Volloptische Netze : die Zukunft des Information Superhighway : Teil 2 : Komponenten und Perspektiven volloptischer Netze

Autor(en): **Gipser, Thilo / Leuthold, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **87 (1996)**

Heft 19

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902363

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Im Teil 1 dieses Beitrages (Bull. SEV/VSE 17/96) wurde gezeigt, dass die Bewältigung der zukünftig zu erwartenden Datenströme auf dem Information Superhighway nur mit Hilfe photonischer und letztendlich volloptischer Netze möglich sein wird. Komponenten und Module für deren Aufbau sind heute erst zum Teil auf dem Markt erhältlich; entsprechende weltweite Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen dürften jedoch das Angebot rechtzeitig vervollständigen. Damit kommt eine Erweiterung der schon heute auf faseroptischer Übertragungstechnik basierenden Vernetzung zu volloptischen Netzen in Sichtweite.

Volloptische Netze – die Zukunft des Information Superhighway

Teil 2: Komponenten und Perspektiven volloptischer Netze

■ Thilo Gipser, Peter Leuthold

Komponenten und Module

Im folgenden werden die Grundbausteine volloptischer Netze kurz erläutert. Für ausführlichere Informationen sei auf [5] verwiesen.

Faser-Infrastruktur

Photonische Netze für Weitdistanzanwendungen erfordern ein ausgedehntes Glasfasernetz. Wie bereits erwähnt, wird die heute bestehende Infrastruktur in den nächsten Jahren massiv ausgebaut werden. Anbieter von Glasfasernetzen umfassen dabei nicht nur die nationalen und privaten Telekom-Gesellschaften, sondern auch die Betreiber von Fernsehverteilnetzen, Eisenbahngesellschaften, Energieversorgungsunternehmen usw.

Ein Glasfaserkabel enthält üblicherweise mehr als eine Faser. Es wurde bereits gezeigt, dass sich 2000 Fasern in einem einzigen Kabel mit einem Durchmesser von lediglich 44 mm unterbringen lassen. Heutige Entwicklungsanstrengungen gelten der Integration von über 4000 Fasern pro Kabel und der Realisierung von Stekkern, welche über 100 Fasern gleichzeitig miteinander zu verbinden vermögen. Zudem sinken die Kosten für Glasfasern stetig, und weil die Installationskosten die eigentlichen Kabelkosten übertreffen, werden auch künftige Glasfaserkabel tendenziell mehr Fasern als notwendig enthalten.

Faseroptische Verstärker

Die Entwicklung von Glasfaserverstärkern gegen Ende der 80er Jahre stellte den eigentlichen Auslöser für intensive Forschungen auf dem Gebiet volloptischer Übertragungstechnologien dar. Solche Verstärker mit erbiumdotierten Glasfasern (EDFA, erbium doped fiber amplifier) erlauben eine volloptische und simultane Verstärkung mehrerer Wellenlängen auf einer Bandbreite von rund 30 nm im dritten optischen Fenster mit hohen Verstärkungsfaktoren (bis rund 45 dB) und, im Unterschied zu Halbleiterverstärkern, mit nahezu verschwindendem Kanalübersprechen.

Den einfachen Aufbau dieser Verstärker zeigt Bild 7. Dem zu verstärkenden Signallicht wird im optischen Koppler ein starkes Pumplicht (mit einer Wellenlänge von beispielsweise 980 nm oder 1480 nm) überlagert. Letzteres bewirkt in der erbiumdotierten Faserstrecke eine Anregung der Er^{3+}-Ionen. Trifft nun ein ankommendes Signal-Photon mit einer Wellenlänge um 1550 nm auf eines dieser angeregten Er^{3+}-Ionen, so fällt letzteres unter Freigabe eines neuen, zusätzlichen Photons derselben Wellenlänge und Phase in den Ruhezustand zurück (stimulierte Emission). Auf diese Weise resultiert eine kräftige Verstärkung des Signallichtes. Der optische Isolator dient dabei der Unterbindung optischer Resonanzen.

