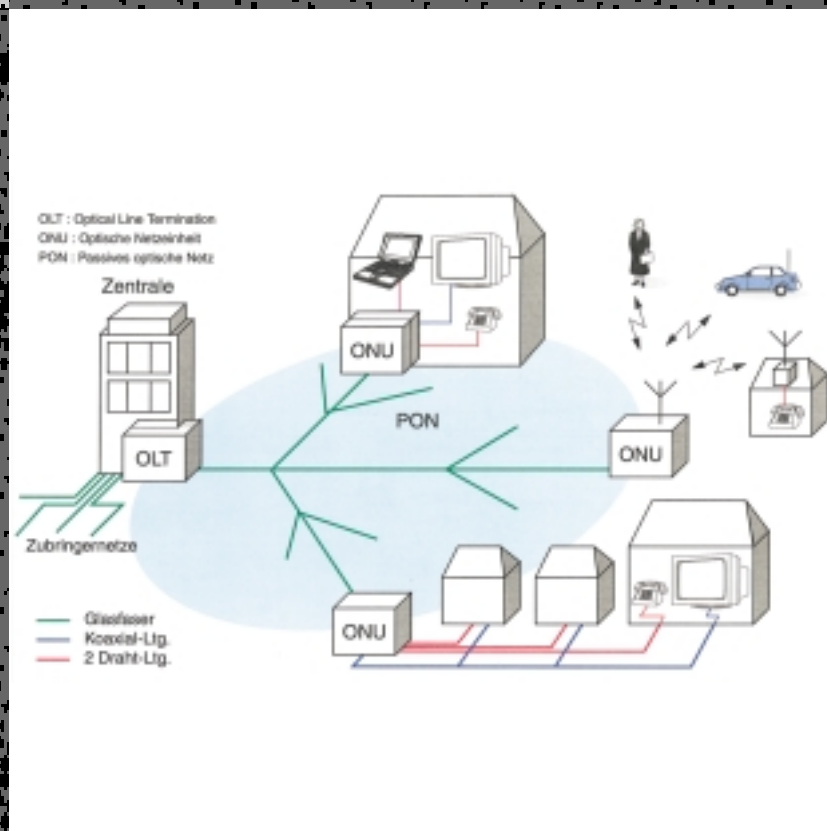


Joachim Speidel

Die digitale Zukunft – mobil und multimedial





Die Informations- und Kommunikationstechnik durchdringt alle Lebensbereiche des modernen Menschen. Neue Entwicklungen schreiten kräftig voran. Das Telefon mit Wählscheibe ist schon Geschichte, das Kabel hindert unseren Bewegungsdrang. Lautlos sind die Netze und Systeme der Telekommunikation zur Grundlage für die Internationalisierung und Globalisierung des modernen Wirtschaftens geworden. „E-Commerce“ und „E-Business“ heißen die Zauberworte dieser Tage, welche die Börsen der Welt zu Höhenflügen anregen. Für solche Unternehmen reichen Telefon und Telefax schon lange nicht mehr. Internet, das „Netz der Netze“, verschafft uns Zugang zu vielerlei Informationen. Es kostet uns leider noch viel Zeit – oft zu viel Zeit. Durch Kommunikationssysteme sehr hoher Bitraten wird das „World Wide Wait“ bald zum wirklichen World Wide Web (www).

Die größte Maschine, die je gebaut wurde, arbeitet für uns rund um die Uhr, und sie wird laufend weiterentwickelt. Hinter diesen Produkten und Systemen, die immer leistungsfähiger, preisgünstiger und deren Design immer ansprechender werden, stecken wissenschaftliche und technische Höchstleistungen.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die wesentlichen Telekommunikationsnetze und die Zahl der Anschlüsse in einigen Industrienationen. Das deutsche

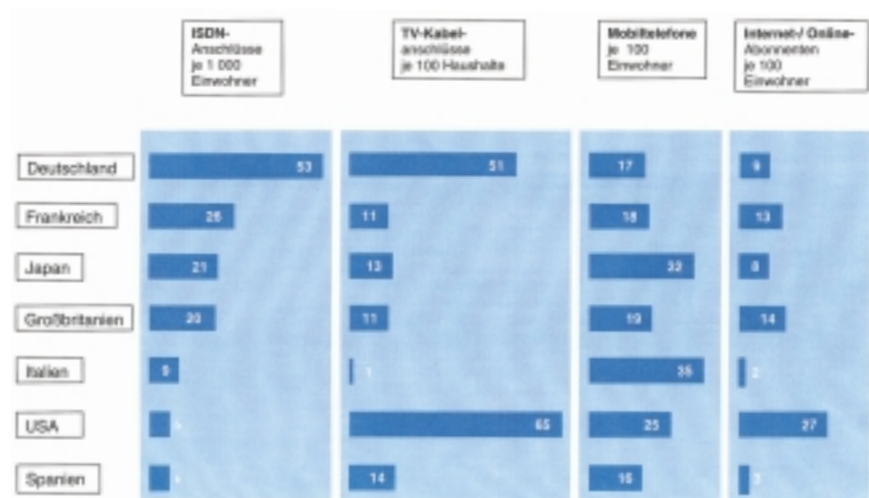


Abb. 1: Zahl der Anschlußeinheiten verschiedener Nachrichtennetze weltweit (Quelle: ZVEI 1998). Beim ISDN und Kabelfernsehen liegen die deutschen Netze an der Spitze. Bei Mobiltelefonen und Internet findet derzeit ein Aufholen statt.

Wie man weiß, transportiert diese Technik nicht nur Bits. Sie übermittelt uns Zeitgenossen durch Rundfunk, Fernsehen, Internet und Telefon auch eine Art Lebensgefühl, ob wir wollen oder nicht. Das Mobiltelefon beim Abendessen im vornehmen Restaurant – für die einen fast die Verletzung eines Sakraments, für die anderen ein Element der Unbeschwertheit.

Die moderne Informations- und Kommunikationstechnik hat ihre Wurzeln im 19. und im 20. Jahrhundert. Bis zum heutigen Tag ist ein weltumspannendes Netz mit elektrischen Leitungen, Glasfasern, Satelliten und Richtfunk entstanden.

ISDN und das TV-Kabelnetz zählen zu den Spitzenreitern. Die Mobilkommunikation hat mit dem in Europa entwickelten System GSM (Global System for Mobile Communications), das derzeit in mehr als 140 Ländern der Erde verbreitet ist und weltweit mehr als 360 Millionen Anschlüsse besitzt, einen wahren Sieges-

Joachim Speidel ■

Die digitale Zukunft – mobil und multimedial ■

Abb. 2: In nicht allzu ferner Zukunft werden wir auch im schnell fahrenden Fahrzeug Fernsehen, Internet und andere audiovisuelle Dienste nutzen können.



zug eingeleitet. Digitaler Ton-, Multimedia- und Fernsehgrundfunk DAB (Digital Audio Broadcasting), DMB (Digital Multimedia Broadcasting) und DVB (Digital Video Broadcasting) sind in der Abbildung 1 noch nicht enthalten, da diese Systeme erst am Beginn ihrer Einführung stehen.

Der Telekommunikationsmarkt in Deutschland und einigen anderen Ländern Europas befindet sich nach der Deregulierung im vollen Wettbewerb. Kundenorientierung, sinkende Preise und eine nie gekannte Angebotsvielfalt sind die positiven Seiten dieser Entwicklung. Mächtige Umwälzungen bei den Anbietern sind fast alltäglich. So wird die Übernahme der Firma Mannesmann Mobilfunk durch die britische Vodafone-Airtouch Anfang des Jahres 2000 mit einem noch nie da gewesenen Preis von etwa 180 Milliarden Euro in die Geschichte der Firmenfusionen eingehen. Sie läßt die Zusammenschlüsse AOL mit Time Warner (Übernahmepreis 150 Milliarden Euro) und Daimler mit Chrysler (36 Milliarden Euro) deutlich hinter sich.

Neue Mobilkommunikationssysteme für Rundfunk und Individualkommunikation

Während das analoge Mobiltelefon im sogenannten C-Netz bereits ab 1992 durch das sehr erfolgreiche digitale System GSM ersetzt wurde, haben die Entwicklungen für digitalen Tonrundfunk und digitales Fernsehen etwas später eingesetzt. Der Grund liegt hauptsächlich darin, daß Tonsignale eine um etwa Faktor 5 und Bildsignale eine um mehr als Faktor 1000 höhere Bandbreite besitzen als Sprachsignale. Mit zunehmender Bandbreite muß die digitale Signalverarbeitung schneller werden und stößt damit früher an technologische Grenzen. Daher ist eine Reduktion der Bitrate durch Quellencodierung der digitalen Ton- und Bildsignale unerlässlich. Darauf wird im folgenden eingegangen. Zunächst soll das digitale Übertragungssystem vorgestellt werden.

