

Mit OTH und OTN zu Terabit-Netzen

Optische Transporthierarchie beseitigt Kapazitätsengpass

Gerhard Kafka

Der kontinuierlich steigende Netzverkehr erfordert schon in der nächsten Dekade eine hundertfache Transportkapazität. Kommerzielle Transportsysteme arbeiten heute mit Übertragungsraten von 100 Gbit/s und überbrücken Entfernungen von typisch 2.500 km. Künftige Systeme werden mit Datenraten von 400 Gbit/s und 1 Tbit/s arbeiten. Nachdem PDH- und SDH-Systeme ihre Leistungsgrenzen erreicht haben bzw. keinen optimalen Wirkungsgrad für die heute dominante paketvermittelte Kommunikation zur Verfügung stellen, steht mit OTH (Optical Transport Hierarchy) eine leistungsfähige Transporttechnik für die Netzbetreiber zur Verfügung, die ein optisches Transportnetz (OTN) einsetzen.

Das optische Transportnetz wurde bei der ITU-T entwickelt und basiert auf der in der G.872-Empfehlung „Architecture for the Optical Transport Network (OTN)“ definierten Netzarchitektur. G.872 beschreibt das Zusammenspiel von optischem Kanal (OCh – Optical Channel) und dem OTM (Optical Transport Module), der aus OMS (Optical Multiplex Section) und OTS (Optical Transmission Section) gebildet wird. Bild 1 zeigt die Schichten der OTH-Architektur, die sowohl analoge als auch digitale Techniken vereint.

Bei der Weiterentwicklung der G.709-Empfehlung berücksichtigte man, dass derzeit nur digitale Techniken eine hohe Qualität bei der Übertragung von Kundensignalen gewährleisten. Dazu wurde der optische Kanal OCh, realisiert durch ein digitales Rahmensignal mit digitalem Overhead, zur Unterstützung von Managementfunktionen mit einbezogen. So besteht nun die Möglichkeit, mit Hilfe der Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC – Forward Error Correction) die Systemleistung zu erhöhen. Über dem OCh sorgen zwei weitere digitale Layer – OTU (Optical Channel Transport Unit) und ODU (Optical Channel Data Unit) – dafür, dass mit der OPU (Optical Channel Payload Unit) alle Arten von Kundensignalen in den OCh eingefügt werden können.

OTN-Eigenschaften

Die in G.872 beschriebene OTN-Architektur definiert zwei Schnittstellenklassen (Bild 2):

- Inter-Domain Interface (IrDI);
- Intra-Domain Interface (IaDI).

Die IrDI-Schnittstelle verfügt an jedem Ende über definierte R3-Prozesse, wobei R3 für Reamplification, Reshaping und Retiming steht. Sie erlaubt es, die Netze verschiedener Betreiber zusammenzuschalten und kann ferner als Schnittstelle zwischen den Kompo-

nenten der unterschiedlichen Hersteller betrachtet werden. Die IaDI-Schnittstelle verbindet die Komponenten innerhalb einer Betreiberdomäne miteinander.

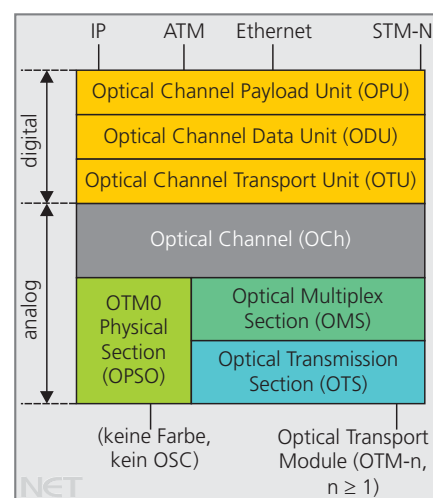


Bild 1: Die OTH-Schichten werden in den beiden wichtigsten Empfehlungen G.709 und G.798 beschrieben (OSC – Optical Supervisory Channel) (Quelle: ITU-T)