Adresse der Autoren
Dr. *Thilo Gipser*, dipl. El.-Ing. ETH und Prof. Dr. *Peter Leuthold*, Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zentrum Sternwartstrasse 7, 8092 Zürich

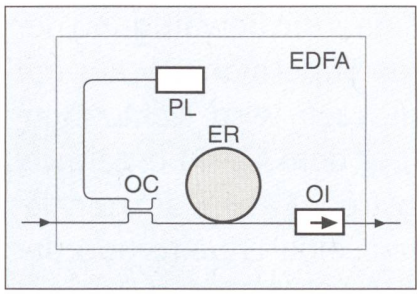

Bild 7 Aufbau von Glasfaserverstärkern

PL Pumplaser
OC optischer 2×2-Koppler
ER erbiumdotierte Faserstrecke
OI optischer Isolator

Geringe Rauschzahlen und polarisationsunabhängige Verstärkung sind weitere Vorteile dieser faseroptischen Komponente. Offene Fragen bestehen jedoch bei der Kaskadierung mehrerer EDFA, wobei unter anderem die Verschmälerung der verfügbaren Bandbreite (gain narrowing) sowie das nichtlineare Sättigungsverhalten besondere Massnahmen erfordern. Für den Wellenlängenbereich um 1,3 µm befinden sich auf praesodymiumdotierten Fluoridglasfasern basierende Faserverstärker in Entwicklung.

Passive optische Komponenten

a) Nicht-wellenlängenselektive Komponenten

Optische Koppler ermöglichen eine passive räumliche Zusammenführung oder Trennung von Wellenleitern. Das Licht wird dabei gemäss dem entsprechenden Koppelverhältnis auf die verschiedenen Ausgänge des Kopplers verteilt. Optische Koppler bestehen häufig aus miteinander verschmolzenen Fasern (Taperkoppler, Schmelzkoppler), seltener aus mikrooptischen Komponenten (Prismen-, Spiegelkoppler). Sehr gebräuchlich sind 2×2-Koppler oder N×N-Koppler (Sternkoppler).

Optische Isolatoren entsprechen in ihrer Funktion Dioden im elektrischen Bereich, das heisst, sie lassen Licht nur in einer Richtung passieren. Rückflussdämpfungen in der Grössenordnung von über 70 dB sind heute erreichbar.

b) Wellenlängenselektive Komponenten

Wellenlängenmultiplexer und -demultiplexer ermöglichen eine passive spektrale Zusammenführung oder Trennung verschiedener Wellenlängen. Den Aufbau eines WDM-Multiplexers zeigt Bild 8. Das Licht fällt auf ein optisches Gitter (grating), welches unterschiedliche Wellenlängen mit unterschiedlichen Ausfallswinkeln reflektiert. Dies ermöglicht eine räumliche Trennung der spektralen Komponenten und die Einkopplung in unterschiedliche Wellenleiter.

Optische Filter lassen das Licht in einem begrenzten Wellenlängenbereich passieren. Entsprechend ihrem Aufbau unterscheidet man Grating-, Fabry-Perot- und Interferenz-Filter.

Aktive optische Komponenten

a) Räumliche optische Schalter

Räumliche optische Schalter (space switches) ermöglichen eine aktive räumliche Zusammenführung oder Trennung von Wellenleitern. Sie lassen sich entweder optomechanisch oder elektrooptisch realisieren. Erstere sind gekennzeichnet durch geringe optische Verluste und vernachlässigbares Nebensprechen, weisen jedoch lange Schaltzeiten auf (im Millisekundenbereich). Elektrooptische Schalter dagegen ermöglichen kurze Schaltzeiten (Subnanosekundenbereich), haben jedoch neben hohen optischen Verlusten auch ein grosses Nebensprechen. Elektrooptische Schalter bis zur Grösse 16×16 mit einer Schaltgeschwindigkeit von 2,5 GBit/s und einer optischen Dämpfung von 13,4 dB wurden als Prototypen realisiert; Schalter der Grösse 100×100 sind für die Zukunft zu erwarten. Die Technologie zur Herstellung elektrooptischer Schalter mit kleinen optischen Verlusten und geringem Kanalübersprechen befindet sich heute jedoch noch im Laborstadium. Räumliche optische Schalter stellen eine Schlüsselkomponente in volloptischen Netzen dar und finden daher in vielen Netzkonzepten Verwendung.

b) Wellenlängenumsetzer

Wellenlängenumsetzer (wavelength converter) ermöglichen den Übergang von Information von einer Wellenlänge auf eine andere. Am einfachsten lässt sich ein elektrooptischer Wellenlängenumsetzer realisieren. Dabei wird das auf einer bestimmten Wellenlänge einfallende Signal detektiert und damit Laserlicht bei einer anderen Emissionswellenlänge moduliert. Vorschläge für volloptische Wellenlängenumsetzer beruhen auf bistabilen Lasern oder der Verwendung von Mach-Zehnder-Interferometern; der praktische Einsatz solcher volloptischer Komponenten liegt allerdings noch in weiter Ferne. Grundsätzliche Probleme bestehen hinsichtlich Kaskadierbarkeit, zulässiger Bereiche für die Eingangs- und Ausgangswellenlängen, Empfindlichkeit und erforderlicher Signalleistung sowie bezüglich zulässiger Frequenztoleranzen des Eingangssignals.

