

Physik und Kommunikation

Industrietag des Ausschusses Industrie und Wirtschaft auf der DPG-Frühjahrstagung
in Dresden

Rainer Scharf

An moderne Kommunikationssysteme werden immer höhere Anforderungen gestellt. Ständig wachsende Datenmengen sollen möglichst überall und unverzüglich verfügbar sein. Dafür gilt es, die technischen Voraussetzungen, die Software und die Hardware, immer weiterzuentwickeln. Physikalische Know-how spielt dabei eine entscheidende Rolle. Der Ausschuss Industrie und Wirtschaft (AIW) in der DPG hat den Industrietag auf der diesjährigen DPG-Frühjahrstagung in Dresden dem Thema „Kommunikation“ gewidmet. Dietmar Theis von der Siemens AG stellte das vielseitige Programm zusammen, das von der optischen Datenverbindung und dem schnellen Internetzugang bis zur digitalen Audiotechnik der Zukunft reichte. Man konnte etwas über die Rolle von UV-Lasern in der modernen Informationsgesellschaft und über Bilderkennung ohne Software erfahren. Auch Anwendungen wie das mobile Bezahlen und die Ferndiagnose von Kraftfahrzeugen wurden vorgestellt. Schließlich gab ein Vortrag über Quantenkryptographie einen Ausblick auf die abhörsichere Kommunikation der Zukunft.

Von xDSL zum Kommunikationsportal

Heutzutage ist ein schneller Internetzugang selbstverständlich geworden. Hielt 1997 das ISDN-Modem mit 65 kbit/s noch den Geschwindigkeitsrekord, so sind inzwischen mit ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) bis zu 8 Mbit/s und mit VDSL (Very High Bitrate DSL) sogar 50 Mbit/s möglich. Jürgen Rebel von der Infineon AG in München gab einen Überblick über die DSL-Techniken und beschrieb, wie sie Einzug in das Zuhause halten werden. Die parallele Übertragung von Sprache und Daten durch die Telefonkabel aus Kupfer wurde möglich, da die klassischen Telefondienste nur die Frequenzen unterhalb 20 kHz benötigen. Die darüber liegenden Frequenzen bis 1 MHz oder sogar bis 30 MHz werden für ADSL bzw. VDSL genutzt.

Die Verbreitung der DSL-Technik kommt langsam in Schwung. Im Jahr 2000 gab es weltweit rund eine Milliarde analoge Telefonanschlüsse über Kupferleitungen, von denen weniger als 1 % mit DSL ausgerüstet waren. Zwei Jahre später war der DSL-Anteil schon auf 3,6 % gestiegen. Für 2015 wird ein Anteil von mehr als 30 % erwartet. Vorreiter in dieser Entwicklung sind Südkorea, Taiwan und Hongkong, in denen schon 26 %, 11 % bzw. 10 % aller Anschlüsse mit DSL ausgerüstet sind.

Infineon entwickelt derzeit ein integriertes Kommunikationsportal, das den xDSL-Anschluss mit einem drahtlosen Heimnetzwerk verbindet, an das sich Computer und verschiedene Geräte der Unterhaltungselektronik anschließen lassen. Außerdem können über das Portal analoge und ISDN-Telefone betrieben werden. Doch was macht man mit all den vielen Daten, die einem ein xDSL-Anschluss ins Haus liefert? An erster Stelle steht die Unterhaltung: digitales Fernsehen, Video und Music on Demand, Digitalkamera, Camcorder und Spiele. Dann kommt das Home Office, das z. B. über ein Virtual Private Network (VPN) mit dem Arbeitsplatz in der Firma verbunden ist.

Hardware für optische Verbindungen

Die dabei anfallenden großen Datenmengen werden durch Glasfaserkabel auf die Reise geschickt, die heute für Übertragungsraten von 10 bis 40 Gbit/s ausgelegt sind – pro Übertragungskanal!¹⁾ Kabel mit 200 und mehr Kanälen können somit 10 Tbit/s übertragen. Das entspricht dem Informationsgehalt von 2000 CDs. Um die enormen Datenmengen zu verarbeiten und in optische Signale umzuwandeln, hat die Industrie äußerst leistungsfähige Geräte entwickelt, wie Karl Joachim Ebeling von Infineon berichtete.