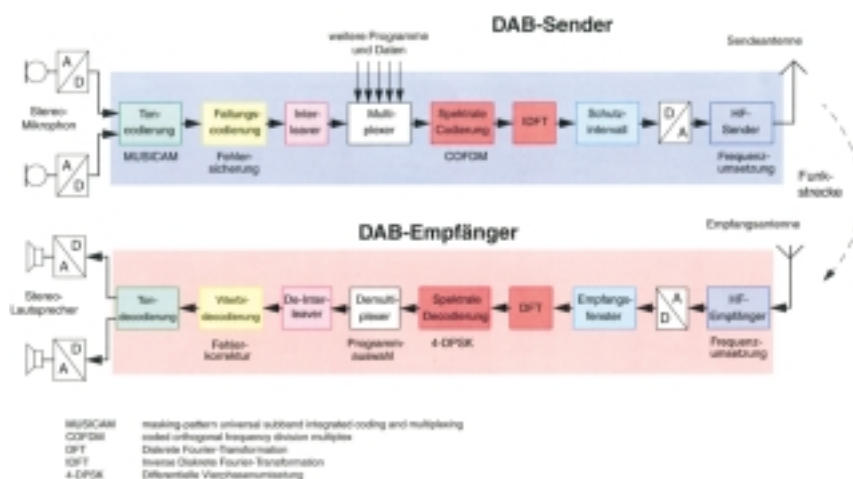


Abb. 3: Blockschaubild des Systems Digital Audio Broadcasting (DAB). Zur Übertragung von Bewegtbildern werden die Toncodierung und -decodierung (links) durch Videocodierer und -decoder ersetzt (Digital Multimedia Broadcasting, DMB).

DAB – Neuer digitaler Tonrundfunk

Die Zielsetzung der Entwicklung von DAB ist die Bereitstellung einer hervorragenden Audioqualität, die anspruchsvolle Musikhörer bereits durch die Compact Disc (CD) gewohnt sind, auch im sehr schnellen Fahrzeug. DAB kann zu Recht als weltweit erstes digitales Breitband-Mobilkommunikationssystem bezeichnet werden. Es erlaubt die Übertragung von Nutzbitraten bis etwa 1,5 Megabit/Sekunde (Mbit/s) in einem Übertragungskanal mit einer Bandbreite von etwa 1,5 Megahertz (MHz) [1], [2]. Wie die Systemstudie in Abbildung 2 zeigt, wird damit auch die Übertragung von Fernseh- und Multimediasignalen ins Fahrzeug möglich. Dabei werden komplexe Verfahren der Quellencodierung eingesetzt, mit denen die Bitrate von Bewegtbildern drastisch reduziert werden kann. DAB ist ein System zur Verteilung von Informationen. Ein Rückkanal ist daher zunächst nicht vorgesehen. Derzeit wird jedoch an einer Erweiterung durch einen Rückkanal gearbeitet, um das System auch für sogenannte inter-

aktive Anwendungen, wie zum Beispiel schneller Abruf von WWW-Seiten, einsetzen zu können. Die Schlüsselkomponenten eines breitbandigen Mobilkommunikationssystems sind

- die Quellencodierung zur Reduktion der Bitrate,
- die Modulations- und Kanalcodierungsverfahren zur effizienten Ausnutzung des verfügbaren Frequenzbereichs und zum Schutz der Bits vor Störeinflüssen des Übertragungskanals,
- die Technologie schneller digitaler Prozessoren,
- Hard- und Software für die Vermittlungstechnik.

In Abbildung 3 sind die wesentlichen Baueinheiten eines breitbandigen Mobilkommunikationssystems für DAB dargestellt. Die beiden analogen Stereo-Tonsignale werden mit etwa 44 Kilohertz (kHz) abgetastet und mit je 16 bit/Abtastwert quantisiert. Das Binärsignal besitzt dann eine Bitrate von etwa 1,5 Mbit/s. Im Toncodierer wird dieses Signal je nach verfügbarer Kanalkapazität auf 384 oder sogar 64 kbit/s reduziert.

Dies geschieht durch Reduktion von Redundanz und Irrelevanz im Musiksignal (Quellencodierung). Die QualitätseinbuÙe ist dabei sehr gering. Faltungscodierung, Interleaving und spektrale Codierung in Abbildung 3 sind Maßnahmen der Kanalcodierung zum Schutz der empfindlichen Nutzbits vor Störungen im Übertragungskanal. Durch Hinzufügen solcher Bits beim Sender wird der Empfänger in die Lage versetzt, gestörte Bits zu korrigieren. Um Bitfehlerhäufigkeiten nach der Korrektur von etwa 10^{-6} und kleiner zu erzielen, liegen die typischen Coderaten r bei etwa $1/2$, je nach Größe der Kanalstörungen. Dabei ist r das Verhältnis der Zahl der Schutzbits zur Zahl der Nutzbits im Bitstrom. Solche Schutzbits werden bekanntlich auch für die Aufzeichnung von Daten auf CD eingesetzt. Die Modulation geschieht mit K orthogonalen, kom-

plexen Trägerschwingungen (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex). Sie wird mit Hilfe der inversen diskreten Fouriertransformation (IDFT) ausgeführt. Beim DAB-Modus I ist $K = 1536$. Der DAB-Standard sieht eine vierstufige Phasenumtastung (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying) pro Träger vor. Zur Erhöhung der Bitrate, besonders für digitale Videosignale, wird in [3] eine höherstufige, hierarchische QAM (Quadratur-Amplituden-Modulation) pro Träger untersucht. Im Empfänger verwirklicht die diskrete Fouriertransformation mit K komplexen Trägern die Demodulation. Darauf folgt die Gebietsentscheidung der QPSK. Die Detektion des Bitstroms und die Faltungsdecodierung geschehen nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip mit Hilfe eines Trellis-Decodierens unter Anwendung des Viterbi-Algorithmus [4].

Der Mobilfunkkanal

Ganz wesentlichen Einfluß auf die Wahl des Modulations- und Kanalcodierungsverfahrens besitzt der Übertragungskanal. Wie Abbildung 4 zeigt, gelangt das Signal des Senders über mehrere Wege zum mobilen Empfänger. Sind die Hindernisse, an denen Reflexionen und Beugungen entstehen, zeitlich veränderlich, zum Beispiel Blätter eines Baumes im Wind, und bewegt sich insbesondere der Empfänger, dann liegt ein sogenannter zeitvarianter Mehrwegekanal vor. Für die Planung eines Sendernetzes ist die Untersuchung der Wellenausbreitung besonders wichtig. Dies ist die Aufgabe der Institute für Hochfrequenztechnik in [1]. Aufbauend auf diesen Ergebnissen und Messungen kann man die zeitvariante Impulsantwort $h(\tau, t)$ oder die zeitvariante Übertragungsfunktion $H(f, t)$ modellieren [5, 6]. In Abbildung 5 sehen wir ein Beispiel. Nicht in allen Fällen läßt sich der Kanal durch ein deterministisches Modell mit wenigen Wegen beschreiben. Oft gibt es eine Vielzahl von Teilwegen. Dann ist eine statistische Beschreibung der zeitvarianten Übertragungsfunktion mit dem WSSUS-Modell (Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering) vorteilhaft.

Computer-Simulation von Systemen der Mobilkommunikation

Zum Entwurf und zur Optimierung vollständiger Übertragungssysteme ist neben den mathematischen Verfahren besonders auch die Computer-Simulation geeignet. Sie erlaubt, neue Entwurfs-ideen schnell zu verwirklichen, um darauf aufbauend eine Hardware zu entwickeln. Für die Simulation werden alle Baueinheiten als mathematisches Modell auf dem Rechner nachgebildet. Abbildung 6 zeigt das System zur Simulation von Mobilkommunikationssystemen, wie es am Institut für Nachrichtenübertragung verwirklicht wurde. In den Eingang können analoge oder digitale Audio- und Videosignale eingespeist werden. Die

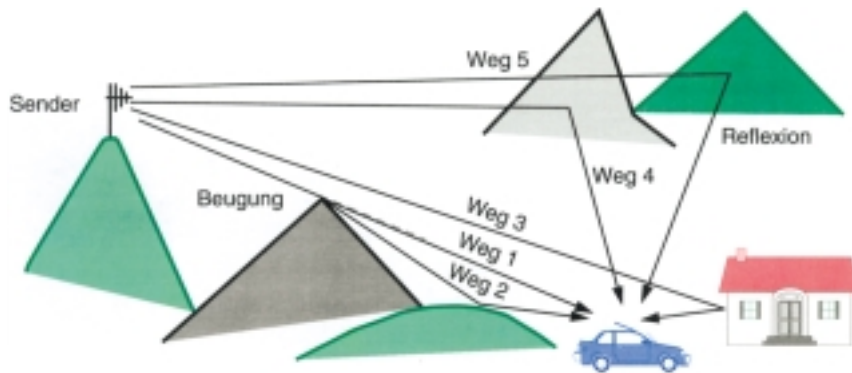


Abb. 4: Mehrwegeausbreitung des Sendesignals mit Reflexionen und Beugungen an Hindernissen. Beim bewegten Empfänger tritt im Empfangsspektrum eine Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt auf.

