2-Telepoint ist je nach Situation sehr verschieden. Kein Durchbruch wurde damit in Europa erzielt: In England (UK) hat beispielsweise der letzte Netzbetreiber diesen Dienst 1993 geschlossen. In Hongkong dagegen gibt es beim CT2-Telepointdienst 150 000 Teilnehmer. In andern Bereichen von Südostasien, beispielsweise in China, Malaysia, Singapur und Thailand, werden die Dienste momentan eingeführt. Das europäische Verkaufsvolumen für CT2-Telefone wird für 1994 auf 0,4 Mio Einheiten geschätzt; gleichzeitig wird eine Zunahme auf je 0,5 bis 0,6 Mio Einheiten für 1995 und 1996 erwartet.

Eine kanadische Erweiterung von CT2/CAI, genannt CT2+, sieht den Zusatz einiger noch fehlender Managementfunktionen vor. Zu diesem Zweck werden 5 der 40 Träger für die Signalisierung reserviert. Jeder Träger bietet zwölf gemeinsame Signalisierungskanäle (Common Signaling Channels, CSC) unter Benutzung von TDMA. Diese Kanäle unterstützen die Registrierung und Aufdatierung des Standortes sowie Suchfunktionen, wodurch der Telepointbenutzer auch Anrufe entgegennehmen kann. CT2+ ist im Band 944 bis 948 MHz angesiedelt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die CT2-Familie eine attraktive Option für drahtlose und auch für Telepointsysteme zu optimalen Kosten bietet.

Eine detaillierte Beschreibung von CT2 findet sich in [18].

DECT – Digital European Cordless Telecommunications

DECT wurde als flexibles System entwickelt, das kostengünstige Kommunikationsdienste in Picozellen mit hoher Benutzerdichte bietet, und dies auch mit gleichzeitig stationierten unkoordinierten Systemen. Der Standard ist für Anwendungen wie die drahtlose Haustelefonie, Telepoint, drahtlose Zentralen und auch RLL konzipiert. Es unterstützt Mehrträgerkanäle mit Sprache und gleichzeitigen Daten – diese können sogar während

[9] Da TDD für einige Bereiche signifikante Nachteile aufweist, wird es nicht auf breiter Basis verwendet. Um Basis-zu-Basis- und Mobil-zu-Mobil-Interferenzen zu vermeiden, benötigt TDD eine systemweite Rahmensynchronisation. Ausserdem wird die modulierte Symbolrate verdoppelt (das heisst, der Ausnutzungsgrad der RF-Eingangsstufe der Basisstation wird halbiert). Dazu ist noch eine zusätzliche «guard time» erforderlich (substantieller Verlust in grossen Zellen).

des Anrufs dazu- oder abgeschaltet werden) –, Handover, Standortregistrierung und Suchfunktionen. Bezüglich Funktionen ist DECT näher bei zellularen Systemen zu klassieren als bei einem drahtlosen Telefon. Trotzdem bleibt die Schnittstelle zum öffentlichen vermittelten Netz oder zum ISDN-Netz die gleiche wie zu einer Zentrale oder zu einem drahtgebundenen Telefon.

DECT verwendet TDMA und TDD mit zwölf Zeitschlitzen pro Träger in jeder Richtung (Bild 1). Eine DECT-Basisstation mit einem Sendeempfänger kommuniziert deshalb mit mehreren Teilnehmerapparaten gleichzeitig. Ausserdem kann es mehrere Zeitschlitze einem einzigen Teilnehmer zuordnen, um eine erhöhte Datenrate zu erreichen. Zusätzlich zu den bereits diskutierten Vorteilen von TDD kann bei DECT eine flexible Zuordnung der Zeitschlitze in die eine oder die andere Richtung vorgenommen werden, um Verkehrsunsymmetrien auszugleichen, wie sie beispielsweise beim Zugang zu Datenbasen auftreten können. Zur Befriedigung der vorläufig erwarteten Verkehrsdichte werden zehn Träger im Band 1880 bis 900 MHz reserviert. Für den Sprachbasisdienst wird dieselbe 32-kbit/s-ADPCM-Codierung benutzt wie bei CT2.

Ein Schlüsselelement von DECT betrifft seine Interferenzbegrenzungs- und -vermeidungsstrategien. Die erste der beiden betrifft die Konzentration der Interferenz auf ein kleines Zeitfrequenzelement, wenn auch zum Preis einer reduzierten Robustheit, die zweite führt zur Vermeidung von Zeitfrequenzelementen mit kritischem Interferenzpegel, was durch ein Handover zu einem andern Element der gleichen oder einer andern Basisstation geschieht. Dies stellt eine nützliche Methode bei einem unkoordinierten Betrieb von Basisstationen dar, da die Interferenz einer fremden Mobilstation, die sich einer Basisstation stark nähert, einen Pegel erreichen kann, bei welchem keine praktisch realisierbare Basisbandverarbeitung mehr imstande ist, ein Nutzsignal zu reproduzieren. In einem Zellularsystem findet unter diesen Umständen ein Handover zur näher gelegenen Basisstation statt. Bei DECT ist dies nur möglich, falls die fremde Mobilstation die notwendigen Zugangsrechte hat.

DECT ist unter Berücksichtigung einer hohen Flexibilität bei möglichst tiefen Kosten konzipiert. Daneben wird grundsätzlich ein Betrieb in einer unkoordinierten Umgebung (z. B. mehrere unabhängige Systeme) vorausgesetzt. Dies heisst unter anderem, dass ein Betrieb ohne synchronisierte Basisstationen ausdrücklich vorgesehen ist. Mehrere Mechanismen, einschliesslich Felder für Synchronisation und Parität, erlauben die Detektion von schleifenden Kollisionen und die Initialisierung von Korrekturoperationen wie beispielsweise ein Handover. Die Information über Zugangsrechte, Möglichkeiten der Basisstationen, Suchmeldungen usw. wird dem Steuerkanal jeder aktiven Übertragung aufmultiplexiert, um die Kapazität der Basisstation möglichst zu optimieren und um eine Robustheit zu erreichen. Ein Ersatzträger wird im übrigen bei einer Absenz von Anrufen verwendet.

Liste der Bezeichnungen und Abkürzungen für drahtlose Systeme

ADPCM	Adaptive differential pulse code modulation
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
CDMA	Code division multiple access
CDPD	Cellular Digital Packet Data (U.S.)
CEPT	Conférence Européenne des Postes et Télécommunications
CRC	Cyclic redundancy check
CT	Cordless Telephone (interim ETSI standards, e.g., CT1)
DCA	Dynamic channel assignment
DCS1800	Digital Cellular System 1800 (Europe)
DECT	Digital European Cordless Telecommunications
DLC	Data link control (layer)
DQPSK	Differential quaternary phase shift keying
EIA	Electronic Industries Association (U.S.)
ERP	Effective radiated power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission (U.S.)
FDD	Frequency division duplexing
FDMA	Frequency division multiple access
FEC	Forward error correction (channel coding; e.g., convolutional coding)
FM	Frequency modulation
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunication Systems
FSK	Frequency shift keying
GFSK	Gaussian filtered FSK
GMSK	Gaussian minimum shift keying
GPRS	General Packet Radio Service (GSM connectionless packet service, ETSI, Europe)
GSM	Groupe Spécial Mobile (originally) currently Global System for Mobile Communication (ETSI, Europe)
HIPERLAN	High Performance Radio Local Area Network (ETSI, Europe)
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
IR	Infrared
IS-41	Interim Standard 41 (TIA/EIA cellular network signaling standard, U.S.)
IS-54	Interim Standard 54 (TIA/EIA TDMA cellular standard, U.S.)
IS-95	Interim Standard 95 (TIA/EIA CDMA cellular standard, U.S.)
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial, Scientific, and Medical (bands, devices)
ITU-R	International Telecommunication Union-radio communication sector
LEOS	Low earth orbit satellite
MAC	Medium access control (layer)
MNP	Microcom Networking Protocol
MPT	Ministry of Posts and Telecommunications (Japan)
MSS	Mobile satellite services (or systems)
NMT	Nordic Mobile Telephone (Europe)
PACS	Personal Access Communications Services
PBX	Private branch exchange
PCN	Personal Communications Network (Europe)
PCS	Personal Communications Services (U.S.)
PDC	Personal Digital Cellular (Japan)
PHS	Personal Handyphone System (Japan, formerly PHP)
PMR	Private mobile radio
PRMA	Packet Reservation Multiple Access
PSTN	Public Switched Telephone Network
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
RACE	R & D in Advanced Communications Technologies in Europe
RCR	Research & development Center for Radio systems (Japan)
RF	Radio frequency
RLL	Radio local loop
RTMS	Radio Telephone Mobile System (Italy)
RX	Receive or reception
SMR	Specialized mobile radio
TACS	Total Access Communication System (Europe)
TDD	Time division duplexing
TDMA	Time division multiple access
TETRA	Trans European Trunked Radio System
TIA	Telecommunications Industry Association (U.S.)
TTC	Telecommunication Technical Committee (Japan)
TX	Transmit or transmission
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VSELP	Vector sum excited linear prediction (speech coding)
WACS	Wireless Access Communications Systems
WARC	World Administrative Radio Conference

