

Projekt „Routing in optischen Transportnetzen“

Bericht zum vierten Meilenstein

Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB)

Das vom Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) in Kooperation mit dem DFN-Verein durchgeführte Projekt „Routing in optischen Transportnetzen“ hat am 1. September 2000 begonnen und erstreckt sich über einen Gesamtzeitraum von zwei Jahren. Es gliedert sich in die beiden Arbeitspakete „Optimierung der statischen Konfiguration optischer Transportnetze“ sowie „Optimierung optischer Transportnetze mit dynamischem Routing“. Jeweils nach Ablauf eines Halbjahres soll dazu der Projektfortschritt auf Basis der im Vorfeld spezifizierten Meilensteine dokumentiert werden. Die für die zweite Projekthälfte zunächst nur grob umrissenen Ziele wurden dabei im Laufe des Projektes konkretisiert.

In diesem Dokument liegt nun der Bericht zum vierten und letzten Projekthalbjahr vor. Um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten, werden die beiden Arbeitspakete einzeln betrachtet. Im Hinblick auf die definierten Meilensteine sind dabei die im Berichtszeitraum durchgeführten Tätigkeiten und die daraus hervorgegangenen Resultate zusammenfassend dokumentiert.

Darüberhinaus wird der Bericht durch einen technischen Anhang ergänzt. In Form eines umfangreichen Reports für jedes der beiden Arbeitspakete sind darin insbesondere die technischen Einzelheiten sowie die mathematischen Modelle und Verfahren detailliert beschrieben und erläutert.

Arbeitspaket 1:

Optimierung der statischen Konfiguration optischer Transportnetze

Für das Arbeitspaket zur „Optimierung der statischen Konfiguration optischer Transportnetze“ wurden für das zweite Projektjahr die folgenden Ziele und Meilensteine festgehalten:

- Integration unterschiedlicher Ausfallsicherheitsmodelle.
- Weiterentwickelte Heuristiken und Ansätze zu exakten Verfahren für die statische Netzkonfiguration.
- Vergleich der ermittelten Konfigurationen anhand aller Bewertungskriterien.

Die in den vorangegangenen Berichten dokumentierten Resultate stellten den Ausgangspunkt der weiteren Arbeit dar. Die wesentliche Grundlage bildete das im ersten Projektjahr hergeleitete und implementierte Verfahren zur Optimierung der statischen Konfiguration optischer Transportnetze. Dieses Verfahren beruht auf einem Dekompositionsansatz für das komplexe Gesamtproblem, das in ein Dimensionierungs- und Routingproblem einerseits und ein nachgelagertes Wellenlängenzuordnungsproblem andererseits aufgespalten wird. Anschließend konnten neben theoretischen Erkenntnissen für die untersuchten Teilprobleme auch Verbesserungen der zu ihrer Lösung angewandten Methoden erzielt werden. Zudem sind damit auch erste umfangreiche Vergleichsrechnungen durchgeführt und diskutiert worden. Ferner lag ein weiterer Schwerpunkt auf der Entwicklung und Integration eines geeigneten Ausfallsicherheitsmodells. Ausgehend von der Betrachtung bekannter Schutzmechanismen ist dabei speziell für (transparente) optische Netze ein neues Sicherheitskonzept entwickelt worden, das zusätzlich bedarfsweise skalierbare Ausfallsicherheitsanforderungen zuläßt.

Im Berichtszeitraum wurden diese Untersuchungen weitergeführt und insbesondere im Hinblick auf die angestrebten Vergleiche unterschiedlicher Konfigurationen ausgeweitet. Dazu ist zunächst das Verfahren in Bezug auf das verwendete Ausfallsicherheitskonzept angepasst und gleichzeitig weiterhin verbessert worden. Zum einen wurde das Rerouting fraktioneller Lichtwege überarbeitet. Während zuvor einzelne Lichtwege mithilfe einer kostenbasierten Kürzeste-Wege-Methode berechnet wurden, beruht der neue Ansatz auf dem gemeinsamen Routing aller zu einem Bedarf gehörenden Lichtwege, das sich als Lösung eines ganzzahligen Flußproblems (mit minimalen Kosten) ergibt. Diese Methode erlaubt nicht nur die zusätzliche Berücksichtigung der Ausfallsicherheitsanforderungen, sondern stellt auch eine Verbesserung des bisherigen Verfahrens dar. Zum anderen wurde weiterhin die konfliktfreie Wellenlängenzuordnung zum ermittelten Lichtwegrouting untersucht, bei der die Anzahl der notwendigen Wellenlängenkonverter zu minimieren ist. Hierbei konnte das exakte Verfahren weiterentwickelt werden, allerdings eignet es sich bislang nur zur

Bearbeitung recht kleiner Aufgaben, da die Problemkomplexität mit der Instanzgröße extrem schnell zunimmt und somit die optimale Lösung erschwert. Infolgedessen empfiehlt sich die Anwendung guter Heuristiken, für die neben der Erarbeitung weiterer Varianten auch vergleichende Betrachtungen durchgeführt wurden. Dabei stellte sich eine Version der iterierten Verbesserungsheuristik als besonders geeignet heraus.