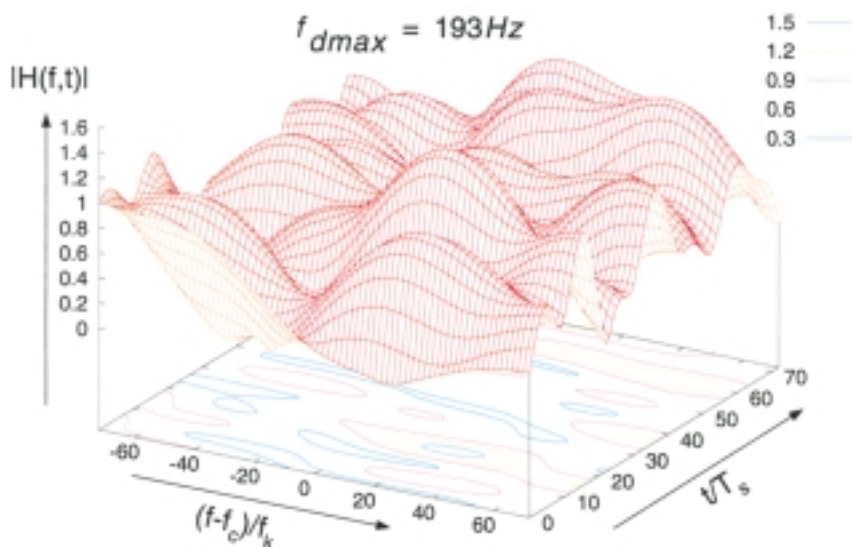


Abb. 5: Betrag $|H(f, t)|$ der zeitvarianten Übertragungsfunktion eines Mobilfunkkanals des GSM-Typs „Urban (non hilly) Area“. Die maximale Dopplerfrequenz beträgt $f_{dmax} = 193$ Hz. f_0 ist die Trägerfrequenz, f_k ein Normierungsparameter und T_s die Symboldauer.

teile im Signal nicht codiert werden müssen, entsteht eine Bitrate von etwa 166 Mbit/s für ein digitales Fernsehsignal. Für hochauflösendes Fernsehen HDTV (High Definition Television) ist etwa der vierfache Wert erforderlich.

und kann etwa 2000 oder 8000 betragen. Um möglichst viele digitale Fernsehsignale in der gegebenen Bandbreite von etwa sieben MHz übertragen zu können, sind statt der QPSK auch eine 16- oder sogar 64-stufige QAM einsetzbar. Hinzu kommt ein weiterer fehlerkorrigierender Code, der als äußerer RS-Code (Reed Solomon) arbeitet und der mit dem inneren Faltungscodiercode verkettet ist.

Abb. 6: Einrichtung zur Computer-Simulation von Systemen der Mobilkommunikation. Eine bitgenaue Simulation der Übertragungstechnischen Verfahren ist möglich. Der Bitstrom kann in einen realen Empfänger (rechts) eingespeist werden.



Modulations- und Codieralgorithmen führt der Rechner aus. Auch das Kanalmodell ist im Rechner verfügbar. Das so berechnete digitale Ausgangssignal des Empfängers wird in einen sehr großen und sehr schnellen Speicher geschrieben, an dessen Ausgang ein Lautsprecher oder ein Monitor angeschlossen sind. Damit kann das Ergebnis „in Echtzeit“ gehört oder betrachtet werden. Die Rechenzeiten liegen dabei in der Größenordnung mehrerer Tage. Besonders erwähnt werden soll, daß auch eine bitgenaue Simulation der Algorithmen möglich ist. Das so ermittelte Empfangssignal kann daher unmittelbar in eine Empfänger-Hardware eingespeist werden, wie es in Abbildung 6 (rechts) zu sehen ist. Als Software-Plattform wird das graphisch orientierte Werkzeug „Ptolemy“ verwendet. Diese im Rahmen des Projekts [1] durchgeführten Arbeiten trugen wesentlich zum Gelingen des baden-württembergischen DAB-Feldversuchs, dem ersten in Deutschland, bei.

DVB – Neuer digitaler Fernseh-rundfunk

Wegen der hohen Bandbreite von Videosignalen mit etwa fünf MHz konnte die digitale Übertragung erst aufgegriffen werden, nachdem Verfahren der Datenreduktion verfügbar waren. Das Videosignal besteht aus dem Luminanzsignal Y und den beiden Farbdifferenzsignalen C_u und C_v . Entsprechend der Bandbreiten sind die Abtastfrequenzen von 13,5 MHz (Y) und je 6,75 MHz (C_u und C_v) erforderlich. Eine Quantisierung mit 8 bit/Abtastwert ist nötig, um kein störendes Quantisierungsrauschen wahrzunehmen. Berücksichtigt man, daß die Synchronisationsan-

In den Anfängen der 80er Jahre wurden zur Übertragung von digitalen Fernsehsignalen bis in die Haushalte zwei Lösungsansätze diskutiert. Zum einen ein Glasfaser-Zugangsnetz, das eine Zentrale mit den Wohnungen verbindet (Fiber to the Home, FTTH). Die zweite Idee war der Einsatz der Bitratenreduktion, um die digitalen Fernsehsignale über die vorhandenen, schmalbandigeren Kanäle zu den Konsumenten zu transportieren [7]. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit hat sich die zweite Lösung durchgesetzt. Für die verschiedenen Übertragungswege sind inzwischen die Systemvarianten DVB-T (terrestrisch), DVB-C (Cable) und DVB-S (Satellit) entstanden und standardisiert worden, die sich hauptsächlich beim Modulationsverfahren und durch die Art des Bitfehlerschutzes unterscheiden [8]. Die terrestrische Übertragung stellt hier die höheren Anforderungen. Die Bitrate des digitalen Fernsehsignals wird durch Quellencodierung von 166 Mbit/s auf 2 (mittlere Bildqualität) bis 8 Mbit/s (sehr gute Bildqualität), also um Faktoren zwischen etwa 80 und 20, reduziert. Mit einer 128-stufigen digitalen QAM können in einem Fernsehkanal des Kabelnetzes etwa 48 Mbit/s übertragen werden. Das ermöglicht etwa fünf bis 20 digitale Fernsehprogramme in einem herkömmlichen analogen Fernsehkanal, je nach Bitrate des Einzelsignals. Bei terrestrischer Übertragung sind es nur etwa die Hälfte, da mehr Zusatzbits für den Fehlerschutz erforderlich sind und die QAM maximal 64-stufig ist.

Das System DVB-T ist ähnlich aufgebaut wie in Abbildung 3. Es wird ebenfalls eine OFDM eingesetzt. Allerdings ist die Zahl der Träger größer als bei DAB

Bei der Festlegung des Verfahrens DVB-T hat man sich vom Gedanken leiten lassen, den derzeitigen analogen Fernsehgrundfunk durch eine effizientere digitale Technik zu ersetzen. Neuere Zukunftsprognosen zeigen, daß die Bedeutung des Empfangs von Fernsehsignalen im schnell fahrenden Personenkraftwagen, im Bus und in der Bahn zu nehmen wird. Das Modulations- und Codierungsverfahren für DVB-T berücksichtigt aber den mobilen Empfang nicht deutlich genug. Zur Lösung stehen zwei Wege offen.

Erstens kann man versuchen, das System DAB, das für sehr schnell bewegte Empfänger entworfen wurde, für die Übertragung von Videosignalen tauglich zu machen. In [9] wird gezeigt, daß die bei DAB eingesetzte Faltungscodierung in der Regel nicht ausreicht, um die für Videosignale geforderte Bitfehlerhäufigkeit nach der Viterbi-Decodierung von weniger als 10^{-5} zu erzielen. Durch Hinzunahme eines zusätzlichen äußeren RS-Codes gelingt es jedoch recht einfach, diese Forderung zu erfüllen. Damit können Videosignale mit einer Bitrate von etwa 1,2 Mbit/s ins schnell bewegte Fahrzeug übertragen werden.

Eine zweite Lösung besteht darin, die derzeitigen Festlegungen zum digitalen Fernsehsystem DVB-T, das für die nächsten 20 bis 30 Jahre Bestand haben soll, für Mobilempfang zu erweitern. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Kanalschätzung. In [10] wird ein Kanalschätzer im Empfänger vorgeschlagen, der geeignete Kanalparameter ermittelt und das Ausgangssignal des zeitvarianten Kanals zweidimensional abtastet. Das so gebildete Signal wird nun mit einem zweidimensionalen, digitalen Wiener-Filter gefiltert. Dessen Grenzfrequenz wird adaptiv an den Kanal angepaßt. Wie Abbildung 7 zeigt, verringert sich dadurch die Bitfehlerhäufigkeit (BER) bei gegebenem Signalrauschverhältnis E_b/N_0 . In Abbildung 8a sind die Einflüsse von Bitfehlern auf die Qualität MPEG-2-codier-

ter (Motion Picture Experts Group) Bewegtbilder sichtbar. Störungen auf dem Übertragungskanal führen zu Blockfehlern, die sich wegen des rekursiven Codier- und Decodierverfahrens im Bild fortpflanzen. Durch die adaptive Kanalschätzung im Empfänger können die sichtbaren Bildstörungen beseitigt werden, wie in Abbildung 8b zu sehen.