Das Problem der an und für sich ungenügenden Frequenzumschaltgeschwindigkeit im Synthesizer der Basisstation wird umgangen, indem eine Liste von «blinden» Elementen («slots») vorgesehen wird. Aus Gründen der hohen Signalrate (1152 kbit/s) und der sich daraus ergebenden grossen Signalbandbreite muss bei dessen Anwendung in überdurchschnittlich dispersiven Mikrozellen (z. B. Telepoint oder RLL) entweder ein Equalizer oder eine Antennendiversity angewandt werden. Dieser Aspekt wird momentan weiter studiert, unter anderem in Feldversuchen. Schliesslich trägt eine Mehrrahmenstruktur, welche einen «sleep mode» im Handapparat erlaubt, zur Batterieleistungsersparnis bei.

Um eine optimale Flexibilität und Anwendbarkeit zu gewährleisten, wird bei DECT das Open-Systems-Interconnect-(OSI-)Referenzmodell eingehalten. Trotzdem werden diverse Auswegrouten zu möglichen Zusätzen und auch Alternativen offengehalten. Dies betrifft vor allem die Möglichkeit von Alternative Medium Access (MAC), Data Link Control (DLC) sowie Schichtenprotokollen. Diese Möglichkeiten sind Schlüsselelemente für eine zukünftige Evolution. In Europa sind die ersten DECT-Systeme geliefert worden, vorläufig speziell für den Büro- und Privatbereich. Für 1994 wird das gelieferte Volumen auf 0,1 Mio Einheiten geschätzt. DECT und seine möglichen Varianten sind aber eine potentielle Basis für Picozellensysteme der nächsten Zukunft.

DECT ist ein flexibler Standard für einen grossen Bereich von Diensten in kleinen Zellen. Eine Übersicht über den grundsätzlichen Aufbau wird in [19] gegeben. Detaillierte Spezifikationen sind in [20] enthalten.

Das persönliche drahtlose Telefon PHS in Japan

Eine Studie für ein tragbares Telefon der nächsten Generation wurde 1989 in Japan initialisiert unter der Leitung von MPT. Auf der Basis der Resultate dieser Studie wurde unter Berücksichtigung eines bestehenden allgemeinen digitalen Netzwerks ein Konzept für ein Personal Handyphone System (PHS) geschaffen. Das Ziel ist, ein PHS nicht nur für Heim- und Geschäftsanwendungen zu schaffen, sondern auch als Zugang zum öffentlichen Netz (Public Network) [21]. Das Protokoll für die Luftschnittstelle des PHS soll durch das Research & Development Center for Radio Systems (RCR), die Netzwerkschnittstelle durch das Telecommunications Technical Committee (TTC) definiert werden [22]. Wie DECT verwendet der PHS-Standard TDMA und TDD, aber jeder Frequenzkanal verwendet vier Duplexträgerkanäle anstelle der zwölf. Die RF-Kanalrate von 384 kbit/s wurde gewählt als bester Kompromiss zwischen der maximalen Multiplexierrate und möglichen frequenzselektiven Schwundeffekten bei Mehrwegausbreitung, speziell bei Aussenanwendungen (Delays im Bereich von 250 ns).

Die Frequenzzuteilung von PHS besteht aus 77 Kanälen mit je einer Breite von 300 kHz im Band 1895 bis 1918,1 MHz. Das Band 1906,1 bis 1918,1 MHz (40 Frequenzen) steht für öffentliche Dienste («public systems») zur Verfügung, das Band 1895 bis 1906,1 MHz (37 Frequenzen) für Heim- und Geschäftsanwendungen. Ein Kanal wird selbständig gewählt, und zwar aufgrund der Messung der Kanalfeldstärken, wodurch die Wahl auf denjenigen fällt, bei welchem das Messresultat unter einem vorgegebenen Störpegel liegt. Damit wird eine völlig dynamische Kanalzuweisung verwendet. Die Modulation ist $\pi/4$-DQPSK, und die durchschnittliche Sendeleistung pro Richtung beträgt 10 mW (80 mW Spitzenleistung) für den Handapparat und nicht weinger als 500 mW (4 W Spitze) für die Basisstation der Zelle. Die Dauer eines Datenrahmens ist 5 ms. Wie DECT und CT2 verwendet PHS 32-kbit/s-ADPCM-Sprachcodierung und Fehlercodierung in der Form eines Cyclic Redundancy Check (CRC), jedoch besteht keine Fehlerkorrektur. Im Gegensatz zu DECT sieht PHS jedoch eigenständige Steuerkanäle vor. Die typischen Sprech- und Standbyzeiten betragen 5 Stunden bzw. 150 Stunden. auch PHS unterstützt Handoffs (als Option). Es ist jedoch bezüglich Bewegung auf Marschgeschwindigkeit begrenzt. Auf der Basis der Kanalreziprozität, welche dem TDD eigen ist, und der möglichen Mobilität besteht eine Sendediversity auf dem Vorwärtslink. Eine Empfangsdiversity kann an der Basisstation auf dem Rückwärtslink ausgenutzt werden. Zusätzlich verbessert eine Abschaltfunktion auf dem Audiosprachkanal die Sprachqualität in schwundbehafteten Kanälen. Bezüglich der Übertragungsqualität unterstützt PHS momentan Gruppe-3-Fax auf 4,2 bis 7,8 kbit/s und Vollduplex-Modemübertragung bei 2,4 bis 9,6 kbit/s durch den Sprachcodec. Ein neuer Standard wird noch erstellt bezüglich 32- oder 64-kbit/s-Daten mit direktem Zugang zu einem oder zwei Trägerkanälen.

Eine Version von PHS für Heim- und Geschäftsanwendungen ist in Japan bereits eingeführt worden, die öffentliche Version wird dieses Jahr kommen. Bezüglich Dienste ist Japan in elf Regionen aufgeteilt, wobei maximal drei Betreiber pro Region für öffentliche Dienste und die entsprechenden 12 MHz des zur Verfügung stehenden Spektrums lizenziert werden. Die potentielle Teilnehmerbasis für PHS wird auf 5,5 Mio Einheiten im Jahre 1998 geschätzt und auf 39 Mio im Jahre 2010. Es wird erwartet, dass PHS-Versionen im Hinblick auf kostengünstige Realisationen im Bereich des RLL bald eingeführt werden [23].

Persönliche drahtlose Telefonsysteme WACS und PACS von Bellcore in den Vereinigten Staaten

In den Vereinigten Staaten hat Bell Communications Research (Bellcore) eine Schnittstelle für drahtlose Anschlusskommunikationssysteme (Wireless Access Communications Systems, WACS) entwickelt [24]. Diese Schnittstelle hat den Zweck, einen drahtlosen Zugang zum lokalen Knoten (Local Exchange Carrier, LEC) zu schaffen. Sie ist speziell auf portable Geräte mit kleiner Rate und auf Anwendungen in Kleinzellen zugeschnitten. Unter den Basisstationen stellt man sich Geräte in Schuhschachtelgrösse vor, welche im Abstand von rund 600 m an Telefonstangen montiert werden können. Die WACS-Luftschnittstelle ist ähnlich konzipiert wie die Schnittstellen von drahtlosen digitalen Telefonen, mit zwei hauptsächlichen Unterschieden: Frequency Division Duplexing (FDD) wird anstelle von TDD verwendet, und spezielle Vorkehrungen wurden bezüglich der Optimierung des Link Budget und einer möglichen Wiederverwendung von Frequenzen getroffen.