Die Empfehlung G.709 definiert die Anzahl der Schichten in der OTN-Hierarchie. Grundsätzlich existieren diese vier Layer:

- OCh (Optical Channel with Full Functionality) bzw. OChr (Optical Channel with Reduced Functionality);
 - OTU (Optical Channel Transport Unit);
 - ODU (Optical Channel Data Unit);
 - OPU (Optical Channel Payload Unit).
- Die Informationen in OPU, ODU und OTU zählen zur elektrischen, die in OCh zur optischen Domäne:
- OPU kapselt die Kundensignale ein und führt die erforderlichen Anpassungen der Datenraten durch. Dies ist vergleichbar mit dem Path Layer in Sonet/SDH, wobei die Daten in der Quelle eingepackt und in der Senke ausgepackt und durch das Netz nicht modifiziert werden.
 - ODU führt ähnlich Funktionen aus wie der Line Overhead in Sonet/SDH.
 - OTU fügt die FEC-Informationen hinzu und führt vergleichbare Funk-

tionen aus wie der Section Overhead in Sonet/SDH.

Nach dem Hinzufügen von FEC wird das Signal an einen Serdes (Serialisierer/Deserialisierer) zur Konvertierung in die optische Domäne weitergeleitet. Eine besonders wichtige Eigenschaft der G.709-Empfehlung ist die in ihr beschriebene FEC, mit deren Hilfe Übertragungsfehler bereits auf der physischen Ebene korrigiert werden.

ren die Hersteller individuelle Lösungen, da G.709 ausdrücklich die Verwendung leistungsfähigerer (proprietärer) FEC-Schemata erlaubt. Das verhindert jedoch, dass Einrichtungen verschiedener Hersteller zusammenarbeiten können.

Die in G.709 definierte FEC kann eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands bis zu 6,2 dB bewirken. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass für

- transparenter Transport von Kundensignalen;
- skalierbare Vermittlungseigenschaften.

Nachteilig ist, dass für die Implementierung neue Hardware und Managementsysteme benötigt werden.

OTN-Komponenten

Die OTN-Technik hat ihren Eingang in Metro- und Weitverkehrsnetze gefunden. Aber bedingt durch das stark wachsende Verkehrsaufkommen im Zugangsbereich, insbesondere durch IP- und Ethernet-Dienste ist der OTN-Einsatz auch hier sinnvoll. Um sich Wettbewerbsvorteile zu schaffen, müssen die Netzbetreiber in diesem Bereich ihre Kosten für den Transport und die Bereitstellung von Diensten, insbesondere von Multiservices signifikant senken. Der Metrobereich verlangt nach Overlay-IP-Netzen und Routern mit integrierter Optik sowie GMPLS-Routing, wobei die bisher vorwiegenden Ringstrukturen durch Vermaschung noch zuverlässiger gestaltet werden. Und die Weitverkehrsnetze werden komplett auf optische Techniken und DWDM umgestellt. Durch den Einsatz von rein optischen Vermittlungseinrichtungen reduziert sich der bisherige Umsetzungsprozess von optisch auf elektrisch und wieder optisch (OEO) lediglich auf die optische Ebene.

Typische OTN-Komponenten sind:

- Metro OADM (Optical Add/Drop Multiplexer) mit CWDM und/oder DWDM, der in seiner Funktion ähnlich dem SDH ADM ist;
- OADM für den Einsatz im Kernnetz mit DWDM;
- optische Terminierungssysteme, die die Übertragungswege abschließen;
- Cross-Connects für ODU oder OCH, basierend auf OEO bzw. OOO;
- Vermittlungseinrichtungen, die die Signale OEO und OOO gleichzeitig verarbeiten.