Frequenzökonomie des digitalen Fernsehens

Mit den Verfahren der Datenreduktion und der digitalen Modulation wird es möglich, im herkömmlichen Fernseh-Frequenzbereich von etwa 50 – 860 MHz zwei- bis zehnmal mehr terrestrische Fernsehkanäle unterzubringen als bisher, im Kabel sogar etwa fünf- bis zwanzigmal mehr. Daher wächst der Druck auf die Rundfunkanstalten, die in ihrem Besitz befindlichen Lizenzen für diese Frequenzbänder teilweise für neue Systeme der Mobilkommunikation zur Verfügung zu stellen. Wie im folgenden Kapitel dargestellt wird, arbeitet man derzeit intensiv an der Weiterentwicklung von GSM zum breitbandigen, multimediale UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Der Frequenzbedarf hierfür ist erheblich. Auf Grund der bisherigen Besitzverhältnisse der Frequenzlizenzen muß dieses System in den Bereich ab 1800 MHz ausweichen. Die Umverteilung von Frequenzbändern ist in der Bundesrepublik Deutschland nicht einfach zu lösen. Der Grund liegt in der föderalen Struktur. Rundfunk ist Ländersache.



a)



b)

Abb. 8: Decodiertes Fernsehbild (a) mit Störungen durch Bitfehler auf dem Übertragungskanal, (b) fehlerfreies Bild durch Einsatz eines adaptiven Kanalschätzers nach [10]. $E_s/N_0 = 13$ dB, maximale Dopplerfrequenz $f_{max} = 52$ Hz.

Die Weiterentwicklung vom GSM zum UMTS

Das von europäischen Ingenieuren/innen entwickelte GSM hat sich sehr erfolgreich in den Weltmarkt eingeführt. In Deutschland stehen vier digitale Netze (D1, D2, E1, E2) mit insgesamt etwa 24 Millionen Anschlüssen im Wettbewerb (Stand Februar 2000). Der monatliche Zuwachs liegt bei etwa 900.000 Anschlüssen. Das GSM ist mit mehr als 60 Prozent Marktanteil zum heutigen Weltmarktführer in der digitalen Mobilkommunikation geworden. Der Marktführer bei den Mobilendgeräten, die europäische Firma Nokia, produziert ca. 80 Millionen GSM-Endgeräte jährlich.

Warum muß ein derart erfolgreiches System weiterentwickelt werden? GSM ist im wesentlichen für die Übermittlung von Sprache entworfen worden. Für Daten, zum Beispiel zum Abrufen von Internetseiten, ruhenden und bewegten Bildern,

ist das System nicht effizient und breitbandig genug. Die Weiterentwicklung von GSM zu EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) sieht statt der bisherigen vier- eine achtstufige digitale Modulation sowie Bitraten bis 384 kbit/s vor. Daten werden effizienter als Pakete übermittelt. Das führt zur Erweiterung des GSM zum GPRS (General Packet Radio Service). Parallel zu diesen Verbesserungen des GSM laufen in den Forschungs- und Entwicklungslabors Arbeiten zu einem völlig neuen, breitbandigen Mobilkommunikationssystem der sogenannten dritten Generation (1. Generation analog, 2. Generation GSM, EDGE und GPRS). Dieses System mit dem Namen UMTS soll uneingeschränkte Mobilität (high mobility) mit einer Bitrate bis 384 kbit/s erlauben. Höhere Bitraten bis etwa zwei Mbit/s sind für Anwendungen mit eingeschränkter Mobilität (low mobility), im Grenzfall nur die Geschwindigkeit von Fußgängern, vorgesehen. Eine Nullserie des Systems soll bereits im Jahr 2001 in den Markt eingeführt werden. UMTS wird Elemente aus europäischen und amerikanischen Systemen vereinigen, beispielsweise kommt zum europäischen Zugriffsverfahren TDMA (Time Division Multiplex and Access), das in GSM ein gesetzt wird, das Verfahren CDMA (Code Division Multiplex and Access) hinzu, das in amerikanischen Systemen, etwa IS 95, vorherrscht. Bei UMTS soll erstmals ein 1993 erfundenes Verfahren zum Bitfehlerschutz, die sogenannte Turbo Codierung, angewandt werden. Dies wird im nächsten Abschnitt näher behandelt.

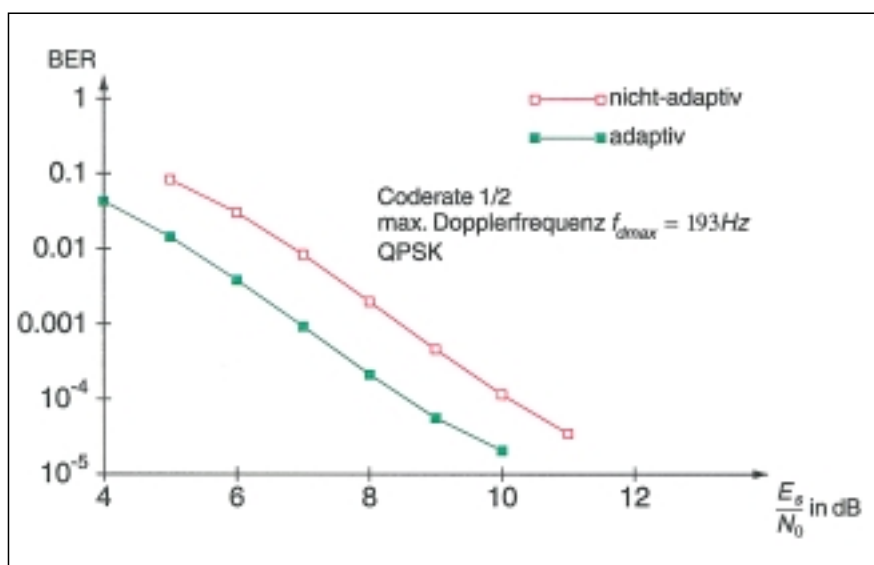


Abb. 7: Bitfehlerwahrscheinlichkeit BER als Funktion des Signalrauschverhältnisses E_s/N_0 für einen mobilen DVB-T-Empfänger. Der verwendete Kanal ist vom GSM-Typ „Urban (non hilly) Area“. Ein adaptives zweidimensionales Wiener-Filter zur Kanalschätzung nach [10] liefert eine deutliche Reduzierung der BER bei festem E_s/N_0 .

Iterative Decodierung und Demapping

Ein wichtiges Maß für die Qualität eines digitalen Übertragungssystems ist die Bitfehlerhäufigkeit, das heißt die Zahl der im Empfänger fehlerhaft decodierten Bits bezogen auf die Zahl der gesendeten Bits. Legt man ein statistisches Kanalmodell zu Grunde, dann kann man in vielen Fällen auch eine Bitfehlerwahrscheinlichkeit berechnen, die zur Vorhersage der Qualität eines Systems dient und somit eine Zielfunktion für den Systementwurf darstellt. Zum Schutz vor Störungen auf dem Übertragungskanal fügt man den Informationsbits, die das Nutzsignal repräsentieren, noch Zusatzbits (Paritätsbits) hinzu. Diese werden im Sender von einem Codierer aus den Informationsbits errechnet. Hierzu ist seit etwa 1950 eine Vielzahl von Verfahren, insbesondere die Block- und die Faltungscodes, angegeben worden. 1993 wurde von dem Franzosen Berrou eine neue Idee vorgestellt, die sogenannten Turbocodes [11]. Sie werden nicht, wie bei den bisherigen Verfahren, in einem Schritt, sondern iterativ in mehreren Schritten decodiert, wobei sich die erzielte Bitfehlerwahrscheinlichkeit beim Empfänger schrittweise verbessert. Diese Codierungsart ist derzeit Gegenstand intensiver Forschungen, denn man möchte das leistungsfähige Prinzip in die Standardisierung für neue Übertragungssysteme, besonders UMTS, einbringen. Bei der Turbocodierung werden zwei Codierer, in der Regel Faltungscodierer, verwendet, die entweder durch eine serielle oder parallele Struktur verkettet sind. Der iterative Decodierer im Empfänger besitzt eine entsprechende Struktur aus zwei Decodierern. Die Funktionsweise eines iterativen Decodierers läßt sich mit den Methoden der Informationstheorie mathematisch erklären. Der erste Decodierer entnimmt dem Kanal Informations- und Paritätsbits. Aus den Informationsbits werden sogenannte extrinsische Informationsbits ermittelt, die dem zweiten Decodierer nach einem sogenannten Interleaving als A-Priori-Wissen zugeführt werden. Der zweite Decodierer

greift auf permutierte Informationsbits und Paritätsbits zu und ermittelt seinerseits extrinsische Informationsbits, die der erste Decodierer als A-Priori-Wissen erhält. Von entscheidender Bedeutung ist die Konvergenzgeschwindigkeit eines iterativen Decodierers. Diese Frage wurde erstmals systematisch in [12] durch Einführung des EXIT-Charts (Extrinsic Information Transfer) gelöst. Es ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Treppenfunktion beschreibt unten links beginnend die Iterationen. Obere und untere Hüllkurve der Treppenfunktion sind durch je einen Codierer festgelegt. Diese beiden Codierer und damit der Turbocode müssen so gewählt werden, daß die Hüllkurven ein möglichst breites Gebiet einschließen. Dann benötigt der Decodierer nur wenige Iterationen. In [13] wurde mit Hilfe des EXIT-Charts ein neuer Code gefunden, der viel dichter an der Shannon-Grenze liegt als alle bisher bekannten Faltungscodes. In [14] wird gezeigt, daß sich das Prinzip der iterativen Decodierung viel weiter fassen läßt und auch die digitale Modulation sowie das sogenannte Demapping einbezogen werden können.