Im Erstentwurf bestanden auf jedem Träger zehn Zeitschlitze. Die Sprachcodierung betrug 32 kbit/s, mit einer Superrahmenstruktur, um auch

	CT2	CT2+	DECT	PHS	PACS
Region	Europa	Kanada	Europa	Japan	Vereinigte Staaten
Duplexierung	TDD		TDD	TDD	FDD
Frequenzband (MHz)	864-868	944-948	1880-1900	1895-1918	1850-1910/1930-1990*
Kanalabstand (kHz)	100		1728	300	300/300
Anzahl Kanäle	40		10	77	16 Paare/10 MHz
Basiskanäle/Kanal	1		12	4	8/Paar
Kanalbitrate	72		1152	384	384
Modulationsart	GFSK		GFSK	π/4 DQPSK	π/4 QPSK
Sprachcodierung	32 kb/s		32 kb/s	32 kb/s	32 kb/s
Durchschnittliche Sendeleistung am Teilnehmerapparat (mW)	5		10	10	25
Max. Sendeleistung am Teilnehmerapparat (mW)	10		250	80	200
Zeitliche Dauer pro Datenrahmen (msec)	2		10	5	2.5

* Frequenzband ist allgemein reserviert für PCS, Lizenzen für PACS sind dabei zulässig.

Tabelle 2. Zusammenfassung der Schnittstellen für digitale drahtlose Telefonsysteme.

Sprachcoders mit tieferer Rate zu erlauben. Der Datenrahmen betrug 2 ms, um die Zeitverzögerung der Sprache möglichst tief zu halten. Die gewählte Modulation war QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) mit kohärenter Detektion, welche eine substantiell bessere Qualität bietet als die diskriminatorbasierten Systeme der meisten digitalen drahtlosen Systeme. Zweifachpolarisationsdiversity beim Handapparat wie auch an der Basisstation mit Rückkopplung ergibt eine Verbesserung, welche derjenigen einer Vierfachempfangsdiversity nahekommt. Wie bei den drahtlosen digitalen Schnittstellen enthält das WACS-Konzept eine Fehlerdetektion, aber keine FEC oder adaptive Equalizer. Mögliche für WACS vorgesehene Anwendungen sind: RLL, portabler Zugang zum öffentlichen Netz und drahtloser Zentralenanschluss.

Als Teil des Normierungsprozesses in den Vereinigten Staaten und des kürzlich reservierten Spektrumabschnittes im Bereich von 2 GHz für Personal Communications Services (PCS), welche im weiteren noch diskutiert werden, wurden Eigenschaften von WACS und PHS kombiniert, um einen Vorschlag für einen Industriestandard für Personal Access Communications Services (PACS) aufzustellen. PACS wird als «Low-tier»-(Mikrozellen-)Luftschnittstelle innerhalb des lizenzierten Teils des 2-GHz-Spektrums vorgesehen. PACS behält viele Eigenschaften des ursprünglichen WACS-Entwurfs. Die hauptsächlichsten Änderungen betreffen eine Reduktion der Zeitschlitze von 10 auf 8, eine entsprechende Reduktion der Kanalbitrate und der Bandbreite sowie eine gewisse Vergrösserung der Dauer eines Rahmens. Die Modulation wurde geändert auf $^{\pi}/_{4}$-QPSK, und kohärente Detektion wird vorgesehen. *Tabelle 2* zeigt die Hauptelemente der «physical layer» für CT2/CT2+, DECT, PHS und PACS.

Drahtlose digitale Telefone in den ISM-Bändern in Nordamerika

Es gibt eine Anzahl von Frequenzbändern, die für Anwendungen in Industrial, Scientific and Medical (ISM) vorgesehen sind. Solche Geräte, wie beispielsweise Mikrowellenöfen, RF-Schweissapparate oder Sperrholzerwärmungsapparate, verwenden normalerweise RF-Energie für Heizzwecke und nicht für die Kommunikation. In den Vereinigten Staaten und in Kanada liegen diese Bänder beispielsweise in den Bereichen 902 bis 928 MHz, 2400 bis 2483,5 MHz und 5725 bis 5850 MHz. Unlizenzierte Geräte, wie beispielsweise drahtlose Telefone, die entweder auf dem Frequenzhüpferprinzip oder auf einer Spreiztechnik[10] mit einer Direktsequenz basieren, dürfen in diesen ISM-Bändern mit bis zu 1 W Sendeleistung betrieben werden. Bei Geräten, welche nicht die beiden erwähnten Modulationsmethoden verwenden, wird die Sendefeldstärke auf einen Wert von 50 mV/m in einem Abstand von 3 m begrenzt, was rund 0,5 mW ERP entspricht.

Es gibt momentan im Bereich 902 bis 928 MHz drahtlose digitale Telefone auf der Basis der Frequenzhüpfer- oder auch der Spreiztechnik. Es gibt keine detaillierten Normen für drahtlose Telefone im ISM-Band. Die Hersteller haben somit eine beträchtliche Freiheit, insbesondere bezüglich Innovation und Anwendung fortgeschrittener Technologie, ohne sich um Kanalpläne oder um existierende Technologie kümmern zu müssen. Trotzdem muss damit gerechnet werden, dass bezüglich möglicher Interferenzen völlig unregulierte Verhältnisse herrschen, wobei die Konsequenzen heute noch schwer vorhersehbar sind. Bei dieser Situation werden spezielle Anforderungen an die Geräte gestellt: Die Verbindung sollte genügend robust und flexibel sein, um bei solch unvorhersehbarer Interferenz bestehen zu können.

Drahtlose Daten

Drahtlose Datensysteme eignen sich mehr für paketvermittelten («packet-switched»), das heisst «asynchronen», und nicht für fest geschalteten, «isochronen» Betrieb. Die Betreiber von breitgefächerten Mitteilungsdiensten verwenden ein lizenziertes Spektrum und verkaufen ihren Dienst an Kunden. Im Gegensatz dazu bestehen drahtlose Lokalnetze auf privater Basis; sie bieten eine Datenkommunikation mit hoher Rate in einem relativ kleinen Bereich. Mit Ausnahme des Altair-Systems sind drahtlose LANs unlizenziert und arbeiten typisch in den ISM-Bändern (und ausserdem im Infrarotband, im optischen Gebiet). Eine kurze Zusammenfassung bezüglich der drahtlosen Datensysteme soll hier aufgelistet werden. Siehe [25] für eine detaillierte Diskussion und eine ausgedehnte Referenzenliste.

[10] Frequenzhüpfersysteme müssen pseudozufällige Hüpfmuster verwenden mit mindestens 50 Frequenzen im 902- bis 928-MHz-Band sowie mindestens 75 Frequenzen in andern Bändern. Direktsequenzsysteme müssen einen Processing Gain von mindestens 10 dB und eine 6-dB-Bandbreite von mindestens 500 kHz aufweisen.