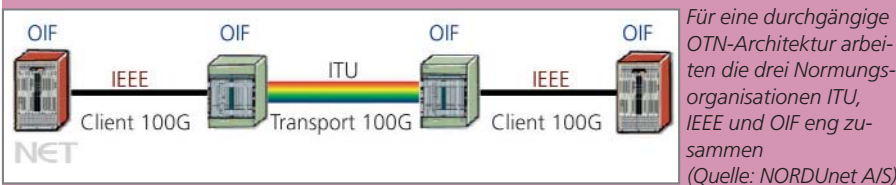
Rasanten Marktwachstum

Im Januar 2013 haben die Analysten von Infonetics Research ihren neuesten Report über die Marktentwicklung von OTNs und paketerorientierter

Wichtige ITU-T-Empfehlungen

Mehr als 50 Standards wurden bisher bei der ITU-T für OTN erarbeitet bzw. sind noch in Arbeit. Diese Empfehlungen beschreiben im Detail Aspekte

- G.693: Optical Interfaces for Intra-Office Systems (bis zu 2 km);
- G.694.1: Flexible WDM Grid (n x 12,5 GHz);



te wie Definitionen, Architektur, Steuerung, Funktionen, Redundanz, Management, physische Ebene, Glasfasertypen, Komponenten und Subsysteme. Als wichtige Empfehlungen gelten:

- G.709: Interfaces for the Optical Transport Network (OTN);
- G.798: Functional Characteristics of Optical Networking Equipment;
- G.870: OTN Terms and Definitions;
- G.872: Architecture of Optical Transport Networks;
- G.800: Unified Framework for the Architecture of Transport Networks;
- G.Sup39: Optical System Design and Engineering Considerations;
- G.959.1: Optical Transport Networks Physical Layer Interfaces (Black Link);

- G.697: Optical Monitoring for DWDM Systems;
- G.680, G.rmon: OXC, ROADM;
- OTN Management: A number of Recommendations worked out in Q.14/15.

Neben der ITU-T befasst sich insbesondere das Optical Internetworking Forum (OIF, www.oiforum.com) mit der Erarbeitung von Standards, Implementation Agreements (IA) genannt. OIF unterstützt die Entwicklung und Implementierung von interoperablen Netzlösungen für optische Netzprodukte, informationsverarbeitender Elemente und Techniken für Komponenten. So wurde kürzlich ein IA veröffentlicht, in dem ein Protokoll für den Transport von OTN über rein paketvermittelte Netze beschrieben wird.

Dadurch erhöht sich jedoch die physische Übertragungsrates von 100 Gbit/s auf 112 Gbit/s und mehr.

Das FEC-Schema für OTN ist durch eine Byte-verschachtelte Reed-Solomon-Funktion definiert, die 4 x 256 Bytes als Prüfinformation für jeden ODU-Rahmen verwendet. Diese Algorithmen werden aber praktisch nicht angewendet. Statt dessen implementie-

die Übertragung eines Signals mit einer bestimmten Bitfehlerrate die Sendeleistung um 6,2 dB verringert werden kann.

OTN bietet im Vergleich zu Sonet/SDH folgende Vorteile:

- leistungsfähigere FEC;
- mehr Ebenen für das Monitoring von Tandemverbindungen (TCM – Tandem Connection Monitoring);

optischer Hardware veröffentlicht. Darin werden Marktanteile, Marktgröße und die weitere Entwicklung analysiert. Konkret werden die Bereiche OTN-Transporteinrichtungen und -Vermittlungseinrichtungen und paket-

7 Mrd. \$ geschätzt, das sind etwa 65 % der Ausgaben für alle optischen Einrichtungen.

- Bis 2016 soll der gesamte OTN-Markt jährlich durchschnittlich um 13 % wachsen.