c) Optische Speicher

Statische, aus integrierbaren optischen logischen Gattern aufgebaute Speicher stehen heute noch nicht zur Verfügung. Deshalb muss eine Speicherung optischer Signalpakete dynamisch erfolgen. Dies kann mittels Verzögerungsleitungen oder optischen Speicherringen geschehen. In der Anordnung gemäss Bild 9a mit *b* Verzögerungsleitungen lassen sich die Pakete wahlweise direkt weiterlenken oder in jeder Verzögerungsleitung um jeweils ein Zeitintervall verzögern. Spätestens nach *b* Zeitintervallen muss ein Paket ausgelesen worden sein; andernfalls geht es verloren.

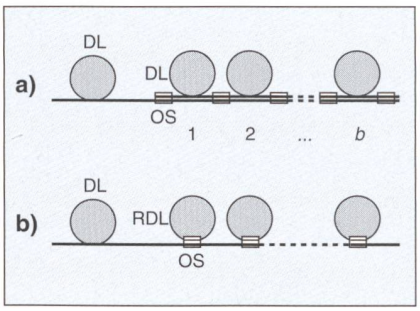

Bild 9 Optische Paketspeicherung
a) in Verzögerungsleitungen
b) in optischen Speicherringen

DL Verzögerungsleitung
RDL optischer Speicherring
OS optischer Schalter der Grösse 2×2
b Anzahl Puffer

Bild 9b zeigt eine weitere Anordnung, bestehend aus *b* ringförmig in sich geschlossenen Verzögerungsleitungen. Ein Paket kann in einem einzigen Speicherring während mehrerer Zeitintervalle verzögert werden, wobei die Umlaufzeit genau einem Intervall entspricht. Optische Verluste im Ringspeicher müssen mittels optischer Verstärker kompensiert werden. Sind alle Speicherringe besetzt und kann ein neu ankommendes Paket nicht direkt durchgeschaltet werden, so geht es verloren.

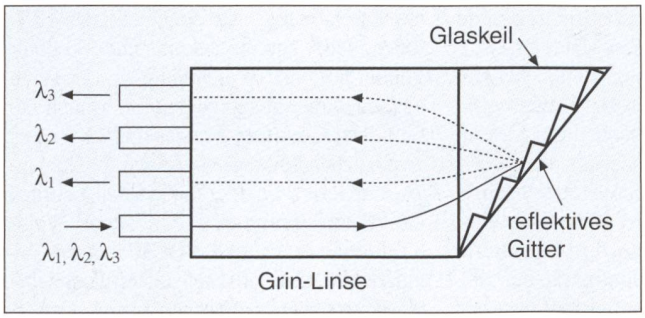

Bild 8 Optische Wellenlängendemultiplexierung am Gitter

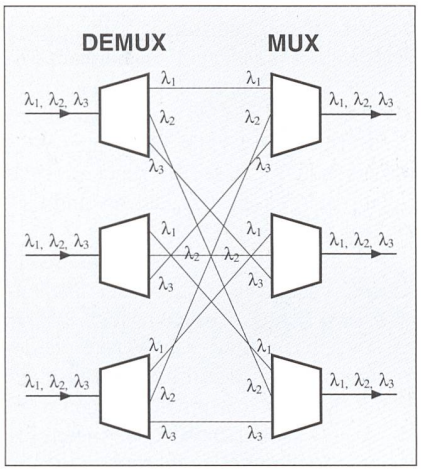

Bild 10 Konfiguration zur passiven Verkehrslenkung
MUX WDM-Multiplexer
DEMUX WDM-Demultiplexer

d) Optische Sender und Empfänger

Die Herstellung von optischen Sendern und Empfängern, welche auf festen Wellenlängen arbeiten, bereitet heutzutage keine grundsätzlichen technologischen Schwierigkeiten mehr. Forschungsschwerpunkte bestehen jedoch im Bereich von Laser- und Empfängerzeilen (laser arrays) sowie im Bereich von durchstimmbaren Lasern (tunable laser).

Grundkonzepte der volloptischen Datenübertragung

Wellenlängenmultiplexierung (WDM)

Die Wellenlängenmultiplexierung ermöglicht die simultane Übertragung verschiedener Informationen in unterschiedlichen Wellenlängenkanälen über denselben Wellenleiter. Die nutzbare Übertragungskapazität einer Faser lässt sich dadurch um die Anzahl der verwendeten Wellenlängen vervielfachen.