Breitgefächerte Datenkommunikationsdienste

Der Advanced Radio Data Information Service (ARDIS) und RAM Mobile Data (RMD) bieten einen drahtlosen Paketdatenmitteilungsdienst über ihre spezialisierten Netzwerke mit Hilfe des Specialized Mobile Radio (SMR) in Frequenzbändern im Bereich von 800 bis 900 MHz an. Beide sind der urbanen Geschäftswelt in den Vereinigten Staaten zu 90% zugänglich und liefern ihren Dienst an total rund 52 000 Teilnehmer. ARDIS ist in über 400 städtischen Gebieten erhältlich. Die Datenrate ist 4,8 kbit/s, schnellere Raten sind bis auf 19,2 kbit/s in einigen Gegenden erhältlich. RMD bietet seinen Dienst über das Mobitex-Netzwerk an und deckt 216 städtische Gebiete ab, wobei 10 bis 30 Duplexkanäle pro Stadtgebiet erhältlich sind. Die Datenrate ist hier 8 kbit/s. Die Mobitex-Architektur basiert auf einer Entwicklung des schwedischen Betreibers Telia. Um die Entwicklung von Ausrüstungen auf breiter Basis zu fördern, stellt Mobitex die Hardware- und Softwarespezifikationen kostenlos und ohne Lizenzgebühren zur Verfügung. Die Spezifikationen werden durch die Mobitex Operators' Association (MOA) publiziert. Als Resultat dieses Vorgehens existiert nun eine Anzahl Lieferanten für Teilnehmergeräte. Mobitex-Netzwerke werden ausserdem in 10 Ländern ausserhalb der USA betrieben.

Das Cellular Digital Packet Data (CDPD) erfordert kein spezielles Netzwerk, sondern es benutzt das existierende analoge Zellularnetz. CDPD benutzt die Zeiten, in welchen das analoge AMPS-System leer läuft, um Paketdaten bei einer Rate von 19,2 kbit/s zu übertragen. Es funktioniert demnach als transparentes «Overlay»-System auf AMPS.

Der General-Packet-Radio-Service-(GPRS-)Standard wird momentan entwickelt und wird einen Paketdatendienst über die GSM-Infrastruktur erlauben. Dabei werden noch zwei Alternativen evaluiert:

- Die Zuordnung spezifischer GSM-Kanäle für die Paketdatenübertragung; diese werden in diesem Fall gleichzeitig von den momentan aktiven Paketteilnehmern genutzt.
- Ein direkter Zugang zu einem beliebigen GSM-Kanal, der genutzt werden soll. Ein «High-grade»-Paketdienst soll maximale eine Fehlerquote von 10^{-4} sowie eine Verzögerung von < 1 s bieten. Dazu wird speziell ein Interworking mit dem öffentlichen vermittelten Paketübertragungsdienst und dem Internet angestrebt.

Es gibt ausserdem drahtlose Datendienste in den Vereinigten Staaten, welche auf der Basis von unlizenzierten Funkverbindungen im ISM-Band arbeiten. Das kürzlich angekündigte drahtlose Ricochet™ -Paketdatennetzwerk verwendet eine Mikrozellenarchitektur mit kleinen, kostengünstigen und einfach installierten Basisstationen, die auf Beleuchtungs- oder Freileitungsstangen oder auch an Gebäuden befestigt werden. Der Kunde ist in der Lage, sich mit einem drahtlosen Modem einen Zugang zum System zu verschaffen, welches am seriellen Ausgang eines Laptop- oder Notebook-PCs anschliessbar ist.

Drahtlose Netze im Bereich des Anschlussnetzes (LANs)

Drahtlose LANs benutzen im allgemeinen Datenraten von > 1 Mbit/s, wobei Netze dieser Art üblicherweise innerhalb von Gebäuden von Interesse sind. Ausserdem bieten sie vor allem Vorteile, falls eine drahtgebundene Lösung schwierig oder impraktikabel oder ein gewisser Grad an Mobilität erforderlich ist. Es gibt momentan eine ganze Anzahl erhältlicher Produkte, welche auf einer unlizenzierten Basis im ISM-Band arbeiten, beispielsweise Freeport™ oder WaveLAN®. Das Produkt Freeport bietet einen drahtlosen Zugang zum Ethernet® (IEEE 802.3) und arbeitet in den ISM-Bändern 2400 bis 2483,5 und 5725 bis 5850 MHz («hub transmit») unter Anwendung einer Direktsequenzspreizung. Das WaveLAN [26] bietet eine «Peer-topeer»-Kommunikation in den Vereinigten Staaten im 902- bis 928-MHz-Band und in den meisten andern Ländern im 2,4- bis 2,48-GHz-Band. Das Produkt ist in 39 Ländern ausserhalb der USA erhältlich. WaveLAN verwendet Direktsequenzspreizung mit einem CSMA/CA-Protokoll (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). Altair verwendet das Ethernet-Protokoll und arbeitet im 18-GHz-Mikrowellenband des terrestrischen Richtfunks, wodurch eine lokalitätsabhängige FCC-Lizenz erforderlich ist.

Standards für drahtlose LANs werden in den Vereinigten Staaten unter der Norm IEEE 802.11 und in Europa im Komitee ETSI RES-10 (bekannt als HIPERLAN, High Performance Radio LAN) entwickelt. Bei ihnen gibt es eine Anzahl von Ähnlichkeiten. Beide Normen sind für Raten über 1 Mbit/s bestimmt und werden sowohl Architekturen mit Infrastrukturen als auch Ad-hoc-Architekturen unterstützen, in welchen die Teilnehmerstationen (Terminals) direkt, ohne Zwischenwirkung einer fixen Basisstation, miteinander kommunizieren («peer-to-peer»). Punkt-zu-Punkt-, Punkt-Multipunkt- und Rundfunkdienste werden erhältlich sein. Während die asynchrone Paketübertragung den hauptsächlichen Kommunikationsmodus darstellen wird, werden auch Distributed Time-Bounded Services (DTBS) unterstützt werden. Da viele Teilnehmerstationen batteriegespeist sein werden, wird der Standard einen entsprechenden «sleep mode» zur Leistungsersparnis vorsehen.

Es gibt aber auch einige markante Unterschiede zwischen dem IEEE 802.11 und dem HIPERLAN. Bei IEEE 802.11 wird beabsichtigt, einen einheitlichen Standard für die MAC-Schicht[11] zu entwickeln. Mehrere physikalische Schichten sollen kompatibel sein mit einer MAC-Schicht. Die Arbeiten auf der physikalischen Schicht gehen sowohl in Richtung einer direkten Sequenz als auch in die einer Frequenzhüpfertechnik. Für die Anwendung ist das 2,4-GHz-ISM-Band vorgesehen. Weitere Normen für die physikalische Schicht, beispielsweise eine für das unlizenzierte 1,9-GHz-PCS- Band (im weiteren noch diskutiert), können ebenfalls erwartet werden. Zusätzlich ist eine Norm für eine mit Infrarot (IR) realisierte physikalische Schicht in Entwicklung.

HIPERLAN konzentriert sich auf höhere Datenraten als IEEE 802.11. Konsequenterweise wurde zu diesem Zweck ein entsprechend breiter

[11] Die MAC-Schicht verwaltet den Zugang zum Funkkanal (oder zu mehreren Funkkanälen). Auf der Basis des OSI-Referenzmodells entspricht MAC dem unteren Teil der Datenverbindungsschicht direkt über der physikalischen Schicht. Der obere Teil der Datenverbindungsschicht ist die logische Steuerschicht (Logical Link Control, LLC).

Bandabschnitt von 150 MHz (5150 bis 5300 MHz) reserviert sowie ein zusätzlicher von 200 MHz im 17-GHz-Band. Im weiteren plant man für den HIPERLAN-Standard Durchschalteeigenschaften zur Erstellung von Ad-hoc-Netzwerken ohne zusätzliche Infrastruktur, welche die Reichweite der Teilnehmerstationen erweitern. Die Knoten werden dabei aufgeteilt in solche mit Durchschaltemöglichkeiten und solche ohne. LANs mit selbstadaptierenden Eigenschaften können dadurch realisiert werden. Bei HIPERLAN wird im übrigen mehr Gewicht auf DTBS gelegt.

In Japan wurden bereits zwei drahtlose LAN-Typen standardisiert. Der eine ist bestimmt für mittlere Raten im Bereich von 256 kbit/s bis 2 Mbit/s auf der Basis einer Spreiztechnik im 2,4-GHz-ISM-Band. Der andere ist für hohe Raten bestimmt (> 10 Mbit/s) unter Anwendung von Quadratur-AmplitudenModulationsarten (QAM), QPSK oder vierstufiger FSK im 18-GHz-Band.