Optische Modulatoren, die mit Laserdioden integriert sind, wandeln die elektrischen Signale in optische um. Dabei setzt man Distributed Feedback (DFB) Laserdioden ein,



Abb. 1: Ein Ethernet-Transponder für die optische Datenübertragung. (Quelle: Infineon Technologies)

bei denen ein waschbrettartiges Beugungsgitter unter der laseraktiven Schicht sitzt, das die abgestrahlten Lichtwellenlängen festlegt. Durch direkte elektrische Modulation der Laserdioden lassen sich aber nur Frequenzen bis 10 GHz erreichen. Deshalb schickt man das Licht der Laserdiode durch einen Elektroabsorptionsmodulator (EAM), dessen Lichtabsorptionsfähigkeit elektrisch verändert werden kann. Ein von Ebeling vorgestelltes Gerät, in dem eine InGaAsP-DFB-Laserdiode mit einem EAM integriert wurde, kann ein 25-GHz-Signal auf Infrarotlicht modulieren.

Um optische Information in viele Kanäle gleichzeitig einzuspeisen, verwendet man Arrays von Laserdioden oder vertikal emittierenden Halbleiterlasern (VCSEL), die direkt oder über EAMs moduliert werden. Zur elektrischen Ansteuerung und Datenaufbereitung dienen schnelle Treiberschaltungen und Multiplexer. Mit CMOS-Höchstfrequenzschaltkreisen werden heute Datenraten von 40 Gbit/s erreicht. Ein solches Array aus zwölf VCSEL hat Infineon zusammen mit internationalen Partnern für die optische Datenübertragung entwickelt. Darauf baut ein etwa streichholzschachtelgroßer Ethernet-Transponder für 10 Gbit/s auf (Abb. 1).

Kurze Wellenlängen

Mit Laserlicht kann man aber nicht nur Informationen übermitteln, es spielt auch bei vielen Ferti-

1) s. Physik Journal, April 2003, S. 33

gungsprozessen in der Halbleiterindustrie eine wichtige Rolle. Mit den kurzen Wellenlängen von Excimerlasern lassen sich sehr kleine Strukturen mit hoher Präzision herstellen.²⁾ Die hohe Photonenenergie dieser Laser nutzt man bei der Materialbearbeitung, z. B. der Ablation. Rainer Pätzelt von der Lambda Physik AG in Göttingen gab einen Überblick über Funktion und Einsatz von Excimerlasern.

Excimer („Excited Dimer“) Laser arbeiteten ursprünglich mit Edelgasdimeren wie Xe₂^{*}. Heutige Excimerlaser nutzen hingegen angeregte Edelgas-Halogen-Komplexe. Da diese Komplexe keinen stabilen elektronischen Grundzustand besitzen, lässt sich die für den Laserprozess nötige Besetzungsinversion leicht erreichen. Excimerlaser arbeiten deshalb sehr effektiv. Ein Gemisch aus einem Edelgas (Ar, Kr, Xe) und einem Halogen (F, Cl) strömt dazu auf breiter Front zwischen zwei schienenförmigen Elektroden hindurch. Eine Gasentladung regt das Gasgemisch zum Leuchten an.

Excimerlaser setzt man vor allem bei der Herstellung von integrierten Schaltkreisen ein, bisher überwiegend KrF-Laser mit einer Wellenlänge von 248 nm. Doch in zunehmendem Maße kommen ArF-Laser mit 193 nm und neuerdings auch Fluorinlaser mit 157 nm zum Einsatz. Da der Halbleitermarkt in den letzten Jahren geschrumpft ist, ging der Absatz an Belichtern oder „Steppern“ stark zurück. Rainer Pätzelt bescheinigte den neuen kurzwelligen Lasern jedoch ein großes Wachstumspotenzial in der lithographischen Chip-Fertigung. Mit Lasern, die im extremen UV-Bereich bei 13,5 nm arbeiten, sollen sogar Strukturen unterhalb von 50 nm möglich werden.