Wellenlängen-Wiederverwendung

Die Anzahl der (heute) nutzbaren Wellenlängen in photonischen Netzen ist aus technologischen Gründen beschränkt. Die Ursache hierfür liegt hauptsächlich bei den bereits erwähnten EDFA, welche eine volloptische Verstärkung ausschliesslich im 1,5-µm-Bereich (drittes optisches Fenster) und nur innerhalb einer Bandbreite von rund 30 nm ermöglichen. Diese zur Verfügung stehende Bandbreite schränkt bereits stark ein: Bei einem Kanalabstand von 1 nm könnten mit dem volloptischen Netz gemäss Bild 3, ausgerüstet mit faseroptischen Verstärkern, lediglich rund 30 Knoten (oder Benützer) miteinander verbunden werden. Eine zusätzliche Verringerung der zur Verfügung stehenden Übertragungsbandbreite entsteht durch die Kaskadierung mehrerer EDFA (erbium doped fiber amplifier, gain narrowing).

Um dieser begrenzten Anzahl verfügbarer Wellenlängen Rechnung zu tragen, bedient man sich in volloptischen Netzen der Wellenlängen-Wiederverwendung (wavelength reuse). Darunter versteht man die räumlich getrennte, mehrfache Verwendung einer bestimmten Wellenlänge in einem Netz. Die räumliche Trennung lässt sich durch die Verwendung mehrerer Fasern eines Faserkabels (wobei in jeder Faser eine bestimmte Wellenlänge höchstens einmal vorkommen darf) oder durch den Einsatz derselben Wellenlängen in verschiedenen räumlich getrennten Unternetzen (subnets) erreichen.

Passive Verkehrslenkung

Eine passive Verkehrslenkung in photonischen Netzen lässt sich durch den Einsatz rein passiver optischer Komponenten bewerkstelligen. Der individuelle Weg einer Information durch das Netz ist dann durch die Wellenlänge festgelegt (wavelength routing). Die Wellenlängen-Wiederverwendung erlaubt zudem eine markante Reduktion der zur Verbindung einer gegebenen Anzahl Knoten notwendigen Wellenlängen. Für die vollständige Verbindung von F Eingangsfasern mit F Ausgangsfasern mittels passiver Verkehrslenkung und ohne Wellenlängen-Wiederverwendung wären $N=F^2$ Wellenlängen notwendig. Bild 10 zeigt die Konfiguration eines Netzknotens, bestehend aus passiven optischen Komponenten (WDM-Multiplexern und -Demultiplexern). Dieser sogenannte passive WDM-Crossconnect ermöglicht einen Übergang ohne Wellenlängenumsetzung von F verschiedenen Eingangsfasern mit je $N=F$ Wellenlängen auf F verschiedenen Ausgangsfasern. Die Wellenlänge der Information bestimmt dabei den Weg durch den Crossconnect, und durch Wahl der entsprechenden Wellenlänge lassen sich von einem beliebigen Eingang alle Ausgangsfasern erreichen.

Aktive Verkehrslenkung

Der Einbezug aktiver optischer Komponenten in den Netzknoten vergrössert die Möglichkeiten in der Verkehrslenkung massgeblich. Dies wird in Bild 11 verdeutlicht. Die gezeigte Knotenstruktur besteht nicht nur aus passiven wellenlängenselektiven Komponenten, sondern auch aus N optischen Schaltern der Grösse $F \times F$. Diese Konfiguration ermöglicht nun den Übergang von einem beliebigen der N Wellenlängenkanäle in den F Eingangsfasern auf eine der F Ausgangsfasern. Die optischen Schalter arbeiten auf unterschiedlichen Wellenlängen, und eine Wel-