Laufende Arbeiten und die Zukunft

Die Zukunft der drahtlosen persönlichen Kommunikation steht für viele mögliche Anwendungen offen. Die kontinuierliche Verbesserung der Technologie im Gebiet der Mikroelektronik sowie der Funktechnologie, zusammen mit den Fortschritten im Bereich der Signalisierung und Steuerung in Netzwerken, wird Funktionalitäten zunehmender Komplexität ermöglichen. Dementsprechend wird der Bereich der möglichen Dienste erweitert. Ein wichtiger Teil der Planung zukünftiger drahtloser Systeme ist es, den Bereich der Dienste abzugrenzen, welchen sie erfüllen sollen. Dies war beispielsweise die Hauptaufgabe der TG8/1 der International Telecommunication Union-Radiocommunications Sector (ITU-R), der früheren ITU-CCIR, welche die Future Public Land Mobile Telecommunication Systems (FPLMTS) definiert. Ein Spektrumsabschnitt wurde für FPLMTS bereits anlässlich der World Administrative Radio Conference (WARC '92) reserviert, wie in *Bild 4* gezeigt wird.

Für weitere Details bezüglich der Beschlüsse von WARC '92 siehe [27].

Universal Mobile Telephone Systems (UMTS) in Europa

In Europa besteht das langfristige Ziel eines Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), welches die Welten des Zellularfunks, des drahtlosen Telefons, des drahtlosen Anschlussnetzes (RLL), der Schmalband-LANs und des privaten Mobilradiodienstes (PMR) und der Suchdienste vereinigen soll. Die Vision besteht, überall dieselben Dienste anzubieten, mit der einzigen Randbedingung, dass die Datenrate vom Ort, von der Umgebung sowie der Belastung des Systems abhängen soll. Das Ziel ist ein Multibetreibersystem mit gemischten Architekturen sowie einer Kompatibilität mit Multimediadiensten. Die Anforderungen sind offensichtlich nicht einfach zu erfüllen; es ergeben sich daraus Konsequenzen bezüglich der Schnittstellen wie auch der Protokollstruktur.

Die Evolution der Systeme GSM und DCS1800 zielt bereits aktiv in Richtung eines UMTS. In einigen Aspekten ist man dem gesetzten Ziel bereits relativ nahe gekommen. Drahtlose Anschlussnetzdienste zu Privat- und Geschäftshäusern wie auch Vermittlungsfunktionen öffentlicher Zentralen könnten bereits drahtlose Dienste übernehmen, falls diese zu einem konkurrenzfähigen Preis angeboten würden. Eines der hauptsächlichsten ungelösten Probleme sind die Dienste auf höheren Datenraten. Bei einer optimistischen Einschätzung könnten eine alternative Modulationsart und die Anwendung einer asymmetrischen Zeitschlitzzuordnung die Rate bis auf 64 kbit/s erhöhen, jedoch kaum bis auf 2 Mbit/s. Die spektrale Effizienz und die Kosten für eine Minimalausrüstung sind ebenfalls Kriterien.

Wie erwähnt kann DECT über seine momentanen Anwendungen im Bereich des drahtlosen Telefons hinauswachsen. Vermittlungs- und Telepointstudien werden bereits im Hinblick auf einen Einsatz als Anschlussnetz-Ersatz gemacht. Die Erweiterung der Reichweite durch Anwendung komplexerer Antennensysteme und durch Equalizermethoden sowie mögliche Relaisstrukturen sind dabei wichtige Themen. Mit DECT könnte sich ein Markt für kostengünstige Anschlüsse in dichtbesiedelten

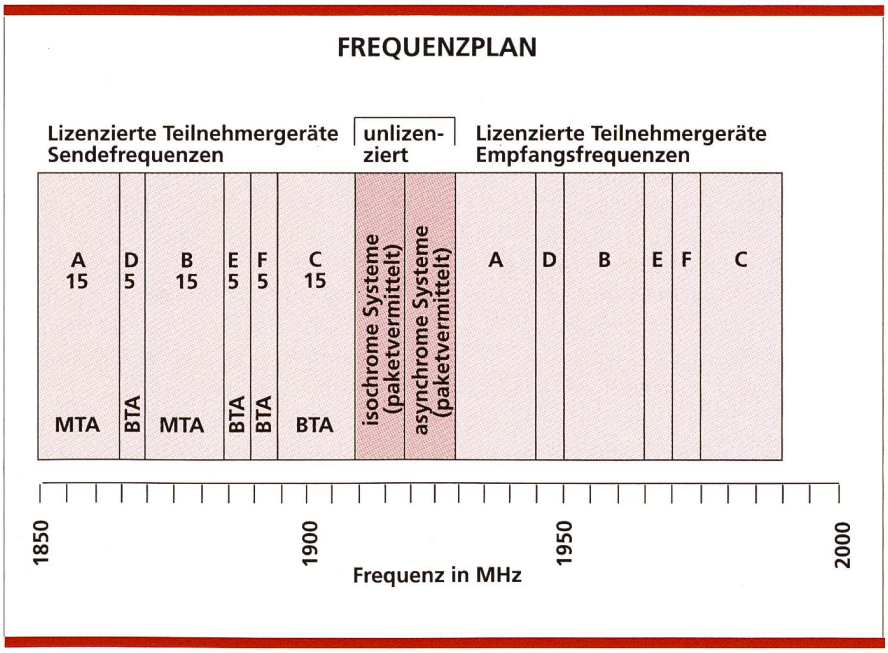


Bild 4. Der Frequenzplan für PCS in den USA. MTA = Major Trading Area (städtische Gegend), BTA = Basic Trading Area (ländliche Gegend).

Gebieten entwickeln. Die Versorgung über weitere Distanzen wird den zellularen Systemen überlassen (zum Teil innerhalb des UMTS). Weitere attraktive Eigenschaften sind eine dynamische Kanalzuordnung und ein hoher Grad an Flexibilität bezüglich der Einführung neuer Dienste durch Kombination von Kanälen für höhere Datenraten (ohne Modifikation der Norm sind rund 200 kbit/s pro Sender/Empfänger möglich). Es wird ausserdem noch in Erwägung gezogen, die DECT-Luftschnittstelle mit der Infrastruktur von GSM in Einklang zu bringen.

Die Projekte einer fortgeschrittenen TDMA (ATDMA) und das Code-Division-Testbed-(CODIT-)Programm des R & D in Advanced Communications Technology in Europe (RACE) verfolgen revolutionäre Konzepte in Richtung UMTS. Das erstgenannte Projekt verwendet TDMA, das zweite CDMA als prinzipielle Technik. Beide Projekte arbeiten auf eine höhere Datenrate hin. Dabei werden in Testanordnungen Raten bis 64 kbit/s und 128 kbit/s betrachtet; Konzeptstudien beziehen sich aber auf Burst-Raten von bis zu 2 Mbit/s. Die Übertragung von anschlusslosen Paketdaten mit niedriger Verzögerung und mit Zugang zum Internet werden ebenfalls diskutiert. Eine Kompatibilität mit Multimedia, einschliesslich der Parallelübertragung von Sprache und Fax oder auch Daten aus einer Datenbank, ist in CODIT möglich. Viele grundsätzliche Aspekte von TDMA und CDMA wurden bereits in den bisherigen Abschnitten vorgestellt. Einige haben nun unter dem Gesichtspunkt des UMTS spezielle Bedeutung gewonnen: Bei CDMA wird eine Bandbreite toleriert, welche die optimale Bandbreite für gewisse Umgebungsbedingungen überschreitet. Ausserdem können Zellen mit variabler Grösse ohne eine signifikante Degradation bezüglich der spektralen Effizienz akzeptiert werden. Bei TDMA können verschiedene Betreiber (kleinere Bandbreite) auf einfache Art unkoordiniert koexistieren (siehe unter DECT). Beide Projekte haben versucht, einige der Nachteile der beiden Konzepte möglichst zu minimalisieren. Bei ATDMA wurde eine Art «weiche Degradation» erreicht, indem die Rate der Sprachcodierung gegen die Rate der Fehlercodierung ausgeglichen wird. Dabei wurde davon profitiert, dass mit einer variablen Sprachaktivität gerechnet werden kann. Es wurde eine Kombination der «talk spurt detection» und des Packet Reservation Multiple Access (PRMA) studiert. In CODIT wurde ausserdem ein Interfrequency-Handover realisiert, das von eingebetteten Mikrozellen auf überlagerte Makrozellen umschalten kann, also von einer unkoordinierten Umgebung auf eine zellulare. In unkoordinierten Umgebungen wird die Interferenz von Nachbarsystemen durch die Mobilstation detektiert. Das Bestehen einer solchen Interferenz ist ein Indikator für eine mögliche Blockierung einer nahen Basisstation und erzeugt ein Handover auf eine andere Frequenz oder zu einem zellularen Betreiber. Wie erwartet werden kann, versuchen beide Projekte die spezifischen Stärken der jeweiligen Konzepte zu entwickeln, wobei gleichzeitig die Stärken des andern möglichst im eigenen Konzept eingeschlossen werden. Die «weiche Degradation», welche im TDMA-Konzept eingeführt wird, sowie das Interfrequenz-Handover beim CDMA-Konzept zur Gewährleistung der Koexistenz zwischen örtlich nahen Systemen sind Beispiele dafür. Beide Konzepte sehen vielversprechend aus, wobei sich für CDMA in zellularen Umgebungen und für TDMA in unkoordinierten Umgebungen ein kleiner Vorteil ergibt.