Der wesentliche Schwerpunkt innerhalb des abschließenden Projekthalbjahres lag jedoch auf der Durchführung von Vergleichsrechnungen für unterschiedliche Fragestellungen. Mithilfe des entwickelten Verfahrens wurden für zahlreiche Instanzen statische Konfigurationen des optischen Transportnetzes berechnet und ausgewertet. Die erste Untersuchung diente dem Vergleich verschiedener optischer Technologien. Auf Basis revidierter Kostenmodelle ist die zuvor begonnene Studie weitergeführt worden und hat den sich andeutenden Trend erneut bestätigt: während ein opaques Netz die höchsten Kosten erzeugt, führt eine semitransparente Architektur bereits zu deutlichen Einsparungen, die allerdings für ein transparentes optisches Netz nochmals bedeutend größer sind. Obwohl die Netzplanung dadurch erschwert wird, ist daher die Verwendung der transparenten Technologie, insbesondere der optischen Cross-Connects (OXC), anzuraten. Eine weitere Studie zielte auf den möglichen Nutzen von Übertragungssystemen mit extrem großer Reichweite ab. Dazu konnte gezeigt werden, daß die Einsparung von Regeneratoren für die entstehenden langen Lichtwege nicht wie befürchtet aufgrund zunehmender Wellenlängenblockierung durch eine höhere Anzahl notwendiger Konverter (über-) kompensiert wird. Bei Annahme gleicher WDM-Systeme ergibt sich dadurch ein Kostenvorteil. Allerdings bieten Übertragungssysteme mit großer Reichweite gegenwärtig nur die halbe Wellenlängenanzahl, wodurch die entstehenden Netzkosten insgesamt höher ausfallen. Schließlich wurde in der letzten Studie der Einfluß eines wählbaren Ausfallsicherheitsgrades auf die Gesamtkosten transparenter optischer Netze untersucht. Einerseits konnten neben dem gewählten Grad weitere Einflußfaktoren identifiziert werden. Andererseits belegen die Ergebnisse, daß das entwickelte Ausfallsicherheitskonzept mit vergleichsweise geringen Zusatzkosten bis zu 50% Schutz für jeden Bedarf ermöglicht.

Arbeitspaket 2:

Optimierung optischer Transportnetze mit dynamischem Routing

Im letzten Abschnitt des Projektes “Optimierung optischer Transportnetze mit dynamischem Routing“ haben wir uns mit drei Gebieten befasst: der Entwicklung neuer, mathematisch fundierter Algorithmen, der verteilten Implementierbarkeit unseres Algorithmus CBL, sowie der Erzeugung von zufälligen Anfragen mit endlichen Dauern und der damit verbundenen Erweiterungen der Simulationssoftware.

Wie auch CBL benutzen beide neu entwickelten Algorithmen *Disjoint Lightpath Decrease* (DLD) und *Anticipating Disjoint Lightpath Decrease* (ADLD) die Netzfitness als Grundlage für ihre Routingentscheidungen. Während CBL dazu noch alle Lichtwege zählt, die von einer Routingmöglichkeit blockiert werden, berücksichtigt DLD bei der Kostenberechnung nur noch disjunkte (s, t) -Wege für feste Knotenpaare (s, t) . Darüberhinaus berechnet ADLD die Kosten für einen blockierten Lichtweg proportional zur Dauer der voraussichtlichen Blockade. Dies liefert z. B. auch dann Kosten, wenn die momentane Routingmöglichkeit erst nach Beendigung eines früheren Calls für die Blockade eines Lichtwegs verantwortlich ist. Wir diskutieren ebenfalls, wie komplett disjunkte Wegesysteme der Definition von Netzfitness zugrundegelegt werden können. Weiterhin geben wir an, wie man durchschnittliche Anfragehäufigkeiten zwischen zwei Knotenpaaren berücksichtigen kann.

In einem weiteren Abschnitt des Berichts untersuchen wir die Möglichkeit, ob und wie CBL verteilt implementiert werden könnte. Es zeigt sich, dass eine verteilte Implementierung nicht nur möglich, sondern einer zentralisierten Version im Hinblick auf Laufzeiten eventuell auch überlegen ist, ohne dabei einen zu großen Signalisierungsaufwand mit sich zu bringen. Der Großteil der beschriebenen Verfahren kann auch auf eine verteilte Implementierung der anderen Algorithmen übertragen werden.

Einen großen Anteil unserer Zeit haben wir dazu verwendet, die Simulationsumgebung so zu erweitern, dass nun auch Anfragen endlicher Dauer erzeugt und verarbeitet werden können. Dazu gehörte zum einen, zufällige Zwischenankunftszeiten und Dauern zu implementieren, zum anderen musste die Verwaltung des Netzwerkes um die Zeitkomponente erweitert werden. Schließlich haben wir mit Hilfe der Simulationssoftware unsere und die bekannten Greedy-Algorithmen auf verschiedenen Topologien und unter verschiedenen Belastungen des Netzwerkes verglichen. Als Topologien haben wir das bekannte 17-Knoten-Netz unseres Projektpartners benutzt, kombiniert mit drei verschiedenen Dimensionierungen. Die Anfragen wurden (im Mittel) proportional zu den statischen Bedarfen generiert. Es zeigte sich, dass der beste Greedy-Algorithmus in etwa die gleiche Anzahl Anfragen ablehnt wie der beste unserer Algorithmen. Deutliche Unterschiede ergaben sich lediglich zwischen verschiedenen Versionen der Greedy-Algorithmen: Die Ergebnisse zeigen, dass es günstig ist, die am wenigsten verfügbare Wellenlänge den übrigen vorzuziehen.