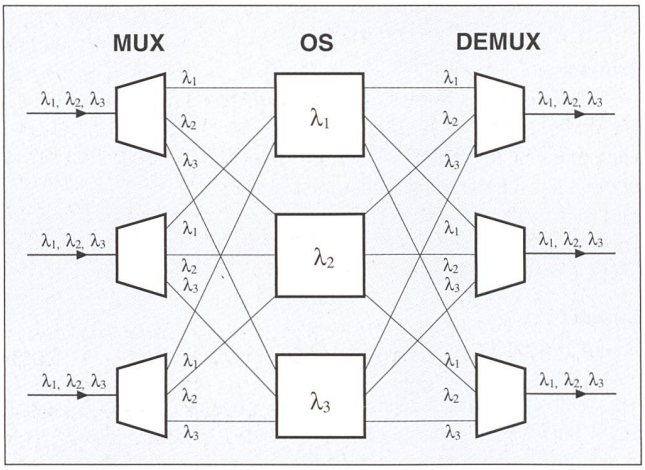

Bild 11 Konfiguration zur aktiven Verkehrslenkung mit räumlichem Schalten

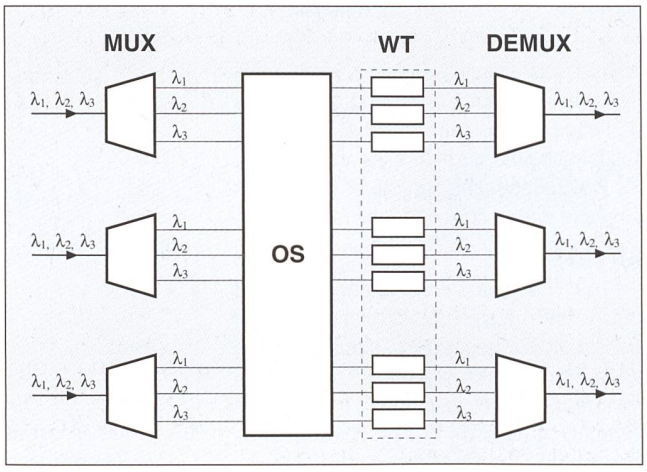

Bild 12 Konfiguration zur aktiven Verkehrslenkung mit räumlichem Schalten und Wellenlängenumsetzung
WT Wellenlängenumsetzer

lenlängenumsetzung ist auch in dieser Konfiguration noch nicht erforderlich.

Den allgemeinsten Aufbau eines Netzknotens zeigt Bild 12. Die F Eingangsfasern mit je N Wellenlängen werden über einen optischen Schalter der Grösse $NF \times NF$ sowie NF nachgeschaltete Wellenlängenumsetzer mit den F Ausgangsfasern verbunden. Die Wellenlängenumsetzer ändern jeweils eine beliebige Eingangswellenlänge in eine feste, unveränderliche Ausgangswellenlänge. Es ist damit möglich, Informationen von einem beliebigen Wellenlängenkanal jeder Eingangsfaser auf einen beliebigen Wellenlängenkanal jeder Ausgangsfaser zu schalten. Die höhere Flexibilität des Knotens muss allerdings mit einer grösseren Knotenkomplexität (Anzahl, Art der Komponenten) erkauft werden.

Neuartige Konzepte volloptischer Netze

Neben ersten einfachen, bereits realisierten volloptischen Single-hop-Netzen besteht eine grössere Anzahl Vorschläge für volloptische Netzarchitekturen. Dazu gehören einerseits volloptische Netze mit Leitungsvermittlung und andererseits volloptische Netze mit Paketvermittlung. Drei Vertreter der genannten Kategorien sollen im folgenden vorgestellt werden.

Gridconnect

Das Single-hop-Netz Gridconnect [6] basiert auf der Vollvermaschung von M Knoten einer regulären virtuellen Gittertopologie; es bestehen somit transparente Pfade zwischen allen Netzknoten. Jeder Knoten enthält einen passiven $\sqrt{M} \times \sqrt{M}$-WDM-Crossconnect gemäss Bild 10.

Blazenet

Das Blazenet [7] ist ein volloptisches Weitverkehrsnetz mit beliebiger Topologie und Paketvermittlung. Jeweils zwei Knoten dieses Netzes werden durch direkte Wellenlängenkanäle miteinander verbunden, welche zu logischen Ringen zusammengeschaltet sind. Diese Ringe dienen als optische Puffer, falls Pakete in den Knoten nicht direkt weitergeleitet werden können. Zusätzliche lokale optische Puffer in den Netzknoten sind deshalb nicht erforderlich. Die Paketkopferkennung erfolgt durch Auskopplung eines geringen Lichtanteils.

MATRIX

MATRIX (multi wavelength all-optical transparent information exchange) [8; 9] bezeichnet ein neuartiges Datenkommunikationsnetz hoher Kapazität mit Paketvermittlung, welches die volloptische Verbindung einer im Prinzip beliebig grossen Anzahl von Knoten sowohl mit einer geringen Anzahl Wellenlängen als auch mit Wellenlängenkontinuität (d. h. ohne Wellenlängenumsetzung) erlaubt. Das Multihop-Netz basiert auf einer regulären virtuellen Gittertopologie, welche sich einfach auf beliebige geographische Knotenverteilungen abbilden lässt.