Zusätzliche Konzepte werden noch ausserhalb ETSI und RACE studiert. «Page and answer» ist beispielsweise eine Idee, welche bei Ascom studiert wird. In dessen einfachster Form wird ein ankommender Anruf an einem Server auf «hold» gesetzt; dieser erzeugt gleichzeitig eine Suchmeldung. Der Angerufene begibt sich sodann zum gerade passendsten Teilnehmergerät (drahtgebunden, drahtlos oder zellular) und antwortet über ein drahtloses Suchgerät am Handgelenk mit Hilfe von 2-Ton-Multifrequenz-(DTMF-)Tönen, wodurch er taxfrei angeschlossen und am Server autorisiert wird. Der Server komplettiert die Verbindungsaufnahme. Es werden bereits auch schon futuristischere Lösungen dieser Art entwickelt. Vorteile solcher Konzepte sind, dass sie mit kleinem Aufwand realisiert werden können, dass sie keine aufwendigen Teilnehmerapparate mit grossen Batterieleistungen benötigen und dass sie keine Restriktionen bezüglich der Datenrate enthalten (im Büro oder zu Hause). Ausserdem soll die Taxbelastung wie bisher üblich auf der Anruferseite bleiben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass heute der Hauptharst des Entwicklungspotentials in Europa mit der Ausnutzung von GSM und DECT, vor allem mit deren Weiterentwicklung sowie dem Zusammenwirken der Normen, beschäftigt ist. Andere Normenentwicklungen sind im End-stadium, beispielsweise für drahtlose LANs (HIPERLAN) und PMR (TETRA, Trans European Trunked Radio System). Gleichzeitig wird innerhalb ETSI und unter Unterstützung von RACE versucht, eine Definition und Spezifikation eines UMTS zu erstellen. In zweiter Linie wird die Entwicklung von Systemen im ISM-Band sowie anderen nichtstandardisierten Systemen verfolgt.

PCS in den Bändern für kommende Technologien in den Vereinigten Staaten

Der Pfad der Entwicklung, der in den Vereinigten Staaten im Hinblick auf zukünftige drahtlose Systeme verfolgt wird, ist sehr verschieden von demjenigen in Europa. Unter Berücksichtigung und Unterstützung eines Konzeptes für einen freien Markt hat die FCC ein 140 MHz breites Spektrum im 2-GHz-Bereich für PCS reserviert. Bild 4 zeigt die exakten Frequenzen. Es ist zu bemerken, dass die Blöcke A und B für hauptsächliche Handelszentren, Major Trading Areas (MTAs), bestimmt sind, während die Blöcke C bis F lizenziert werden auf der Basis von Basic Trading Areas (BTAs). Es gibt 51 MTAs und 492 BTAs in den Vereinigten Staaten. (Dies führt zu einem groben Vergleich der MTAs mit Staaten und der BTAs mit Distrikten.) Zusätzlich zu den Zuordnungen für lizenzierte terrestrische Systeme wurde eine totale Bandbreite von 20 MHz – ein grösserer Anteil ist zukünftig vorgesehen – den unlizenzierten Anwendungen zugewiesen. Von diesen sind 10 MHz für «isochrone» (das heisst vermittelte) Anwendungen wie beispielsweise drahtlose Paketdatensysteme vorgesehen. Ausrüstungen im unlizenzierten 2-GHz-Band müssen gemäss FCC-Regel, Part 15, mit einer «spectral etiquette» versehen sein. Diese wurde durch das technische Subkomittee WINTech der Industrieplattform WINForum geschaffen und

beabsichtigt eine harmonische Koexistenz diverser Systeme im unlizenzierten Band unter gleichzeitiger Wahrung einer bedeutenden Flexibilität bezüglich Netzwerkarchitektur (Modulation, Codierung, Signalprotokolle, Rahmenstruktur usw.). Zwei der hauptsächlichsten Anforderungen der «etiquette» sind dabei

- ein Listen Before Talk (LBT), welches beabsichtigt, dass ein Sender keine bereits bestehende Kommunikation stört
- eine Sendeleistungsbegrenzung, welche mit der Wurzel der Signalbandbreite variiert, mit der Absicht, dass Breitband- und Schmalbandsysteme auf ein vergleichbares Niveau gestellt werden bezüglich Interferenz und Spektrumsnutzung

	Digitales drahtloses Telefon	Digitales zellulares Telefon
Eigenschaften		
Zellengrösse	klein (50 bis 500 m)	gross (0,5 bis 30 km)
Antennenpositionierung über Boden	tief (tiefer als 15 m)	hoch (15 m oder höher)
max. Bewegungsgeschwindigkeit	klein (6 km/h oder weniger)	gross (bis 250 km/h)
Versorgungsbereich	kleine Zonen	grosse Gebiete, kontinuierlich
Komplexität des Teilnehmergerätes	klein	mittel
Komplexität der Basisstation	klein	hoch
Zugriff/Belegung des Spektrums	gleichzeitige Nutzung	exklusive Nutzung
Typische Konzeptparameter		
RF-Leistung am Teilnehmergerät (durchschnittlich)	5 bis 10 mW	100 bis 600 mW
Duplexierung	TDD*	FDD
Sprachcodierung	32 kbit/s ADPCM	8 bis 13 kbit/s-Vocoder
Fehlerüberwachung	CRC	FEC/mit Bitversatz
Demodulatorkonzept	Diskriminator/differentiell*	kohärent/differentiell
Massnahmen gegen Mehrwegschwundeffekte	Antennendiversity	Diversity/Equalizer/RAKE

* PACS verwendet ein Duplexing im Frequenzbereich und kohärente Demodulation

Tabelle 3. Vergleich der Luftschnittstellen, digitales drahtloses und digitales zellulares Telefon.

Die FCC verteilt Lizenzen im PCS-Spektrum über Auktionen. Der Gewinner der Lizenz kann die Luftschnittstelle und die Systemarchitektur frei wählen innerhalb der Gegebenheiten der FCC-Regeln bezüglich Sendeleistung usw. Deshalb gibt es keine vorbestimmten Standards für Systeme im 2-GHz-PCS-Spektrum. Dies hat das TIA und das Komitee T1 der Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS), vorher die Exchange Carrier Standards Association, bewogen, mögliche Eingaben für PCS-Normen zu begutachten und daraus Empfehlungen abzuleiten. Das JTC hat festgestellt, dass PCS-Normen auf natürliche Art in zwei Kategorien aufgeteilt werden können: «high tier», das heisst solche, die Makrozellen und eine Mobilität bis zu hohen Geschwindigkeiten unterstützen, sowie «low tier», welche für kleine Sendeleistungen und kleinere Komplexität optimiert sind. Diese beiden Klassen entsprechen im Prinzip den digitalen Zellularsystemen bzw. den drahtlosen digitalen Systemen, wie schon diskutiert. Im weiteren hat die JTC die Liste der 16 möglichen Normen auf sieben reduziert, wobei fünf davon Variationen von existierenden Luftschnittstellen darstellen: PACS («low tier») und Vorschläge auf der Basis GSM, IS-54 und IS-95 («high tier») sowie DECT («low tier»). Die restlichen zwei basieren auf einem hybriden TDMA/CDMA-Konzept bzw. einem Breitband-CDMA (W-CDMA). Zusätzlich hat die TIA eine Aktivität initialisiert unter dem technischen Komitee TR41, um Normen betreffend drahtlose Ausrüstungen für teilnehmereigene Territorien (Wireless User Premises Equipment, WUPE) für das unlizenzierte 2-GHz-Band zu entwikkeln.