Darüber hinaus lassen sich mit Excimerlasern auch die Übertragungseigenschaften optischer Fasern verbessern. Dazu dotiert man zunächst den Faserkern mit Germanium und bestrahlt ihn mit UV-Licht. Dies führt zu einer dauerhaften, räumlich periodischen Modulation des Brechungsindex des Faserkerns. Mit diesem Bragg-Gitter lässt sich Licht bestimmter Wellenlängen selektieren. Die Fasern werden dadurch zu Spiegeln, Filtern oder Sensoren für einen gewünschten Wellenlängenbereich.

Digitale Audiotechnik der Zukunft

Mit den besten Glasfasern lassen sich durch Datenkompression noch größere Datenmengen übertragen. Weltweit bekannt ist das Audiokompressionsverfahren MP3, das vor zehn Jahren am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) in Erlangen entwickelt wurde. Über die digitale Audiotechnik der Zukunft berichtete Bernhard Grill vom IIS. Um Sprache monophon zu übertragen, reicht eine Datenrate von 64 kbit/s. Für 2-Kanal-Stereo liegt die Datenrate bei 1,4 MBit/s oder 640 MByte pro Stunde. Bei der Wellenfeldsynthese, einem „akustischen Hologramm“ mit 64 Kanälen, muss man 147,5 MBit/s übertragen und kommt somit auf stolze 66,4 GByte/h.

Um die Übertragung von akustischer Information zu beschleunigen, wurden Kompressionsverfahren entwickelt, die die Eigenschaften des Empfängers berücksichtigen und das menschliche Gehör nach den Erkenntnissen der Psychoakustik modellieren. Für unser Gehör bleibt vieles von einem akustischen Signal unhörbar. So gibt es z. B. zeitliche Verdeckungseffekte: Ein sehr lautes Geräusch betäubt den Hörer für etwa eine Zehntelsekunde, die unmittelbar folgenden Geräusche muss man somit nicht übertragen.

Interessanterweise kommt es auch unmittelbar vor einem lauten Geräusch zu einem Verdeckungseffekt, ebenso in der Nähe von sehr „lauten“ Frequenzen. Unter Ausnutzung der Eigenschaften des menschlichen Gehörs lässt sich ein Signal komprimiert in Stereoqualität mit 25 kbit/s übertragen.

Wie Grill berichtete, soll die akustische „Wellenfeldsynthese“ den Kinoton verbessern. Im Kinosaal kann man nur auf wenigen Plätzen einen optimalen Klang genießen. Mit einer Anordnung von Lautsprechern lässt sich indes ein akustisches Hologramm erzeugen, das den Zuhörer auf allen Plätzen im Raum neuartige Klangerlebnisse eröffnet. So lassen sich einzelne Klangquellen nach Richtung, Entfernung und Ausdehnung unterscheiden, wie z. B. die Instrumente in einem Orchester. Doppler-Effekte bei bewegten Objekten sowie Soundeffekte im Raum werden hörbar. Bei diesem Verfahren fallen riesige Datenmengen an: für zwei Stunden Ton mit 64 Kanälen insgesamt 42 Gbyte an Daten. Eine Kompression ist daher unabdingbar.

Informationsverarbeitung ohne Software

Riesige Datenmengen muss man auch in der Bildverarbeitung und Bilderkennung bewältigen. Trotz intensiver Forschung sind zuverlässig arbeitende Bilderkennungssysteme noch immer ein Wunschtraum, gab Ulrich Ramacher von Infineon zu bedenken. Vor allem die Autoindustrie möchte mit optischen Assistenzsystemen den Fahrer unterstützen, etwa um den toten Winkel zu überwachen und den Fahrer vor einem Überholmanöver zu warnen, wenn sich von hinten ein Auto nähert. Andere Assistenten könnten prüfen, ob ein Hindernis die Fahrbahn blockiert.

Statt für jeden Zweck ein spezielles Gerät zu bauen, das die optische Information verarbeitet, schlug Ramacher vor, vom menschlichen Gehirn zu lernen und universelle Bilderkennungssysteme zu entwickeln. Wenn pulsende Neurone und adaptive Synapsen die funktionspezifisch vernetzten Grundelemente dieser Systeme sind, so stelle sich die Frage, wie damit Informationen dargestellt und verarbeitet werden können. Ramacher präsentierte ein neuronales System mit adaptiven Verbindungen zwischen den Neuronen, das ungewöhnliche Eigenschaften aufweist. Erhält es zu einer bestimmten Zeit einen Input, so liefert es nicht etwa zu einer bestimmten Zeit einen klaren Output. Vielmehr verarbeitet es den Input zu einem stochastischen Signal mit einer charakteristischen Entropie.