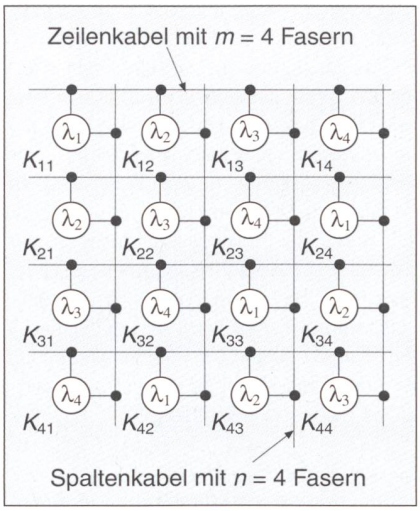

Bild 13 Aufbau einer 4×4-MATRIX
λ_1 charakteristische Wellenlänge (NIW)

Die Grundstruktur von MATRIX zeigt Bild 13. Glasfaserkabel verbinden $M = n \cdot m$ Netzknoten derart, dass sich eine aus n Zeilen und m Spalten bestehende virtuelle Gitterstruktur ergibt. Jedem Knoten wird aus einem Wellenlängensatz, bestehend aus $N = \max(n, m)$ Wellenlängen, eine Identifikationswellenlänge NIW (node identification wavelength) zugeordnet, wobei jede Wellenlänge im Netz wiederholt, aber nur einmal pro Zeile und einmal pro Spalte erscheinen darf (Wellenlängen-Wiederverwendung). Jeder Netzknoten erhält zudem eine Faser des Zeilen- und des Spaltenkabels zugewiesen.

Der Aufbau eines Netzknotens sowie dessen Zugang auf Zeilen- und Spaltenkabel lässt sich Bild 14 entnehmen. Lediglich diejenigen optischen Pakete, deren Wellenlänge der Identifikationswellenlänge des Knotens entspricht, können vom Zeilenkabel herkommend den Knoten erreichen. Nach der Paketerkennung erfolgt eine zeitliche Verzögerung der Pakete, welche der Ermittlung all jener neu angekommenen oder aus optischen Speichern abrufbaren Pakete dient, die im nächsten Zeitintervall den optischen Schalter passieren dürfen (contention resolution). Anschliessend werden die Pakete im optischen Eingangsspeicher zwischengespeichert oder direkt zu den Spaltenknoten durchgeschaltet.

Von den Spaltenkanälen herkommende Pakete lassen sich volloptisch zu den Zeilenkanälen lenken. Sie durchlaufen einen Wellenlängen-Demultiplexer und werden nach einer Verzögerungsstrecke mittels optischer Schalter auf die Zeilenkanäle gelenkt. Der Übergang von Spalten- zu Zeilenkanälen ist beispielsweise beim Auftreten von Netzstörungen von Bedeutung.