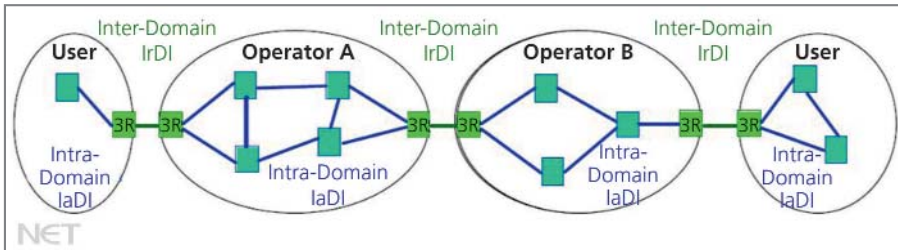


Bild 2: Die Schnittstellen der optischen Transporthierarchie (OTH), beschrieben in G.709 und G.798 (Quelle: ITU-T)

vermittelte optische Transportsysteme (P-OTS) beleuchtet.

Noch ist der Anteil von OTN-Vermittlungstechnik am gesamten OTN-Markt sehr gering und konzentriert sich im Wesentlichen auf China. Weil aber die Netzbetreiber in der EMEA-Region und in Nordamerika im Rahmen des Rollouts von 100G-kohärenter Technik in den regionalen und Kernnetzen zunehmend integrierte WDM- und OTN-Vermittlungseinrichtungen einsetzen, erwarten die Analysten einen baldigen Durchbruch. So soll der Bereich OTN-Switching von 2012 bis 2016 eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 28 % erfahren.

- Zu den Highlights des Reports zählen:
- Für 2012 wurde das Volumen für den gesamten OTN-Markt auf

- Der Markt für P-OTS-Komponenten belief sich 2012 auf 1,26 Mrd. \$. Davon entfallen 55 % auf den Metrorand und 45 % auf regionale Metro-P-OTS.

- Die traditionellen Gerätehersteller Alcatel-Lucent, Ciena, Cisco, Fujitsu und Tellabs zählen zu den P-OTS-Marktführern, werden aber von z.B. BTI, Cyan, Ericsson und Transmode mit ihren reinen P-OTS-Plattformen attackiert.

Ausblick

Netzbetreiber müssen sich auf stetig steigende Datenmengen einstellen. Die Weiterentwicklung der Übertragungssysteme findet sowohl im lokalen (LAN) als auch öffentlichen (WAN)

Bereich statt. So arbeitet im IEEE eine neu gegründete Arbeitsgruppe an der nächsten Ethernet-Generation, die mit Übertragungsraten von entweder 400 oder 1.000 Gbit/s arbeiten soll. Dementsprechend muss die ITU-T die OTN-Datenraten anpassen.

Aber: Ist eine TDM-Technik, die vor ca. 15 Jahren definiert wurde, auch für die nächsten 20 Jahre geeignet, um den dann zu über 99 % auf paketvermittelnden Techniken basierenden Datenverkehr effizient transportieren zu können? Es ist anzunehmen, dass die Zukunft den P-OTS-Systemen gehören wird. Eine sinnvolle Lösung könnte

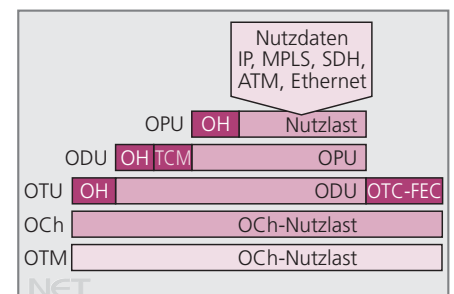


Bild 3: Zusammensetzung der OTN-Nutzlast (Quelle: IT-Wissen)

sein, beide Techniken parallel, aber auf getrennten Wellenlängen in den WDM-Infrastrukturen zu implementieren. Solch eine Netzarchitektur bietet sich in erster Linie für die Metrobereiche an, die dann zuverlässig über OTN-basierte Kernnetze miteinander kommunizieren. Beobachten wir, wie sich der Markt entscheidet. (bk)