Das 2-GHz-PCS-Spektrum ist momentan durch Punkt-zu-Punkt-Mikrowellensysteme (Richtfunk) belegt. Zum grössten Teil müssen diese bestehenden Übertragungsstrecken in andere Bänder versetzt (z. B. 6 GHz) oder in Glasfaserverbindungen umgewandelt werden, bevor PCS-Systeme in Betrieb genommen werden können.[12] Die PCS-Lizenznehmer sollten die Kosten der Versetzung begleichen. Für das unlizenzierte Band ist die Finanzierung einer Versetzung weniger klar; ein gerechter Schlüssel muss für die Aufteilung der Versetzungskosten unter den unlizenzierten Betreibern entwickelt werden. Während der Übergangsperiode muss die Verwendung der spezifischen Frequenzen auf jene begrenzt werden, welche bereits geräumt wurden. Das Industrieforum UTAM, Inc. (Unlicensed PCS ad hoc Committee for 2-GHz Microwave Transition and Management), wurde formiert, um die anstehenden Probleme zu lösen.

[12] In einigen Fällen ist eine Koordination zwischen einem neuen und einem bestehenden PCS-Betreiber möglich.

Arbeiten in Richtung FPLMTS in Japan

In Japan wurde im Zusammenhang mit FPLMTS ein neues Normierungskomitee mit entsprechenden Arbeitsgruppen geschaffen, wobei CDMA- wie auch fortgeschrittene TDMA-Technologien studiert werden. Ausbreitungs- und Zugriffstests werden ebenfalls durchgeführt, unter anderem mit dem Ziel, Beiträge für die ITU-R-Standardisierungsaktivitäten zu liefern.

Global: Satelliten-Mobilfunkdienste

Es gibt Situationen, in welchen eine Versorgung mit zellenartigen terrestrischen Netzwerken entweder nicht ökonomisch ist (z. B. in abgelegenen, wenig bevölkerten Gebieten) oder physikalisch unrealisierbar ist (z. B. über grossen See- oder Meergebieten). In diesen Fällen können Satellitenmobildienste (Mobile Satellite Services, MSS) verwendet werden, die grundsätzlich eine globale Reichweite anbieten. Ein Spektrumsabschnitt wurde durch das ITU für MSS (wie in Bild 3) reserviert, und es gibt viele MSS-Systeme in diversen Entwicklungsstadien: als Konzept oder in Betrieb. Einige der Systeme unterstützen nur Datendienste, andere sind auch

für Sprache vorgesehen. Einige sind für spezielle Zwecke und/oder private Benutzergruppen bestimmt, andere für die öffentliche Verwendung und für den Anschluss an das öffentliche Netz. Im letzten Fall wäre die eine, universale drahtlose Kommunikation gewährleistet.

Eine Art der groben Klassifizierung von MMS-Systemen ergibt sich unter Berücksichtigung des orbitalen Erdabstandes der Satelliten: geostationäre Satelliten (GEOS) mit einem Abstand von 35 786 km, Satelliten auf niedriger Laufbahn (Low Earth Orbit Satellites, LEOS) mit Abständen unter 1000 km und Medium Earth Orbit Satellites (MEOS) mit Abständen von rund 10 000 km. Daneben gibt es noch solche mit sehr stark variierenden Abständen auf stark elliptischen Laufbahnen (Highly Elliptical Earth Orbit Satellites, HEOS). GEOS-Systeme sind unter anderem INMARSAT-M, MSAT, ACTS, MOBILESAT und NSTAR. LEOS-Systeme sind unter anderem IRIDIUM [28] (66 Satelliten bei etwa 770 km), Globestar (48 Satelliten bei 1400 km) und Teledisc (840 Satelliten in etwa 700 km). Odyssey ist ein MEOS-Vorschlag mit zwölf Satelliten bei rund 10 600 km, und ELMSAT ist ein HEOS-Konzept mit zwei bis drei Satelliten. Ein Hauptvorteil von GEOS ist, dass mit nur drei Satelliten praktisch eine globale Versorgung (bis zu einer nördlichen und südlichen Breite von 75°) erreicht werden kann. Die Nachteile betreffen die grosse Verzögerung auf dem Ausbreitungspfad von rund $^1/_4$ s und die grosse Sendeleistung, die notwendig ist. Obwohl bei LEOS die Sendeleistung und die Verzögerung bedeutend reduziert werden und portable Handapparate realisierbar sind, ergeben sich auch Nachteile. Da eine grosse Anzahl von Satelliten für eine globale Versorgung notwendig ist und diese eine begrenzte Lebensdauer von fünf bis zehn Jahren in ihrem Orbit haben, ergibt sich die Notwendigkeit, sehr oft Ersatzsatelliten vorzusehen. Ausserdem ist durch die grosse Bewegungsgeschwindigkeit (z. B. 7,4 km/s bei IRIDIUM) mit sehr häufigem Handoff zu rechnen. Für eine detaillierte Diskussion der Satellitenmobilkommunikation siehe [29] und [30]. Es gibt in diesem Gebiet noch weitere relevante Gesichtspunkte; beispielsweise müssen die Betriebs- und Unterhaltskosten einem genügend grossen Markt gegenübergestellt werden können, der für den angebotenen Dienst finanziell aufkommt. Trotz technischer und ökonomischer Hürden wird aber MSS eine wichtige Komponente in einem globalen drahtlosen Netzwerk sein.

Bibliographie

[1] V. H. McDonald, The Cellular Concept, BSTJ, vol. 58, no. 1, part 3, pp. 15–41, Jan. 1979.

[2] M. Mouly, M.-B. Pautet, The Evolution of GSM, in Mobile Communications – Advanced Systems and Components, Proc. 1994 Int. Zurich Sem. on Dig. Comm. (Springer Verlag, LNCS, vol. 783).

[3] M. R. L. Hodges, The GSM Radio Interface, Br. Telecom Tech. J., vol. 8, pp. 31–43, Jan. 1990.

[4] M. Mouly, M.-B. Pautet, The GSM System for Mobile Communications (Paris, 1992, ISBN 2-9507190-0-7).

[5] ETSI GSM Specifications, Series 01-12.

[6] P. A. Ramsdale, Personal Communications in the UK – Implementation of PCN Using DCS1800, Internat. J. Wireless Info. Networks, pp. 29–36, vol. 1, no. 1, Jan. 1994.

[7] TIA/EIA IS-54, Cellular Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard, Telecommunications Industry Association, April 1992.

[8] TIA/EIA IS-41, Cellular Radio Telecommunications Intersystem Operations, Telecommunications Industry Association, Dec. 1991.

[9] K. Kinoshita, M. Kuramoto, N. Nakajima, Development of a TDMA Digital Cellular System Based on Japanese Standard, Proc. 41st IEEE Veh. Technol. Conf., pp. 642–645, 1991.

[10] Research & Development Center for Radio Systems (RCR), Digital Cellular Telecommunications Systems, RCR STD-27, April 1991.

[11] A. Salmasi, K.S. Gilhousen, On the System Design Aspects of Code Division Multiple Access (CDMA) Applied to Digital Cellular and Personal Communications Networks, Proc. 41st IEEE Veh. Technol. Conf., pp. 57–62, 1991.

