„Evolution und Vision photonischer Netzarchitekturen“ Aktivitäten in COST 239 und COST 266

Jan Späth

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. P. J. Kühn
Pfaffenwaldring 47, D-70569 Stuttgart

Tel.: 0711 / 685 7990; Fax: 0711 / 685 7983; E-Mail: spaeth@ind.uni-stuttgart.de

1 Photonik im COST-Programm

Innerhalb der Forschungsförderung der EU existieren mehrere Programme mit unterschiedlichen Ausrichtungen. Neben den eher „projektorientierten“ Programmen wie RACE oder ACTS, bei denen konkret definierte Vorhaben eines (meist relativ unveränderlichen) Konsortiums gefördert werden, gibt es mit COST (*European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research*) auch ein weniger bekanntes, eher „kooperations-orientiertes“ Programm. Die innerhalb von COST geförderten Aktivitäten weisen einige Besonderheiten auf. Die Förderung ist deutlich geringer als bei den anderen Programmen: es werden hauptsächlich nur die Verwaltungskosten und ein Teil der Reisekosten ersetzt sowie Veröffentlichungen und der Austausch von Wissenschaftlern unterstützt, während die eigentliche Forschungsarbeit nicht von der EU finanziert wird. Dafür ist aber die thematische Ausrichtung und die Möglichkeit zur Teilnahme in einer COST-Gruppe sehr viel offener gestaltet: die Projekte haben langfristigere, im „pre-competitive“ Bereich liegende Ziele und die Teilnahme steht grundsätzlich jedem offen (für nähere Informationen siehe COST-Homepage [2]). Im Bereich „Photonik“ bzw. „optische Kommunikationstechnik“ gibt es mehrere COST-Aktivitäten:

- COST 239: *Ultra High Capacity Optical Transmission Networks*
- COST 240: *Techniques for Modelling and Measuring Advanced Photonic Telecommunication Components*
- COST 241: *Characterization of Advanced Optical Fibres for the Photonic Network*

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die inzwischen weitgehend abgeschlossene Aktivität COST 239, die 1991 begann. Das Ziel war die Untersuchung von Vorteilen und Realisierungsmöglichkeiten eines europaweiten optischen Transportnetzes. Dabei wurden sowohl Übertragungs- als auch Netzaspekte behandelt. Zu Beginn des Projektes war diese Zielstellung als „visionär“ einzustufen, wobei aufgrund der rasanten Entwicklung der letzten Jahre die meisten Fragestellungen inzwischen für die Entwicklung und Realisierung relevant sind.

Die Partner in COST 239 kamen aus insgesamt 20 Ländern. Neben Netzbetreibern (France Telecom, Deutsche Telekom, Telenor, BT, ...) und zahlreichen Forschungseinrichtungen (ETH Zürich, HHI, IMEC, Uni Stuttgart, ...) waren auch Systemhersteller vertreten (z. B. Siemens und Nokia). Pro Jahr fanden meistens zwei größere Meetings statt, in denen die in den Arbeitsgruppen erreichten Ergebnisse vorgestellt und neue Arbeitspunkte für den nächsten Abschnitt festgelegt wurden.

2 Arbeitsgebiete und Ergebnisse aus COST 239

Die Untersuchungen innerhalb von COST 239 wurden anhand einer Fallstudie durchgeführt. Hierfür wurde ein Netz angenommen, dessen Knoten größtenteils europäische Hauptstädte repräsentieren (Bild 1). Die zugehörigen Verkehrsanforderungen wurden basierend auf bekannten Verkehrsdaten und -modellen klassischer Telefonie definiert, da 1991 der Datenverkehr noch eine untergeordnete Rolle spielte. Für dieses „COST 239-Netz“ (im folgenden mit *European Optical Network*, EON bezeichnet) wurde ein breites Spektrum von Fragestellungen untersucht, die sich in folgende Arbeitsgebiete einordnen lassen:

- Probleme der Übertragungstechnik bei den auftretenden großen Entfernungen bis zu mehreren

tausend Kilometern (z. B.: Vorteile von WDM; Einfluß auf realisierbare Transparenz)
- Entwurf und Bewertung möglicher Netzarchitekturen
- Netzplanung mit dem Ziel, die erforderliche Infrastruktur zu optimieren
- Analyse der Netzverfügbarkeit

Die folgenden Abschnitte fassen die beiden untersuchten Ansätze für die Netzarchitektur zusammen und stellen einige Ergebnisse vor. Diese und weitere Ergebnisse – auch zu anderen Themenbereichen wie Übertragungstechnik oder Verfügbarkeitsanalyse – finden sich in [1] bzw. den dort angegebenen Referenzen.

