

Diss. ETH Nr. 15042

Vergleich der Effizienz von Schutzstrategien in photonischen Transportnetzen

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
HANS-PETER CHRISTIAN MAUZ
Diplom-Physiker, Universität Karlsruhe (TH)
geboren am 25. Januar 1971
in Esslingen am Neckar, Deutschland

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Peter E. Leuthold, Referent
Prof. Dr. Harmen R. van As, Korreferent
Prof. Dr. Thomas Erlebach, Korreferent

2003

Abstract

The topic of this thesis is the systematical investigation of different protection schemes for photonic networks and the development of their efficient planning methods. Due to the high aggregation of large traffic streams, protection against losses is of central importance. The direct routing of a light path results in an optical path layer (OPL). Efficient protection schemes apply directly to the OPL. As a comparison criterion between the protection schemes, the figure of the total required capacity for the network with respect to working and protection traffic is used.

After a short introduction and motivation for the investigation at hand, important methods and terms for the network planning process are explained by illustrating the routing and wavelength assignment of light paths. It follows a description of the Pan-European networks which have been used for the comparison.

First, protection schemes for mesh networks are considered. Such networks are based on optical cross connects (OXC) and enable the use of very flexible routing schemes. Span and path based methods for dedicated and shared protection have been investigated. For the case of dedicated protection, it is possible to find optimal solutions with simple and exact methods by the separation into sub-problems.

For shared protection, a novel, unified integer linear programming (ILP) formulation has been used. For networks with wavelength conversion (virtual wavelength path, VWP), the corresponding system of equations may be solved directly. For larger networks or in the case where a light path uses the same wavelength throughout the whole network (wavelength path, WP), heuristics are required to solve the problem which reduce the complexity significantly. Corresponding approaches for shared path protection and protection with so called p -cycles are developed.

Ring structures depend on simple optical add-drop multiplexers (OADM) and are simpler to realize than mesh networks from a technological point of view. On the other hand, the planning of multi-ring-networks with several interweaved rings is very complex. It is shown that an effective graph for ring-networks with dedicated protection rings (DPRing) and

shared protection rings (SPRing) can be developed. For DPRing-networks, this allows to deduce an optimal ring-coverage. For SPRing-networks, the ring-identification may be formulated as an ILP-problem. For this case, a novel method for the ring-routing and -dimensioning based on the effective graph is proposed. This method has been used for the iterative ring-identification.

Finally, the impact of uncertainties in the planning-process and the lack of knowledge of the exact traffic pattern on the required capacity is studied.

A summary and outlook for further research work concludes the thesis.

Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die systematische Untersuchung von Schutztechniken für photonische Netze und die Entwicklung von effizienten Methoden für deren Planung. Durch die Aggregation von grossen Verkehrsströmen hat der Schutz gegen Ausfälle zentrale Bedeutung. Die direkte Vermittlung von optischen Pfaden führt zu einer optischen Pfadschicht (Optical Path Layer, OPL). Ein effizienter Schutz setzt direkt in der OPL an. Als Vergleichskriterium zwischen den Schutzstrategien wird die für das Netz benötigte Gesamtkapazität für Betrieb und Schutz herangezogen.

Nach einer kurzen Einführung und der Motivation für die vorliegende Untersuchung werden wichtige Methoden und Begriffe für die Netzplanung am Beispiel des Routings und der Wellenlängenzuteilung von Lichtpfaden erläutert. Es folgt eine Darstellung der für den Vergleich verwendeten paneuropäischen Netze.

Als erstes werden Schutzstrategien für Maschentopologien betrachtet. Maschennetze, die auf optischen Kreuzvermittlern (Optical Cross Connect, OXC) basieren, ermöglichen den Einsatz sehr flexibler Vermittlungsverfahren. Untersucht werden teilstrecken- und pfadbasierte Methoden jeweils für dedizierten und gemeinsamen Schutz. Für den dedizierten Schutz können aufgrund der Aufspaltung in Unterprobleme einfache und schnelle Methoden angegeben werden, die zu optimalen Lösungen führen.

Für den gemeinsamen Schutz wird eine neuartige, einheitliche Formulierung mit Hilfe der ganzzahligen linearen Programmierung (Integer Linear Programming, ILP) verwendet. Für Netze mit Wellenlängenkonzersion (virtueller Wellenlängenzuteilung, VWP) kann das entsprechende Gleichungssystem direkt gelöst werden. Bei grösseren Netzen oder im Falle, dass ein Lichtpfad durchgehend dieselbe Wellenlänge belegt (Wellenlängenzuteilung, WP), sind zur Bewältigung des Problems Heuristiken notwendig, mit denen sich die Komplexität wesentlich reduzieren lässt. Entsprechende Verfahren für geteilten Pfadschutz und Schutz mittels sogenannten p -Zyklen werden entwickelt.

Ringe beruhen auf einfachen „Optical Add Drop Multiplexern“

(OADM) und sind daher technologisch leichter zu realisieren als Maschennetze. Allerdings ist die Planung eines Mehrfachringnetzes mit mehreren ineinander verwobenen Ringen sehr komplex. Ihre Erzeugung in einer vorgegebenen Topologie wird untersucht. Es zeigt sich, dass ein effektiver Graph für Ringnetze mit dediziertem Schutz (Dedicated Protection Ring, DPRing) und gemeinsamem Schutz (Shared Protection Ring, SPRing) entwickelt werden kann. Für DPRing-Netze lässt sich hieraus eine optimale Ringüberdeckung ableiten. Für SPRing-Netze kann die Ringidentifikation als ILP-Problem formuliert werden. Im letzteren Fall wird ein neuartiges Verfahren für das Ringrouting und die -dimensionierung mittels des effektiven Graphen vorgeschlagen. Dieses kommt dann bei der iterativen Ringidentifikation zum Einsatz.

Schliesslich werden die Auswirkungen der Unsicherheiten im Planungsprozess und der Unkenntnis des genauen Verkehrsmusters auf die zu installierende Kapazität behandelt.

Eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf weitere Forschungsaktivitäten bilden den Abschluss der Arbeit.