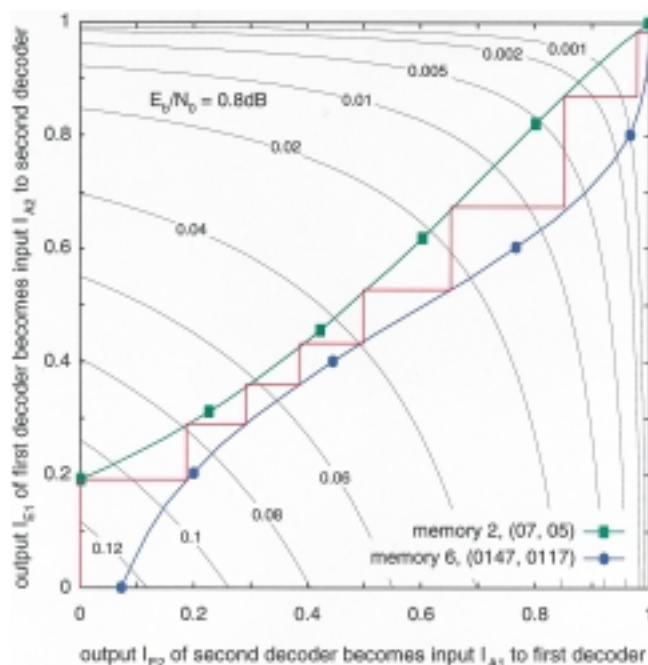
Abbildung 10 zeigt die Bitfehlerwahrscheinlichkeit BER als Funktion des Signal-Rauschverhältnisses E_b/N_0 für iteratives Demapping. Konventionelle, nicht-iterative Empfänger arbeiten mit einer Gray-Codierung (Gray-Mapping), zum Beispiel DAB und DVB. Man erkennt, daß ein Empfänger, der die extrinsische Informa-

tion iterativ ausnutzt, wesentlich steilere Kurven mit „Turbo Cliff“ besitzt, was erwünscht ist. Ferner kann die iterative Decodierung auch sehr vorteilhaft bei CDMA-Systemen eingesetzt werden [15]. In Abbildung 11 sehen wir das Entwicklungssystem des modernen Signalprozessors „Sabre 162 10“ von Lucent Technologies, der sehr wenig Strom verbraucht und daher für Anwendungen in mobilen Endgeräten besonders geeignet ist. Die beschriebenen iterativen Decodierer wurden mit diesem Prozessor verwirklicht.

Leitergebundene Zugangsnetze

Ein Telekommunikationsnetz kann im wesentlichen in drei Abschnitte eingeteilt werden, das Inhaus-, das Zugangs- und das Weitverkehrsnetz. Diese Netzabschnitte können sowohl leitergebunden als auch drahtlos sein. Das Zugangsnetz verschafft dem Nutzer den Zugriff auf Telekommunikationsdienste und Anwendungen, zum Beispiel Telefonie, Internet-Seiten und Fernsehen. Wie Abbildung 12 zeigt, finden sich in heutigen Zugangsnetzen eine Reihe unterschiedlicher Techniken und Technologien, die zum Teil auch parallel genutzt werden. Dieser Netzabschnitt ist daher sehr heterogen. Über den mobilen, drahtlosen Zugang wurde im vorherigen Abschnitt bereits gesprochen. Nun soll der Schwerpunkt auf drahtgebundenen elektrischen und optischen Verfahren liegen.

Abb. 9: Extrinsic Information Transfer Chart (EXIT Chart) eines iterativen Turbo-Decodierers nach [12]. Die Treppenfunktion zeigt die einzelnen Iterationen, die links unten beginnen. Die Bitfehlerwahrscheinlichkeit nach Decodierung (Höhenlinien mit Parametern 0,12 bis 0,001) nimmt mit zunehmender Iterationszahl ab. Parallel verketteter Code mit Rate 1/2, Interleaver mit 200 000 Informationsbits, Signalrauschverhältnis $E_b/N_0 = 0,8$ dB.



Telekom AG, aufgefordert, durch Verkauf von Teilen ihres Netzes an eine größere Zahl von Betreibern mehr Wettbewerb zu schaffen. Erste Verkäufe sind Anfang 2000 erfolgt. Die neuen Betreiber planen neben der konventionellen Fernsehverteilung besonders den Einstieg in interaktive Kommunikationsdienste wie Telefontie und Internetdienste. Dazu müssen die Kabelfernsehnetze mit breitbandigen Rückkanälen ausgestattet werden, um Anschlüsse für sogenannte Kabelmodems und Set-Top-Boxen zu schaffen [17,18]. Wegen der großen wirtschaftlichen Bedeutung sind neue Forschungsergebnisse sehr wichtig.

Hybride Zugangsnetze

Zugangsnetze in großen Neubaugebieten werden heute aus Gründen der Zukunftssicherheit überwiegend mit Glasfasern aufgebaut. Wie in Abbildung 13 dargestellt, führt aber die Glasfaser aus wirtschaftlichen Gründen nicht direkt in die Wohnungen, sondern endet in einer ONU (Optical Network Unit) am Straßenrand oder im Keller eines großen Wohngebäudes („Fiber to the Curb“, „Fiber to the Building“). Die verbleibenden wenigen hundert Meter werden aus wirtschaftlichen Gründen mit Zweidrahtleitungen und/oder Koaxialleitungen aus Kupfer überbrückt. Diese oft als „Last Mile“ bezeichnete Strecke kann auch mit drahtloser Technik versorgt werden („Radio in the Loop“, „Wireless Local Loop“). Die Glasfasern in Abbildung 13 bilden ein sogenanntes PON (Passive Optical Network), bei dem die Faser aus der Zentrale in einem ersten Ort in weitere Fasern passiv, das heißt ohne Verstärkung, verzweigt wird. Die so verzweigten Glasfasern fächern weiter auf, bis jede in einer ONU endet. Diese Lösung ist besonders wirtschaftlich und zuverlässig, da man keine aktiven Netzelemente, also Verstärker, benötigt. Erste Feldversuche wurden 1991 in Amsterdam und Nürnberg durchgeführt [19]. Das Netzkonzept PON ist inzwischen durch ETSI (European Telecommunications Standardization Institute) standardisiert worden. In den

neuen Bundesländern sind mit dieser modernen Technik etwa zwei Millionen Haushalte angeschlossen worden, weltweit die größten hybriden Teilnehmerzugangsnetze. Mit dem PON können, abhängig von der Bitrate des optischen Signals, weite Entfernungen überbrückt werden, typischerweise bis 30 Kilometer. Um die Dämpfung durch die optischen Verzweiger und die Glasfasern auszugleichen, sind Verstärker nötig. Diese kann man im PON beim Sender (Booster) oder im Empfänger anordnen. In besonderen Fällen verläßt man das Prinzip des passiven optischen Netzes und baut Verstärker im Netz ein, zum Beispiel vor einem optischen Verzweiger. Elektronische Verstärker werden heute sehr gut beherrscht. Ihr Nachteil ist jedoch, daß das optische Signal zunächst mit einer Photodiode in ein elektrisches Signal umgewandelt werden muß, das dann elektrisch verstärkt wird und das man

Wegen der Vielzahl zu erwartender Übertragungsstandards sind in der Zentrale in Abbildung 13 vielfältige Sendee- und Empfangsverfahren zu verwirklichen. Eine bevorzugte Lösung besteht in einer Architektur, die programmierbar ist. Mit diesem aktuellen Forschungsgebiet „Software Head End“ befassen sich [23] und [24].