Die Muster im Input führen zu einer Selbstorganisation der neuronalen Erregungsmuster. An verschiedenen Inputmustern wurde die Leistungsfähigkeit des Systems getestet. So wurden dem System Bilder von komplexen Szenarien vorgelegt, in denen es dann die Konturlinien „erkannte“. Fanden diese Experimente bisher noch im Computer statt, so entwickeln Ramacher und seine Kollegen inzwischen einen Testchip mit 128 × 128 Neuronen, der einzelne Flecken vor einem Hintergrund erkennen kann. Außerdem ist ein Chip geplant, bei dem sich unter einer optischen Detektorebene weitere Schichten befinden, die den optischen Input schrittweise verarbeiten. Das Ziel sei es, einem Bild automatisch charakteristische Eigenschaften zuzuordnen zu können – gewissermaßen eine Informationsverarbeitung ohne Software.

2) s. Physik Journal, Juni 2005, S. 53

Ambient Intelligence in Industry

Doch auch herkömmliche Computer können neuartige Aufgaben bewältigen. In dem Maße wie sie immer kleiner und leistungsfähiger werden, kann man bislang noch „dumme“ Geräte mit Computerleistung ausstatten. Verbindet man diese Geräte drahtlos untereinander und mit dem Internet, dann eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten. Die Geräte stimmen ihr Verhalten aufeinander ab, kein Gegenstand muss mehr langwierig gesucht werden, alles steht sofort zur Verfügung. Diese unter dem Schlagwort „Pervasive Computing“ zusammengefasste Zukunftsvision ist auch für



Abb. 2: Zwischen Zugspitze (Vordergrund) und Karwendelspitze (Entfernung 23,4 km) haben Münchner Physiker um Harald Weinfurter eine abhörsichere optische Richtfunkstrecke errichtet. Der grüne Punkt rührt vom Richtlaser her. (Quelle: C. Kurtsiefer)

die Industrie von großem Interesse, wie Björn Schiemann von der Siemens AG, München, am Beispiel der Wartung von Industrieanlagen zeigte: „Intelligente“ Maschinen in der Fabrik der Zukunft erkennen einen Störfall selbstständig und senden daraufhin eine Nachricht an ein Service Center. Dort wird der Status der Anlage abgefragt und eine erste Diagnose erstellt. Lässt sich der Fehler nicht aus der Ferne beheben, alarmiert man einen Wartungstechniker und leitet sein mit einem Navigationssystem ausgerüstetes Fahrzeug zur fehlerhaften Maschine in der Fabrik.

Ähnliche mobile Dienste wären auch im Büro, im Verkehr, im Gesundheitswesen und in der Freizeit nützlich. Die dafür nötigen technischen Komponenten gibt es zwar schon, doch die erforderlichen Verbindungen zwischen ihnen sind bisher kaum vorhanden. Es sei eine große Herausforderung, eine flexible Systemarchitektur zu entwickeln, mit der man die rasch anwachsende Komplexität eines solchen Systems in den Griff bekommt, betonte Schiemann.

Ferndiagnose und Fernwartung

Schon jetzt haben mobile Kommunikationssysteme das Autofahren komfortabler und sicherer gemacht, sei es durch Notfall- oder Pannruf, Verkehrsinformationen oder Navigationsdienste. Darüber hinaus entwickelt die Industrie neue Telematikdienste, die über das Mobilfunknetz auf bestimmte Fahrzeugkomponenten zugreifen können, wie Thomas Sonnenrein von der Robert Bosch GmbH berichtete. Über eine Fernabfrage kann die Werkstatt wichtige Betriebsdaten wie z. B. den Öldruck und die Batteriespannung auslesen. Nötigenfalls kann die Werkstatt dann dem Fahrer eine Empfehlung oder einen Warnhinweis geben. So lassen sich frühzeitig Verschleiß und Fehler erkennen. Zudem erspart man sich überflüssige Inspektionen.