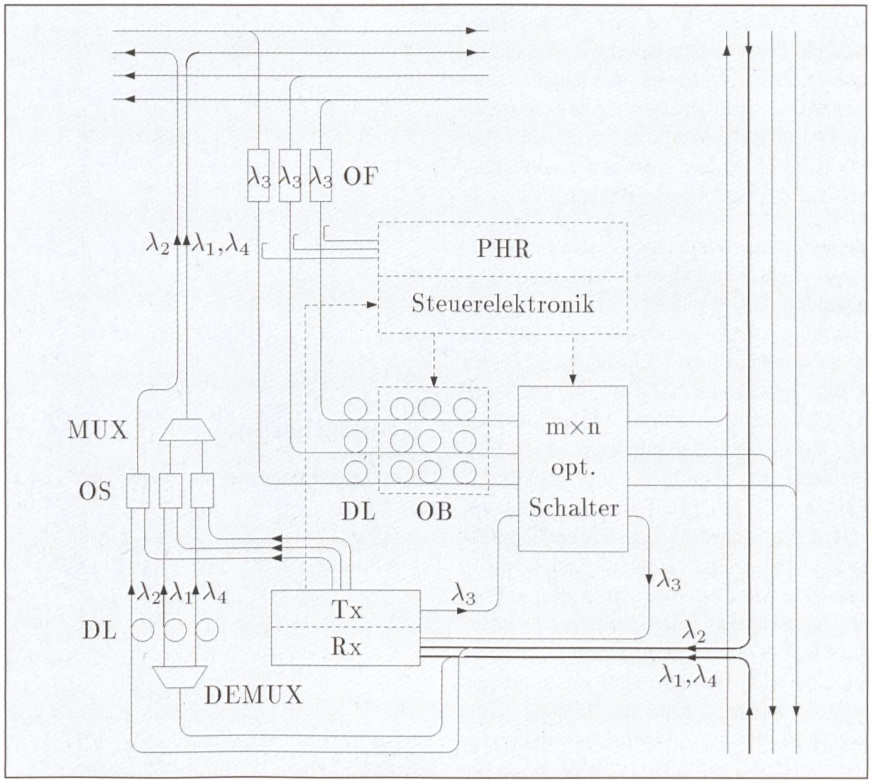

Bild 14 Knoten k_{22} eines 4×4-Netzes
OB optische Puffer OF optische Filter

Die Verkehrslenkung von optischen Paketen im Netz erfolgt zweistufig zuerst via Zeilenkanäle zu den Spalten der Zielknoten und anschliessend über Spaltenkanäle zu den gewünschten Zielknoten. Dieses Schema ermöglicht es, ausgehend von einem beliebigen Knoten, jeden Netzknoten in maximal 2 Hops zu erreichen.

MATRIX eignet sich für den Transport sehr grosser Datenmengen. Die Netzkapazität lässt sich durch $C = \min(n, m)\,(nm-1)$ ausdrücken [9]. In einem 30×30-Netz beispielsweise, welches mit einer Datenrate von 10 GBit/s pro Kanal operiert, steht damit eine Netzkapazität von 270 TBit/s zur Verfügung. Bei einer durchschnittlichen Datenrate von 10 MBit/s pro Benützer könnten 30 000 Endbenützer pro Knoten oder 27×10^6 Benützer gesamthaft unterstützt werden.

Verschiedene MATRIX-Netze lassen sich schliesslich zu grösseren Netzverbunden zusammenschliessen (Bild 15). Letztere ermöglichen eine beliebige Verteilung von Paketen innerhalb des Verbundes. Damit können (im Prinzip) unendlich viele Knoten innerhalb eines MATRIX-Verbundes volloptisch, mit einer geringen Anzahl Wellenlängen und ohne Wellenlängenumsetzung, miteinander verbunden werden.

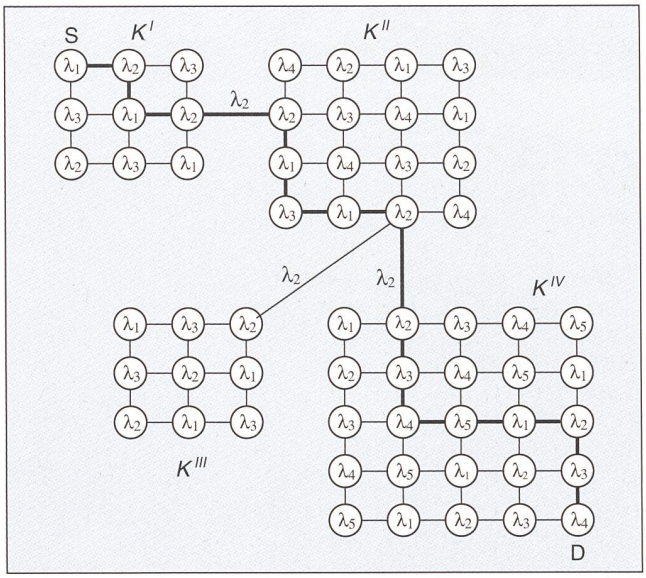

Bild 15 Beispiel für einen Netzverbund

Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Beitrag wurden die Grundbausteine und Übertragungskonzepte volloptischer Netze skizziert und anhand mehrerer Beispiele veranschaulicht. Die Hauptvorteile umfassen hohe Netzkapazitäten, eine weitgehende Transparenz der Signalübermittlung und potentiell einfache Knotenstrukturen. Es bestehen kaum Zweifel, dass längerfristig nur diese Netztechnologie in der Lage ist, den Bedürfnissen des zukünftigen, weltumspannenden Information Superhighway zu genügen.

Viele Fragen in bezug auf Komponenten- und Vermittlungstechnologie (Entwicklung dämpfungsarmer optischer Schalter sowie Wellenlängenumsetzer, Kaskadierung faseroptischer Verstärker, Dispersionskompensation auf den Glasfaserstrecken, volloptische Signalregeneration usw.) bleiben allerdings noch offen. Generell lässt sich sagen, dass die Anforderungen an volloptische Netze mit deren Ausdehnung zunehmen. Viele Unternehmen arbeiten deshalb an photonischen Netzen, welche sich vorerst nicht volloptisch realisieren lassen, die jedoch zu einem späteren Zeitpunkt unter Einbezug der dann verfügbaren Technologien auf volloptischen Betrieb umgestellt werden können (beispielsweise durch den Ersatz elektrooptischer durch volloptische Wellenlängenumsetzer).