2.1 Zwei Varianten für die Netzarchitektur

Für die Architektur des EON sind mehrere Varianten denkbar, von denen zwei mit grundsätzlich unterschiedlichen Eigenschaften untersucht wurden. Zentraler Ausgangspunkt war dabei die Feststellung, daß die im Netz auftretenden Entfernungen zu groß sind, um rein optische, transparente Pfade zwischen allen Knotenpaaren einrichten zu können. Und obwohl sich die Voraussetzungen seit 1991 durch Verbesserungen bei der Übertragungstechnik inzwischen stark verändert haben, ist das Problem der Pfadlängenbegrenzung bzw. Transparenzbeschränkungen nach wie vor aktuell. Zwei Abhilfe versprechende Ansätze wurden untersucht:
- *Partitioned Network*: Bei diesem Ansatz wird das Netz in transparente (das heißt hier: rein optische) Subnetze unterteilt, die über spezielle Netzknoten mit einem opto-elektronischen Übergang verbunden sind (siehe Abschnitt 2.2).
- *Gridconnect Network*: Hier besteht das Netz aus gleichartigen Knoten mit einer Doppelfunktion: neben einer rein optischen Verbindung zu benachbarten Knoten besitzt jeder Knoten auch gleichzeitig ein opto-elektronisches Interface zu anderen Netzbereichen (siehe Abschnitt 2.3).

Für beide Ansätze können nun unter Berücksichtigung zahlreicher Parameter Netze entworfen und bewertet werden. Beispiele sind sowohl Parameter, welche Auswirkungen auf die Netzkosten haben (z. B. technologischer Aufwand, Umfang der Übertragungs- und Vermittlungsressourcen, Betriebskosten), als auch Parameter mit Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit bzw. Funktionalität des Netzes (wie z. B. Vermittlungsfunktionalität oder mögliche Dienste der optischen Ebene).

2.2 Partitioned Network

Die Strukturierung des EON in Teilnetze erfolgte primär entsprechend dem Verkehrsprofil (siehe Bild 2). Bei der angenommenen Dominanz des Sprachverkehrs kann die „Lokalität" des Verkehrs, d. h. die abnehmende Verkehrsintensität mit zunehmender Entfernung zur Bildung von Subnetzen ausgenutzt werden. Doch auch für andere Verkehrsannahmen (z. B. entfernungsunabhängiger Datenverkehr) bietet die Zerlegung eines großen Netzes in weitgehend unabhängige Teilnetze Vorteile wie beispielsweise bei den technologischen Anforderungen oder der Verwaltbarkeit.

Der Kernbereich besitzt eine Maschenstruktur, während in den Subnetzen eine „minimale" Vermaschung, allerdings unter Einhaltung von garantierten redundanten Verbindungsmöglichkeiten und einem doppelten Anschluß an das Kernnetz festgelegt wurde (siehe Bild 3).

Die Netzknoten sind Crossconnects (CCs), welche gleichzeitig die Zugangsknoten darstellen, d. h. für die Ein- und Auskopplung lokalen Verkehrs zuständig sind. Für die Realisierung der CCs wurden einige Varianten untersucht, die sich in Architektur und erforderlichem Aufwand unterscheiden und teilweise nur reduzierte Vermittlungsfunktionalität besitzen (Bild 4).

Bei der Netzdimensionierung stand die Optimierung der physikalischen Schicht im Vordergrund. Dies umfaßt die Minimierung der erforderlichen Fasern bzw. Wellenlängenkanäle sowie der für die Vermittlungsknoten notwendigen Elemente. Für die Planung der Reservekapazitäten wurden mehrere Restoration-Strategien berücksichtigt, die sich hinsichtlich des erforderlichen Ressourcenbedarfs, der Anforderungen an das Netzmanagement und der Leistungsfähigkeit unterscheiden. Der Bedarf an Ressourcen hängt neben der Strategie auch stark von der angewandten Dimensionierungsmethode ab. Als Optimierungsverfahren wurden Simulated Annealing, Lineare Programmierung und Genetische Algorithmen eingesetzt und verglichen.