Ein Werkstattbesuch lässt sich ebenfalls durch Fernwartung vermeiden. Mit ihr kann die Werkstatt bestimmte Betriebsparameter des Fahrzeugs über das Mobilfunknetz verändern. Darüber hinaus kann sie die Fahrzeug-Software aus der Ferne aktualisieren oder Fehler in Softwarekomponenten korrigieren. Bleibt das Fahrzeug doch einmal mit einer Panne liegen, so kann man durch eine Ferndiagnose den Fehler finden, ohne dass das Auto in die Werkstatt geschleppt werden muss. Die Diagnosedaten werden dazu im Fahrzeug ausgelesen und an ein externes Ferndiagnosesystem übermittelt, das sie auswertet.

Aus der Ferne werden sich auch einige Komfortfunktionen des Autos mit Hilfe von WAP-fähigen Mobiltelefonen steuern lassen, etwa die Standheizung, die Klimaanlage, die Fahrzeugverriegelung oder die Alarmanlage. In all diesen Fällen wird per Mobiltelefon oder über das Internet eine Anfrage an eine Servicezentrale gerichtet, die zunächst die Autorisierung überprüft und dann den Befehl zur Fernsteuerung an das Fahrzeug weiterleitet.

Mobile Payment

Mit dem Handy wird man in Zukunft nicht nur die Standheizung im Auto fernbedienen, sondern z. B. auch das Benzin bezahlen können. Davon ist Manfred Männle von der Encorus Technologies GmbH in Stuttgart überzeugt. „Mobile Payment“ könnte schon bald der Kreditkarte Konkurrenz machen. Und so soll es funktionieren: Beim Ein-

kauf gibt der Kunde dem autorisierten Händler seine Mobiltelefonnummer. Der Händler schickt dem Kunden eine Kurzmitteilung (SMS) über den zu bezahlenden Betrag, die dieser bestätigt und durch Eingabe einer PIN autorisiert. Der Betrag wird dann mit der Telefonrechnung vom Konto des Kunden abgebucht.

In Europa möchten die vier großen Netzbetreiber Vodafone, T-Mobile, Orange und Telefónica Móviles die neue Zahlungsmethode einführen. Neben der Einfachheit des M-Payments soll vor allem die erhöhte Sicherheit für das neue Verfahren sprechen. Man schätzt, das beim Bezahlen mit Kreditkarte bis zu 10 % der Kosten für die Missbrauchsabsicherung anfallen. Das M-Payment soll sicherer und damit preiswerter werden als das Bezahlen mit Kreditkarte. Die sichere Verschlüsselung sensibler Daten ist dabei eine wichtige Voraussetzung.

Quantenkryptographie

Wieweit die Quantenphysik bei der Datenverschlüsselung helfen kann, erläuterte Harald Weinfurter von der Universität München. Die Sicherheit von quantenkryptographischen Kommunikationssystemen beruhe nicht auf Annahmen über die Vertraulichkeit von Kurieren oder die Leistungsfähigkeit der unbefugten Lauscher, sondern auf physikalischen Gesetzen, betonte er.

Inzwischen haben verschiedene Gruppen die quantenkryptographische Kommunikation mit Photonen praktisch durchgeführt. Weinfurter und seine Kollegen benutzen optischen Richtfunk (Wellenlänge 840 nm) und haben auf Anhöhe Übertragungsraten von über 1 kbit/s erreicht (Abb. 2), wobei 50–70 kbit/s durchaus möglich sind. Der optische Richtfunk eignet sich zum einen dazu, geheime Informationen im urbanen Bereich über einige Kilometer hinweg zu übertragen. Eine andere Anwendung besteht darin, die Information zunächst zu einem vorbeifliegenden, erdnahen Satelliten zu übertragen, der sie später beim Überflug an einen weit entfernten gelegenen Empfänger weitergibt.

Insgesamt hat der diesjährige Industrietag gezeigt, auf welch unterschiedliche und zum Teil überraschende Weise physikalische Erkenntnisse und Methoden die Entwicklung neuer Kommunikationstechnologien und Anwendungen entscheidend vorantreiben.