Optisches CDMA

Wie aus Abbildung 13 deutlich wird, ist die Übertragung von Signalen von der Zentrale zu den ONU (Abwärtsrichtung) in einem PON einfach möglich. In der Aufwärtsrichtung kann jedoch eine Kollision auftreten, wenn mehr als eine ONU zur Zentrale senden will. Zur Auflösung dieses Konflikts benutzt man spezielle Multiplex- und Zugriffsverfahren. In den bisher installierten Hybridnetzen wird das Zeitvielfach-Zugriffsverfahren TDMA ein-

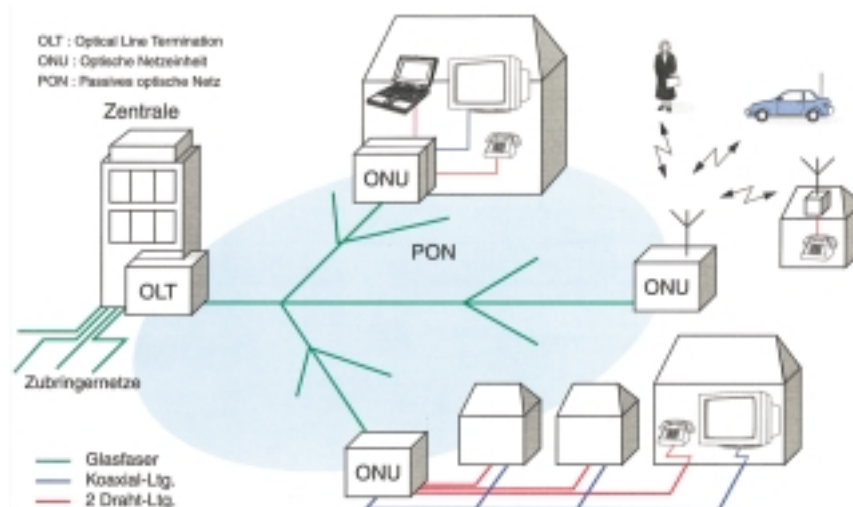


Abb. 13: Hybrides Teilnehmerzugangsnetz mit passivem optischen Netz (PON).

anschließend mit einer Laserdiode in ein optisches Signal wandelt. Will man diese mehrfache, teure Umwandlung vermeiden, kann man einen faseroptischen Verstärker einsetzen. Für Signalwellenlängen um 1550 Nanometer (nm) stehen mit dem EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) industrielle Produkte bereit. In [20-22] ist eine neue Lösung für den schwierigeren Fall von Signalwellenlängen um 1300 nm entworfen und als Funktionsmuster verwirklicht worden, für den industrielle Lösungen noch nicht vorliegen. Damit läßt sich nach einer vollständigen Belegung des optischen Fensters um 1550 nm der Wellenlängenbereich um 1300 nm erschließen.

gesetzt, das zum Beispiel auch im GSM verwendet wird. Beim TDMA-Verfahren ist jeder ONU ein Zeitschlitz auf der Zeitachse zugeordnet, in dem sie ihre Information periodisch absetzt. Da die Glasfasern zu den ONU unterschiedliche Länge besitzen und damit unterschiedliche Signallaufzeiten auftreten, müssen bei Inbetriebnahme des Netzes die einzelnen Zeitschlitze in einem automatischen Einmeßverfahren (Ranging) positioniert werden. Dieses Verfahren wird in gewissen Zeitabständen durch das Netz-Managementsystem wiederholt und muß besonders auch dann ausgeführt werden, wenn das Netz durch eine ONU erweitert wird. Die Verwirklichung von TDMA wird um

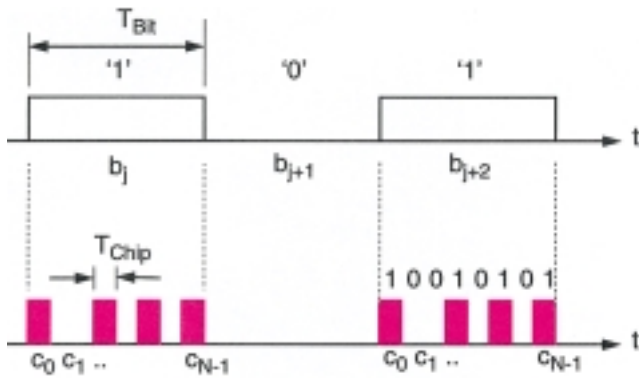


Abb. 14: Codierung der zu übertragenden Bits b_j durch ein Codewort aus „Chips“ c_k beim CDMA-Verfahren.

so schwieriger, je höher die zu übertragende Bitrate ist. Gerade in optischen Netzen möchte man aber die Vorteile der extrem großen Bandbreite der Einmoden-Glasfasern nutzen und die Bitrate sehr groß, das heißt im Bereich einiger 100 Mbit/s pro ONU, wählen. Es besteht daher der Wunsch nach einem Zugriffsverfahren, das unempfindlich gegenüber unterschiedlich langen Glasfasern zu den ONU ist und dabei hohe Bitraten zuläßt.

Eine Untersuchung verschiedener Verfahren [25] zeigt, daß CDMA, das besonders in amerikanischen Mobilkommunikationssystemen Verbreitung gefunden hat [15], ebenso im optischen Bereich ein aussichtsreicher Kandidat sein kann. Abbildung 14 zeigt das Prinzip des CDMA. Die Datenquelle sendet eine Folge von Rechteckimpulsen der Dauer T_{Bit} . Beim CDMA-Verfahren wird jedem Rechteckimpuls ein Codewort aus N Chips der Dauer T_{Chip} zugeordnet. Jede ONU ist eindeutig durch ein solches Codewort gekennzeichnet. Alle ONU in Abbildung 13 besitzen unterschiedliche Codewörter und können zur selben Zeit und im selben Frequenzbereich senden. Die Detektion der Codewörter geschieht in der Zentrale durch einen Korrelationsempfänger [4].

Diese Vorteile des CDMA werden aber durch eine um etwa den Spreizfaktor $N = T_{\text{Bit}} / T_{\text{Chip}}$ höhere Bandbreite des Sendesignals erkauft. Dies ist bei optischer Übertragung aber weniger kritisch, da die verfügbare Bandbreite einer Glasfaser in der Größenordnung von 100 THz liegt ($T = \text{Tera} = 10^{12}$). Viel problematischer ist aber die Verwirklichung von Sendern und Empfängern durch elektrische Schaltungen, da die Taktfrequenzen ebenfalls um den Faktor N ansteigen. Ein Beispiel soll die Größenordnungen erläutern: Eine Bitrate pro ONU von $1/T_{\text{Bit}} = 100$ Mbit/s und $N = 100$ erfordern bereits eine Taktfrequenz von 10 Gigahertz (GHz), die von komplexen elektrischen Schaltungen der digitalen Signalverarbeitung heute noch nicht verwirklicht werden kann. Da die ONU in Abbildung 13 jedoch ein optisches Signal senden soll, liegt die Idee nahe, die Signalverarbeitung optisch zu realisieren. In [1] und [26] wird über den Entwurf eines solchen Systems berichtet. Abbildung 15 zeigt einen Prototyp, der im Labor verwirklicht wurde. Verwendet wird ein optischer Korrelationsempfänger. Die Matched Filter sind optische FIR-Filter (Finite Impulse Response), die Einmoden-Glasfasern als Verzögerungsleitungen enthalten.



Abb. 15: Laboraufbau eines optischen Zugangsnetzes mit optischem CDMA. Im Vordergrund der optische Korrelationsempfänger, der kurze Einmoden-Glasfasern als Verzögerungsleitungen verwendet.

Codierung und Transcodierung von Videosignalen

Codierung

Wie aus den bisherigen Ausführungen deutlich wurde, sind die Datenreduktion, die Kanalcodierung und Modulation Schlüsselemente der modernen multimedialen Kommunikationssysteme. Nun soll abschließend die Datenreduktion näher erörtert werden. Wir haben früher schon gesehen, daß von allen bekannten Signalen das Videosignal mit etwa 166 Mbit/s die größte Bitrate bei der Digitalisierung liefert. Zur wirtschaftlichen Übertragung ist eine Reduktion dieser Bitrate unerlässlich. Zielbitraten sind dabei 2 – 8 Mbit/s für Unterhaltungsfernsehen und Speicherung auf einer DVD (Digital Versatile Disc), etwa 1,2 Mbit/s für die Übertragung mit DAB, 64 – 128 kbit/s für ISDN und UMTS und 8 – 16 kbit/s für GSM. Je größer der Reduktionsfaktor, desto stärker leidet die Bildqualität. Besonders in künftigen mobilen Anwendungen, wie in den Abbildungen 2 und 16 dargestellt, hat man relativ kleine Bildschirme oder Bildfenster. Daher sind mäßige Störungen durch die Datenreduktion der Bewegtbilder weniger sichtbar. Zur Erzielung sehr kleiner Bitraten wird in einem ersten Schritt die Auflösung der Bilder durch Filterung verringert, bevor die Bildcodierung durchgeführt wird. Seit Ende



Abb. 16: Mobile, drahtlose Bewegtbildübertragung (Systemstudie).

der 80er Jahre sind eine Reihe von Bildcodierstandards für unterschiedliche Anwendungen entstanden, die laufend verbessert wurden: Aus den Verfahren ITU H.261 und H.263 (International Telecommunications Union) für Videotelefonie und Videokonferenz sind unter anderem die Verfahren MPEG-1, MPEG-2 und MPEG-4 hervorgegangen. Sie sind in international zusammengesetzten Arbeitsgruppen unter Wettbewerbsgesichtspunkten entwickelt worden. Dabei haben sich die sogenannten bewegungskompensierten Interframe-Verfahren mit Cosinustransformation und Entropiecodierung durchgesetzt. Sie werden oft als Hybridcodierverfahren bezeichnet. Wegen der hohen Datenreduktion sind die codierten Bilder sehr anfällig gegen Störungen auf dem Übertragungsweg. Daher ist der Schutz gegen Bitfehler in enger Verbindung zur Datenreduktion zu sehen [27]. Ferner muß man durch geeignete Verfahren sicherstellen, daß gestörte Bits, die nach der Bitfehlerkorrektur noch verbleiben, den sehr komplexen Video-Decodierer nicht „zum „Absturz“ bringen und durch zusätzliche Verschleierungstechniken eine hinreichend gute subjektive Bildqualität garantieren [28].