[12] TIA/EIA IS-95, Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread-Spectrum Cellular Systems, Telecommunications Industry Association, July 1993.

[13] R. Padovani, Reverse Link Performance of IS-95-Based Cellular Systems, IEEE Pers. Commun., vol. 1, no. 3, pp. 28–34, 3Q 1994.

[14] Federal Communications Commission, Notice of Proposed Rule Making in the Matter of Amendment of Parts 15 and 90 of the Commission's Rules to Provide Additional Frequencies for Cordless Telephones, ET Docket 93–235, adopted Aug. 20, 1993.

[15] R. S. Swain, Cordless Communication in the UK, British Telecom Technol. J., vol. 3, no. 2, pp. 32–38, April 1985.

[16] ETSI, Radio Equipment and Systems – Technical characteristics, test conditions and methods of measurement for radio aspects of cordless telephones CT1.

[17] T. Hattori, A. Sasaki, K. Momma, Emerging Technology and Service Enhancement for Cordless Telephone Systems, IEEE Commun. Mag., vol. 26, no. 1, pp. 53–58, Jan. 1988.

[18] R. Steedman, The Common Air Interface MPT 1375, Cordless Telecommunications in Europe, W. H. W. Tuttlebee, ed. (Springer Verlag, 1990).

[19] D. Åkerberg, Novel Radio Access Principles Useful for Third-Generation Mobile Radio Systems, Proc. IEEE PIMRC '92 (1992 IEEE Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications), Boston, MA, Oct. 19–21, 1992.

[20] ETSI, Digital European Cordless Telecommunications – Common Interface, Radio Equipment and Systems, Valbonne, France.

[21] T. Hattori et al., Personal Communication – Concept and Architecture, Proc. 1990 IEEE Internat. Commun. Conf. (ICC '90), pp. 1351–1357, Apr. 16–19, 1990.

[22] Research and Development Center for Radio Systems (RCR), Personal Handy Phone Systems, RCR STD-28, Dec. 1993.

[23] K. Ogawa, K, Kohiyama, T. Kobayashi, Toward the Personal Communication Era – A Proposal of the Radio Access Concept from Japan, Internat. J. Wireless Info. Networks, vol. 1, no. 1, pp. 17–27, Jan. 1994.

[24] D. C. Cox, Wireless Network Access for Personal Communications, IEEE Commun. Mag., vol. 30, no. 12, pp. 96–115, Dec. 1992.

[25] K. Pahlavan, A. FH. Levesque, Wireless Data Communications, Proc. IEEE, vol. 82, no. 9, pp. 1398–1430, Sep. 1994.

[26] B. Tuch, Development of WaveLAN, an

ISM Band Wireless LAN, AT&T Tech. J., vol. 72, no. 4, pp. 27–37, July/Aug. 1993.
[27] C. M. Rush, How WARC '92 Will Affect Mobile Services, IEEE Commun. Mag., vol. 30, no. 10, pp. 90–96, Oct. 1992.
[28] L. J. Grubb, The Traveler's Dream Come True, IEEE Commun. Mag. vol. 29, no. 11, pp. 48–51, Nov. 1991.
[29] W.W. Wu et al., Mobile Satellite Communications, Proc. IEEE, vol. 82, no. 9, pp. 1431–1448, Sep. 1994.
[30] F. Abrishamkar, E. Biglieri, An Overview of Wireless Communications, Proc. 1994 Military Commun. Conf. (MILCOM '94), pp. 900–905, Oct. 2–5, 1994.

Takeshi Hattori hat seine Ausbildung zum B.S., M.S. sowie Ph.D. in Electrical Engineering an der Universität Tokio abgeschlossen. Seit 1974 ist er bei NTT Japan tätig. Von 1984 bis 1986 war er Senior Manager bei ECL Research and Development Headquarters, wo er sich in den Bereichen System Engineering und Research Planning beschäftigte. 1986 und 1987 war er Chef der Mobile Communication Aplications Section im Radio Communications Networks Laboratory, wo er für die Entwicklung von neuen schnurlosen Telefonen sowie von maritimen Telefonsystemen verantwortlich zeichnete. Von 1987 bis 1989 war er Chef des Radio Communication Systems Laboratory und beschäftigte sich vor allem mit Technologien zur Realisierung von digitalen Mobilradiosystemen. Von 1989 bis 1991 war er Vorsitzender des F+E-Projektteams 3 betreffend Personal Communications Systems. 1991 und 1992 war er Executive Manager des Research Planning Department in den NTT Radio Communications Systems Laboratories. Momentan ist er Executive Manager des Personal Communication Systems Laboratory der NTT Wireless Systems Laboratories, Kanagawa, Japan, und ist in dieser Position verantwortlich für den Bereich F+E, Wireless Personal Communications Systems.

Christoph G. Günther schloss seine Studien in Theoretischer Physik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (ETHZ) mit dem Diplom und anschliessend, im Jahre 1984, mit dem Doktorat ab. Danach war er bei der Forschungsabteilung der Firma Brown Boveri (BBC) auf dem Gebiet der Kryptographie tätig. Seine Arbeiten betrafen hauptsächlich die Entwicklung und die Analyse von Stream Cipher Algorithms, Homophonic Coding und Schlüsselaustauschprotokollen. Im Jahre 1989 begannen seine Arbeiten im Gebeit der Bandspreiztechnik, welche ab 1990 bei Ascom Tech, Mägenwil (Forschungslabor der Firma Ascom), fortgeführt wurden. Seit 1991 ist er Chef der Gruppe Zellularfunksysteme bei Ascom Tech und arbeitet seither auf den Gebieten Modulation, Synchronisation, Mehrwegempfänger, Paketdatenübertragung sowie an diversen Themen im Bereich Personal Communications Systems. Seine speziellen Interessen gelten ausserdem den Gebieten Informationstheorie und Codierung.

Jay E. Padgett hat seine Ausbildung zum Bachelor's Degree (B.S.) und Master's Degree (M.S.) in Electrical Engineering an der University of Virginia und seine Dissertation im selben Studiengebiet (Ph.D.EE) an der Polytechnic University in Brooklyn, New York, abgeschlossen. Seit 1977 ist er bei AT & T Bell Laboratoires in New Jersey tätig, seit 1986 in der Position eines Distinguished Member of Staff. Seine Arbeiten betrafen die Entwicklung von analogen und digitalen drahtlosen Telefonsystemen und Richtfunksystemen sowie das Gebiet Personal Wireless Communication mit Schwergewicht auf mathematischer Modellierung sowie Analyse der Qualität und der spektralen Nutzungseffizienz. Er ist Vorsitzender der TIA Mobile & Personal Communications Consume Radio Section.

SUMMARY

WIRELESS PERSONAL COMMUNICATION

A DRIVING FORCE OF MODERN TELECOMMUNICATION

This article presents an overview of the current state of wireless communications, including relevant ongoing activities in technology development, standards, and spectrum allocation. First, cellular radio, cordless telephony, and wireless data systems are discussed. Following that, ongoing and planned future developments are summarized, where the emphasis concerns a possibly broad coverage rather than technical detail. Nevertheless, some of the air interfaces of existing cellular and digital wireless systems are being discussed briefly since they are of heavy consequence on system capacity, on the environments in which the systems can be used, and on the cost and complexity of the systems. More detailed discussions on topics of interest to the reader, including network aspects, can be found in the references given. Wireless personal communications is in the process of revolutionizing telecommunications services and the way in which people use them. Overall growth in the cordless and cellular markets during recent years has exceeded expectations. There is widespread anticipation that customer demand will continue to expand in the foreseeable future. This is reflected by the high current level of engineering and general development. There are many different views on what the future will bring in terms of wireless capabilities and design concepts. However, one thing is clear: wireless personal communication has achieved 'mainstream' status and will be a major force in driving the development of telecommunications systems and services.

Translated by Dr. Kurt Leuenberger, Telecom PTT, Forschung und Entwicklung, from the original English version and reprinted with permission from IEEE Communications Magazine, vol. 33, no. 1, January 1995, page 28–41, © 1995 IEEE.