2.3 Gridconnect Network

Bei diesem Konzept spielt die Unterscheidung von virtueller und physikalischer Topologie eine wichtige Rolle. Während die physikalische Topologie (nahezu) beliebig sein kann, ist die virtuelle Netztopologie stets gitterförmig, was durch ein entsprechendes Mapping erreicht wird. Dabei kann ein physikalischer Netzknoten durch mehrere Gitterpunkte repräsentiert werden, wenn die Verkehrsbeziehungen dies erfordern (siehe Bild 5 für das EON). Jeder Knoten ist mit benachbarten Knoten bis zu einer gewissen Entfernung über festgelegte Wellenlängenkanäle verbunden, während für Verbindungen zu weiter entfernten Knoten ein opto-elektrischer Übergang erforderlich ist. Dadurch ergeben sich sog. „verwobene, transparente Sektionen".

Um eine hohe Netzverfügbarkeit zu erreichen, wird in der optischen Ebene für jeden Transportpfad (d. h. Wellenlängenkanal) ein zugehöriger Ersatzpfad reserviert, so daß sich ein 1+1 - Protection-Verfahren ergibt. Dies wird durch die Überlagerung eines „komplementären" Gitters realisiert, wobei die Wegeführung in diesem überlagerten Netz durch Vertauschen der Reihen und Spalten gegenüber dem originalen Netz erfolgt.

Durch diesen Ansatz ergibt sich für alle optischen Netzknoten eine einheitliche Struktur, die sich zusätzlich noch durch geringe Komplexität auszeichnet, da sowohl für die Arbeitspfade als auch die Reservepfade nur statisches Wellenlängen-Routing verwendet wird. Die gesamte Vermittlungsfunktionalität wird von den höheren Netzschichten erbracht, wird also elektrisch realisiert (Bild 6).

2.4 Vergleich der beiden Ansätze

Die Basisidee des „Gridconnect Networks" ist es, unter Verzicht auf eine effiziente Ausnutzung der Übertragungsressourcen eine vereinfachte optische Netzebene zu erhalten: durch Überdimensionierung der Faser-Infrastruktur wird eine statische Transportebene realisiert, die für die höheren Netzebenen breitbandige Transportpfade bereitstellt, ohne aufwendige Funktionen in der optischen Ebene zu erfordern. Demgegenüber kann der Ansatz des „Partitioned Network" als eine evolutionäre Weiterentwicklung bekannter Netzkonzepte gesehen werden, wobei eine Migration ausgehend von heutigen Netzen durch schrittweise Erweiterung der optischen Ebene möglich ist. In der optischen Ebene ist hierfür mehr Funktionalität, aber auch mehr Komplexität enthalten. Neben diesem allgemeinen Vergleich lassen sich die Ansätze anhand zahlreicher weiterer Parameter vergleichen. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Auswahl qualitativer Vergleichskriterien, wobei ausschließlich die optische Ebene betrachtet wird.

Kriterium	**Partitioned Network**	**Gridconnect Network**
Übertragungsressourcen	geringer Bedarf (effiziente Nutzung)	hoher Bedarf
Vermittlungskomplexität	hoch; unterschiedl. Knoten	gering; identische Knoten
Netzmanagement	hoher Aufwand	geringer Aufwand
Flexibilität/Rekonfigurierbarkeit	hoch	gering
Verfügbarkeit der Knoten	gering	hoch
Protection & Restoration	zahlreiche Konzepte möglich; primär Restoration	1+1 - Protection; andere Konzepte nicht vorgesehen

Für ein Fazit muß beachtet werden, daß es sich um sehr unterschiedliche Netzkonzepte handelt, die beide ihre spezifischen Vor- und Nachteile haben. Für eine endgültige Bewertung spielen die Kosten, insbesondere das Verhältnis von Übertragungs- zu Vermittlungs- und Managementkosten eine entscheidende Rolle. Außerdem müssen für ein umfassendes Bild die höheren Netzebenen ebenfalls miteinbezogen werden, da sich die Anforderungen an diese bei den beiden Konzepten ebenfalls stark unterscheiden. Generall kann aber festgehalten werden, daß der beim „Partitioned Network" verfolgte Ansatz mehr Flexibilität besitzt und von weiteren Fortschritten der Photonik stärker profitieren kann als der „Gridconnect"-Ansatz, während dieser mit den heute verfügbaren Technologien zu einer günstigeren Netzlösung für bestimmte Einsatzgebiete führen kann.