Die Verfahren der Hybridcodierung sind durch eine große Zahl von Experten in vielfacher Hinsicht optimiert worden. Die interessante Frage lautet daher, ob es nicht „jenseits“ dieser Verfahren bessere Algorithmen geben kann. In [29] wurde dieser Frage nachgegangen und ein neues Verfahren entworfen, das wir als MBIC (Mesh Based Interpolative Coding) bezeichnet haben. Die prinzipielle Vorgehensweise ist in Abbildung 17 dargestellt und beschrieben. Die Zielbitrate soll ca. zehn kbit/s betragen. Der Reduktionsfaktor beträgt 166000 : 10, das heißt nur 0,06 Promille der Bitrate eines Fernsehbilds werden übertragen. Wesentliche Elemente des Verfahrens sind eine adaptive, an den Informationsgehalt angepaßte, nicht-äquidistante Abtastung und eine Interpolation des Bilds durch Dreiecksnetz. Die Triangulierung, also die Verbin-

dung von Knoten zu einem Dreiecksnetz, kann auf verschiedene Weise geschehen und ist daher nicht eindeutig. Um die zusätzlichen Bits einzusparen, die dem Empfänger die Art der Triangulierung mitteilen, wird ein Dreiecksnetz nach Delauney verwendet, dessen Eindeutigkeit aus der mathematischen Topologie bekannt ist. Für viele Bewegtbildsequenzen benötigt MBIC etwa zehn Prozent weniger Bitrate als die bekannten Verfahren H.261, H.263 und MPEG bei etwa gleicher Bildqualität [29]. Das Verfahren benötigt allerdings sehr leistungsfähige Prozessoren, mit denen erst in einigen Jahren zu rechnen ist.

Transcodierung

Videosignale in digitaler, datenreduzierter Form zu übertragen oder zu speichern, ist mittlerweile weit verbreitet. Je nach Anwendungsfall sind die Bitraten unterschiedlich groß und liegen zwischen einem und acht Mbit/s. Daraus folgt eine

wichtige Aufgabenstellung, die in Abbildung 18 dargestellt ist. Videosignale seien zum Beispiel mit der Bitrate r_1 codiert und auf einem Speicher abgelegt oder über einen Kanal übertragen worden. Der nun folgende Speicher oder Übertragungskanal arbeite aber mit einer kleineren Bitrate $r_2 < r_1$. Dann muß der Bitstrom „transcodiert“ werden. Diese Anforderung entsteht auch im künftigen Automobil in Abbildung 2, in dem codierte Videosignale von einem DVD-Spieler in der Fahrerkonsole zu den Passagieren nach hinten zu übertragen sind. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit erlauben die im Automobil geplanten optischen Bussysteme mit Plastikfasern nur eine mäßig große Gesamtbitrate. Daher ist auch bei dieser Anwendung ein Transcodierer zur Reduktion der Bitrate erforderlich [30]. Der allgemeine Transcodierer in Abbildung 19 besteht aus einem vollständigen MPEG-2-Decodierer, auf den ein vollständiger MPEG-2-Codierer folgt. Diese Lösung ist offensichtlich sehr aufwendig. In [31]

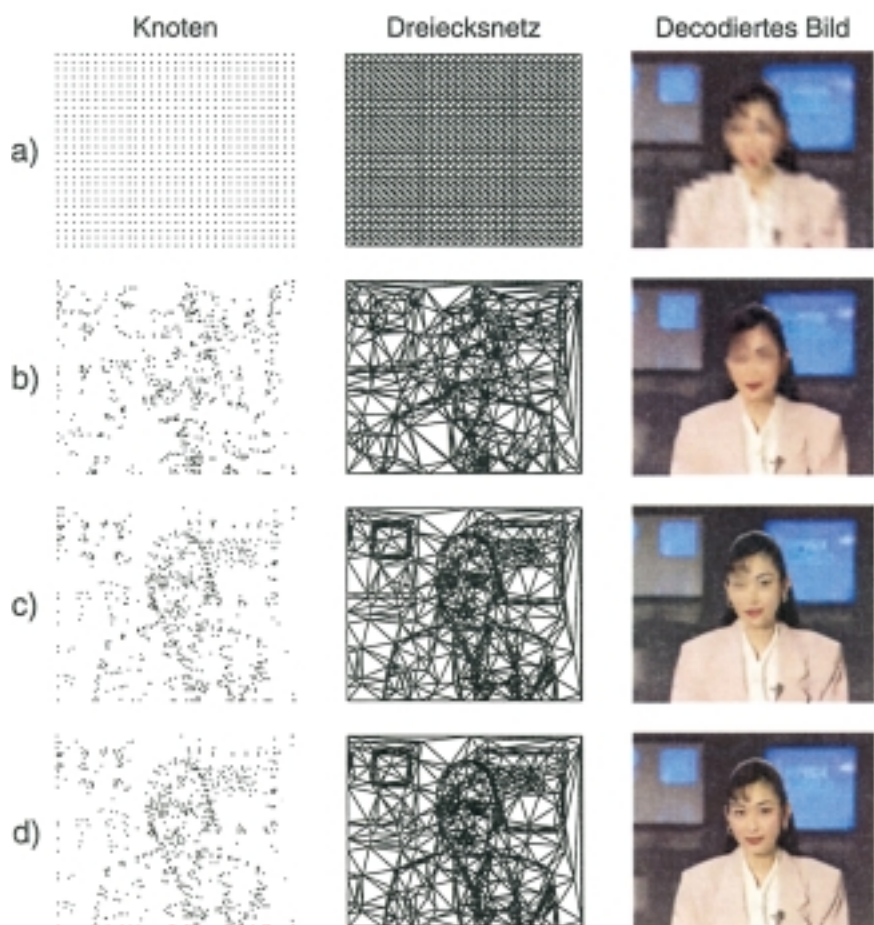


Abb. 17: Schritte im neuen Verfahren MBIC [29] zur Codierung von Bewegtbildern mit ca. zehn kbit/s für mobile Übertragung. (a) Start mit äquidistantem Abtastraster (Knoten); Verbindung der Knoten zum Dreiecksnetz, welches das Originalbild annähert; decodiertes Bild (b) – (d) Das Abtastraster (Knoten) wird schrittweise so verändert, daß der quadratische Fehler zwischen dem durch das Dreiecksnetz interpolierten Bild und dem Original minimal wird. Es bildet sich ein nicht-äquidistantes Abtastraster (Knoten), das Kanten im Bild bevorzugt. Die Bildqualität des decodierten Bildes verbessert sich schrittweise von (a) bis (d).

wird ein Verfahren vorgeschlagen und erprobt, das nur aus den in Abbildung 19 dunkel schattierten Baueinheiten besteht und trotzdem eine zufriedenstellende Bildqualität liefert. Dieser Transcodierer wurde als Labormuster mit dem modernen Multimediaprozessor Philips TriMedia verwirklicht.

Abb. 18: Der Transcodierer in einem Netz aus Speichern und Übertragungskanälen unterschiedlicher Bitraten $r_1 < r_2$.

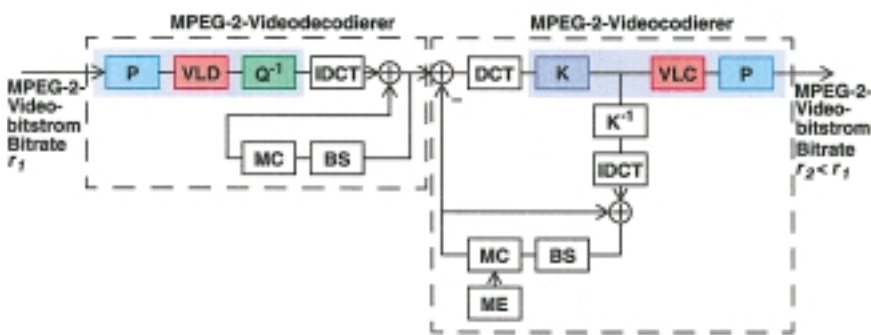
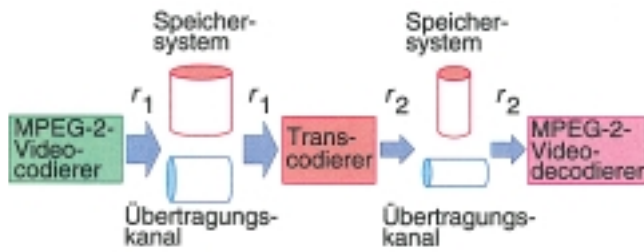


Abb. 19: Der allgemeine Transcodierer als Kettenschaltung aus MPEG-2-Video-decodierer und -Codierer. Das Verfahren nach [31] benötigt nur die dunkel schattierten Baugruppen bei gleicher Leistungsfähigkeit. P: Pufferspeicher, VLD: Decodierer für Codes variabler Länge und Demultiplexer, VLC: Codierer für Codes variabler Länge und Multiplexer, K: Quantisierer, Q^{-1} , K^{-1} : Inverser Quantisierer, DCT: Diskrete Cosinustransformation, IDCT: Inverse Diskrete Cosinustransformation, MC: Bewegungskompensation, ME: Bewegungsschätzung, BS: Bildspeicher.