Mit volloptischen Netzen bis in die privaten Haushalte (fiber to the home) ist mittelfristig kaum zu rechnen. Die Gründe hierfür liegen einerseits in der Entwicklung neuer Modulationsverfahren, welche die Übertragung grösserer Datenraten (50 MBit/s) drahtlos oder über bestehende Telefonkabel ermöglichen, und andererseits in der Entwicklung neuer, leistungsfähiger Kompressionsverfahren.

Es erscheint daher als wahrscheinlich, dass es zuerst zur Verbreitung von teilweise volloptischen Netzen mit beschränkter geographischer Ausdehnung kommen wird. Volloptische Teile solcher Netze wären durch noch nicht volloptisch realisierbare Zwischenglieder, wie beispielsweise elektrooptische Repeater oder Wellenlängenumsetzer, voneinander getrennt. Derartige Netze liessen sich nach und nach zu einem einzigen volloptischen Netz erweitern.

Wie schnell sich die volloptische Technik durchsetzen wird und welche Netzarchitekturen dereinst zum Einsatz gelangen, ist demnach stark von künftigen Entwicklungen wissenschaftlicher, technischer, wirtschaftlicher und politischer Art abhängig und zurzeit noch weitgehend offen.

Verdankung

Für die aufwendige Durchsicht und Bearbeitung des vorliegenden Beitrages möchten die Autoren Herrn Dr. Jürgen Kemper herzlich danken.

Literatur

[5] *J. M. Senior:* Optical Fiber Communications. Prentice Hall International, 1992.

[6] *H. A. Jäger:* WDM-Gridconnect as a Transport Structure. IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 7, pp. 576–578, May 1995.

[7] *Z. Haas* und *D. R. Cheriton:* Blazenet: A Packet-Switched Wide-Area Network with Photonic Data Path. IEEE Trans. Commun., vol. 38, pp. 818 to 829, June 1990.

[8] *Th. Gipser* und *M. S. Kao:* An All-Optical Network Architecture. IEEE/OSA J. Lightwave Technol., vol. 14, pp. 693–702, May 1996.

[9] *Th. Gipser:* Ein neues photonisches Datenkommunikationsnetz hoher Kapazität für den Weit- und Grossstadtverkehr. Dissertation am Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zürich, Nr. 11715, Juni 1996. ISBN 3-89649-066-4.

Réseaux entièrement optiques – l'avenir des super-autoroutes de l'information

La première partie de l'article (Bull. ASE/UCS 17/96) a montré qu'il ne sera possible de venir à bout des futurs volumes de données sur la super-autoroute informatique qu'au moyen de réseaux photoniques, et, finalement, entièrement optiques. Les composants et modules nécessaires ne sont actuellement que partiellement disponibles sur le marché; cependant, les efforts de recherche entrepris au niveau mondial devraient permettre de compléter l'assortiment suffisamment tôt. Ainsi, on peut dès maintenant entrevoir une extension des réseaux déjà actuellement à base fibroptique en réseaux entièrement optiques.

Spitzenleistungen in der Übertragungstechnik

«Auf»Schalten zur Zielfahrt

orbit
Basel, 8.–12.10.1996
Halle 105 Stand C 15

Wer in der Formel 1 schon beim Training schnell ist, startet aus der Pole Position. Immer kürzere Zeiten werden auch beim Bau und Betrieb von Kommunikationsnetzen gefordert. Früher standen bei der Installation und Messung von Glasfaserkabeln nicht der Faktor Zeit als vielmehr Spezialkenntnisse und teure Geräte zur Diskussion. Mit FIBER-QUICK® liefern wir Ihnen Kabelverbindungen mit bis zu 48 Glasfasern und fixfertig montierten Steckern an. Sie bestellen einfach die Kabellänge mit der gewünschten Steckerzahl und erhalten von uns eine fertige FIBER-QUICK®-Verbindung. Diese ist nach der Montage sofort betriebsbereit. Zeitaufwendige Spleissarbeiten und Messungen entfallen. Mit FIBER-QUICK® schicken wir Ihnen modernste Technik anschlussfertig franko Domizil. Über kürzere und günstigere Montagezeiten freuen sich nicht nur Ihre Monteure, sondern auch Ihre Kunden. Mit FIBER-QUICK® starten Sie aus der Pole Position und stehen schon kurz nach dem «Auf»-Schalten auf einem guten Podestplatz.

100 BRUGG

BRUGG Telecom

Brugg Telecom AG · Nachrichtenkabel und Systeme · 5201 Brugg
Telefon 056 460 31 00 · Fax 056 460 35 31

Leistung, die verbindet