3 Ausblick und Pläne für COST 266

Als Nachfolgeprojekt zu COST 239 wurde das Projekt COST 266 (*Progress of Photonic Infrastructure Towards the Information Technology Age*) genehmigt. Dieses neue Projekt hat zum Ziel, das Potential photonischer Netze für kommende Telekommunikations-Infrastrukturen zu untersuchen und zielt dabei auf einen Zeithorizont von 5 und mehr Jahren ab. Zur Entwicklung und Bewertung möglicher Architekturen für die nächste Generation optischer Netze sollen im Projekt folgende Themen verfolgt werden: neue Dienste und daraus resultierende Anforderungen an Kommunikationsnetze; die künftige Entwicklung des Verkehrs; Fortschritte, Beschränkungen und neue Konzepte für die Übertragungs- und Vermittlungstechnik; sowie neue Parameter zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Netzen wie beispielsweise Flexibilität oder Verfügbarkeit.

Dabei sind zahlreiche zur Zeit stattfindenden Veränderungen zu berücksichtigen wie beispielsweise die schnelle Weiterentwicklung bei Komponenten photonischer Netze (z. B. neue Fasertypen, Bausteine für die optische Signalverarbeitung), die ebenso rasante Weiterentwicklung bei den Endgeräten, bei denen eine starke Zunahme der Leistungsfähigkeit und der Anzahl zu beobachten ist, oder auch die Veränderungen bei den regulatorischen Randbedingungen (z. B. die im Zuge der Liberalisierung verstärkt auftretende Problematik der Interconnection-Fragen bei der zunehmenden Anzahl von Betreibern).

In den Diskussionen zur Festlegung des Arbeitsplanes hat es sich allerdings gezeigt, daß es heute offensichtlich schwieriger ist, „visionäre“ aber nicht unrealistische Fragestellungen mit Forschungspotential für einige Jahre zu definieren, als dies noch vor einigen Jahren der Fall war. Aus Netzsicht könnten mögliche Fragestellungen, die noch einer genaueren Definition bedürfen, u. a. sein:

- das Potential der Konvergenz von IP und WDM (wobei dieser Themenbereich inzwischen teilweise der Produktentwicklung zuzuordnen ist),
- die Rolle „digitaler“ optischer Netze mit der damit verbundenen Transparenzeinschränkung,
- die Realisierbarkeit sog. „switchless“ Netze, basierend auf passiven optischen Netzstrukturen,
- die Verfügbarkeit von Wellenlängenkanälen bis in die Nähe des End-Teilnehmers und die damit möglichen neuen Dienste und Anforderungen an die Netze,
- die Möglichkeit optischer Paketvermittlung,
- Kombination von WDM mit (O)TDM-Technik, so daß die Bandbreite eines Wellenlängenkanals unterteilt werden kann, oder
- das Potential eines „übertakteten“ digitalen Netzes, das zwar mit hoher, aber fester und überall konstanter Bitrate arbeitet, aber von den Teilnehmern nur zu einem Teil ausgenutzt wird.

4 Schlußbemerkungen

Alle an COST 239 beteiligten Partner haben die internationale Zusammenarbeit als sehr wertvoll eingestuft, was sich auch an dem starken Einfluß der von der Gruppe bearbeiteten grundsätzlichen Fragestellungen und entwickelten Konzepte auf andere Arbeiten in diesem Gebiet belegen läßt. Im Laufe des Projektes hat sich aber auch gezeigt, daß Fragestellungen, die ursprünglich als „langfristige Forschung“ eingestuft wurden (v. a. zur Thematik „WDM“), inzwischen von der Produktentwicklung aufgegriffen werden. Bei der Definition des Folgeprojektes, das für weitere Teilnehmer offen ist und in das noch Ideen für die künftige Ausrichtung eingebracht werden können, ist es nun schwierig, die angestrebte langfristige Orientierung zu erreichen. Ein Grund hierfür ist die starke Dynamik bei der Weiterentwicklung optischer Technologien. Ein weiterer Grund ist aber auch, daß augenblicklich kein neuer technologischer Durchbruch sichtbar ist, der eine Rolle vergleichbar zur WDM-Technologie vor einigen Jahren einnimmt. Daher ist eine ständige Anpassung der Projektausrichtung an künftige Entwicklungen erforderlich.

5 Referenzen

[1] „COST 239 Report“, Abschlußbericht zum Projekt COST 239 *Ultra High Capacity Optical Transmission Networks*, http://web.cnlab.ch/cost239/

[2] http://www.cordis.lu/cost/home.html