Literatur

[1] Projektberichte des Forschungsverbunds Medientechnik Südwest (FMS), 1995-2000 – www.inue.uni-stuttgart.de/FMS/

[2] ETSI-Standard ETS 300 401, 1997

[3] Hagemeyer, H. T.: „Höherstufige OFDM-Übertragung im DAB-Kanal und Bitfehlerhäufigkeit“; Vortrag FMS-Projekttag beim SWR in Mainz, Mai 2000

[4] Speidel, J.: Vorlesung „Communication III“ (in Englisch) an der Universität Stuttgart, Wintersemester 1999/2000

[5] Weiß, F.: „Funkkanalidentifikation mit digitalen Rundfunksignalen“, Kleinheubacher Tagung, 1996

[6] Weiß, F.; Speidel, J.: „Analysis and Modelling of Mobile Terrestrial Networks with COFDM“, Frequenz 1-2, 1998, S. 2 – 10

[7] Speidel, J.: „A Terminal for Transmission of Full-Motion Pictures and Graphics, High Quality Speech and Data with 2 Mbit/s“, AT&T and Philips, Trends in Telecommunications, Band 2, Nr. 1, 1986, S. 13 – 27

[8] ETSI-Standards ETS 300 421 (DVB-Satellite, 1994), ETS 300 429 (DVB-Cable, 1994), ETS 300 744 (DVB-Terrestrial, 1996)

[9] Sostawa, B.; Speidel, J.: „Investigations on Bit Error Performance for Video Over DAB“, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 44, No. 4, Dec. 1998, pp. 445 – 448

[10] Sanzi, F.; Speidel, J.: „An Adaptive Two-dimensional Channel Estimator for Wireless OFDM with Application to Mobile DVB-T“; IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 46, No. 2, June 2000, pp. 128-133

[11] Berrou, C. et al.: „Near Shannon-Limit Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes“; Proc. IEEE Conf. on Communications (ICC), 1993, pp. 1064-1070

[12] ten Brink, S.: „Convergence of Iterative Decoding“, IEE Electronics Letters, Vol. 35, No. 10, May 1999, pp. 806 – 808

[13] ten Brink, S.: „Rate one-half code for approaching the Shannon Limit by 0.1 dB“; IEE Electronics Letters, Vol. 36, No. 15, July 2000, pp. 1293-1294

[14] ten Brink, S.; Speidel, J.; Yan, R. H.: „Iterative demapping and decoding for multilevel modulation“, Proc. IEEE Conference on Global Communications (GLOBECOM), Sydney, Australia, Nov. 1998, pp. 579 – 584

[15] ten Brink, S.: „Iterative Decoding for Multicode CDMA“, Proceedings of IEEE International Conference on Vehicular Technology, Houston, USA, May 1999, pp. 1876 – 1880

[16] Schur, R.; Speidel, J.: „Reduction of Guard Interval by Impulse Compression for DMT Modulation on Twisted Pair Cables“; IEEE Conf. on Global Communications (GLOBECOM), San Francisco, Nov. 2000 (angenommen zum Vortrag)

[17] Brendle, P.; Speidel, J.: „Upgrade of Coaxial CATV Networks for Upstream High Speed Digital Communication“, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 44, No. 3, Sept. 1998, pp. 353 – 362

[18] Pfletschinger, S.: „Simulation der Rückkanalübertragung in Kabelfernsehrnetzen“; Vortrag FMS-Projekttag bei Alcatel Stuttgart, Febr. 2000

[19] Speidel, J.; Swanenburg, T.; Tamm, H.: „New Fiber Network in the Local Loop for Telecommunication and TV-Distribution“, Philips Telecommunications Review, Sept. 1991

[20] Wannemacher, S.: „Praseodymium Doped Fiber Amplifier for Optical Amplification at 1300 nm“, IEEE Conference on Global Communications (GLOBECOM), London, 1996

[21] Speidel, J.; Wannemacher, S.: „Performance of a New Optical Fiber Amplifier with Reduced Pump Power for 1310 nm“, AEU International Journal of Elect. and Comm., 1997, pp. 148 – 154

[22] Wannemacher, S.; Bauer, G.: „Optimum Configuration for Cascaded Fibre Amplifiers in Attenuation Limited Transmission Systems“, IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. 16, No. 4, April 1998, S. 509 – 514

[23] Wenzel, D.; Speidel, J.: „A Digital IF-Modulator for Video and Associated Audio Signals“, Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), Vancouver, June 1999, pp. 1010 – 1016

[24] Bittel, A.; Braun, A.: Interne Berichte zum BMBF-Forschungsprojekt KOMNET, 1999/2000

[25] Speidel, J.: „Vergleich und Bewertung verschiedener Übertragungsverfahren für optische Teilnehmer-Zugangnetze“, Eingeladener Vortrag Professorientagung Bosch Telecom, Backnang, 1994

[26] Dischler, R.: „Optische Codemultiplexverfahren für den Teilnehmer-Anschlußbereich“; Vortrag FMS-Projekttag bei Alcatel Stuttgart, Febr. 2000

[27] Keck, W.; Speidel, J.: „Coding of Symbols and Forward Error Correction for Digital Broadcasting on Cable Systems“, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, No. 4, Nov. 1997, S. 1079 – 1089

[28] Keck, W.: „A Method for Robust Decoding of Error-prone MPEG-2 Video Bitstreams“, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 42, No. 3, Aug. 1996, S. 411 – 421

[29] Baum, E.; Speidel, J.: „A Novel Video Coding Scheme Using Adaptive Mesh Based Interpolation and Node Tracking“, IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing, Perth, Australia, June 2000

[30] Sostawa, B.: Interne Berichte zum Verbundforschungsprojekt „Information und Kommunikation im Automobil“ des Landes Baden-Württemberg, 1998-2000

[31] Sostawa, B.; Dannemann, T.; Speidel, J.: „DSP-based Transcoding of Digital Video Signals with MPEG-2 Format“; IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 46, No. 2, May 2000, pp. 358-362

Wechselwirkungen ■

Jahrbuch 2000 ■



Prof. Dr.-Ing. Joachim Speidel

Jahrgang 1947, studierte Elektrotechnik mit Schwerpunkt theoretische Nachrichtentechnik an der Universität Stuttgart. 1974 legte er die Diplomprüfung und 1980 die Promotion zum Dr.-Ing., beides mit Auszeichnung, ab. Von 1980 bis 1992 war er Mitarbeiter der Firma Philips Communications Systems (der heutigen Lucent Technologies). Nach dreijähriger Tätigkeit als Entwicklungsingenieur übernahm Joachim Speidel die Leitung einer von ihm aufgabauten Entwicklungsabteilung. 1987 wurde er Bereichsleiter und Prokurist. 1989 übernahm er als Direktor die Verantwortung für Forschung und Entwicklung sowie das Produktmanagement. Seine Arbeitsgebiete umfaßten die optischen und elektrischen Netze für Fernseh- und Tonrundfunk, die Videocodierung, das ISDN sowie die Multimedia-Zugangsnetze. Seine Tätigkeiten führten ihn nach Japan, Taiwan und in die USA. Im Herbst 1992 wurde Joachim Speidel als ordentlicher Professor und Leiter des Instituts für Nachrichtenübertragung an die Universität Stuttgart berufen. Seine Lehr- und Forschungsschwerpunkte sind die Übertragung multimedialer Signale in optischen, elek-

trischen und mobilen Kommunikationsnetzen sowie die Codierung und Modulation. Er besitzt eine größere Zahl erteilter Patente. Einige werden als internationale Standards weltweit eingesetzt, beispielsweise ITU H.120 oder H.261/263. Joachim Speidel ist Mitglied verschiedener nationaler und internationaler Fachorganisationen. Er war unter anderem Vorsitzender der Fachgruppe Digitale Bildcodierung und Vorsitzender der Fachgruppe Optische Teilnehmerzugangsnetze der ITG/VDE. Prof. Speidel ist Vorsitzender des Forschungsverbunds Medientechnik Südwest (FMS) der Länder Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. Er ist wissenschaftlicher Gutachter für Forschungsprojekte und wurde in den wissenschaftlich-technischen Beirat verschiedener Firmen berufen, zum Beispiel beim Vorstand der Deutschen Telekom AG.