

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	竹田 健太
論文題目	Lightpath Provisioning in Elastic Optical Networks (エラスティック光ネットワークにおける光パス設定)		
(論文内容の要旨)			
<p>The rapid growth in worldwide communications and the rapid adoption of the Internet have led to a growth in the amount of communication traffic every year. An optical network can potentially support the continuously increasing demands for communications. Therefore, researchers focus on new technologies for high-speed, flexible, and scalable optical networks. Elastic optical networks (EONs) are regarded as promising techniques to achieve flexible utilization of spectrum resources in optical networks. In EONs, lightpaths are provisioned for traffic demands. In lightpath provisioning, it needs to use spectrum resources efficiently. This thesis studies three specific problems with lightpath provisioning in EONs. Each problem corresponds to lightpath failure, inter-core crosstalk (XT) and intra-core physical layer impairments (PLIs), and spectrum fragmentation due to inter-core XT, respectively. This thesis consists of six chapters.</p> <p>Chapter 1 introduces the background of lightpath provisioning in EONs.</p> <p>Chapter 2 investigates the related works in literature.</p> <p>Chapter 3 proposes a multipath provisioning (MPP) scheme that allows allocating the different numbers of spectrum slots and different amounts of transmission capacity to each path to minimize required spectrum resources in EONs. To minimize the required spectrum resources, two optimization problems in the proposed scheme are presented. One problem considers that the route of link-disjoint paths for a traffic demand is given, and the other determines the routes of link-disjoint paths and the number of spectrum slots allocated to each path simultaneously. The transmission capacity allocated to each path is determined by solving each optimization problem. The optimization problems are formulated as an integer linear programming (ILP) problem. Numerical results show that the proposed scheme, compared to the conventional scheme, reduces the required spectrum resources in several cases. It is also observed that the required spectrum resources can be reduced by considering the routing of link-disjoint paths in the proposed scheme at the expense of more computation time.</p> <p>Chapter 4 proposes a routing, modulation, spectrum, and core allocation (RMSCA) model that jointly considers inter-core XT and intra-core PLIs for spectrally-spatially EONs (SS-EONs) by considering the aspect of the optical signal to noise ratio (OSNR) penalty, which is the value of decreasing amount of OSNR due to inter-core XT. The proposed model sets multiple XT thresholds and their corresponding transmission reaches. The transmission reach corresponding to each XT threshold is set so that the optical signal deteriorated by inter-core XT and intra-core PLIs can be delivered to the destination node while maintaining the signal quality. The proposed model relaxes the XT threshold when the transmission reach becomes short as the intra-core PLIs are less due to the shorter transmission reach. On the other hand, the XT threshold becomes severe with the increasing transmission reach. Thus, the proposed model allows a small XT value for long-distance transmission and a larger XT value for shorter-distance transmission, and hence it enhances spectrum efficiency. To minimize the maximum allocated spectrum slot index, an optimization problem based on the proposed model is presented. The optimization problem is formulated as an ILP problem. A heuristic algorithm for the proposed RMSCA model is presented when the ILP problem is not tractable. The performances of the proposed model are evaluated, in terms of the maximum allocated spectrum slot index and the computation time, and compare the proposed model to a benchmark model. The numerical results show that the</p>			

proposed model enhances resource utilization compared to the benchmark model.

Chapter 5 proposes a fragmentation-aware lightpath provisioning model to suppress both fragmentation caused by allocating spectrum slots to lightpaths and due to inter-core XT in SS-EONs. To suppress the fragmentation due to inter-core XT, the proposed model classifies vacant spectrum slots into available vacant slots and unavailable vacant slots when calculating a metric. Based on the proposed model, an optimization problem is presented. To suppress the fragmentation, an optimization problem is presented based on the proposed model. A heuristic algorithm for lightpath provisioning is presented in the case that the ILP problem is not tractable. The performances of the proposed model are evaluated in terms of the blocking probability, compared to a benchmark model. Numerical results observed that the proposed model suppresses the blocking probability better than the benchmark model.

Finally, Chapter 6 concludes this thesis and discusses the future works to extend this work.

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、エラスティック光ネットワーク (Elastic Optical Network: EON) における光パス設定に関する問題を、光パスの故障、コア間クロストークとコア内の信号劣化、および、コア間クロストークによるフラグメンテーションの3つの問題に焦点を当てて研究を行っている。本研究で得られた成果は以下の通りである。

第一に、EONにおける必要な光資源を最小化するための、異なった数のスロットや伝送容量を割り当てる複数パス設定手法を提案している。提案手法に基づいた光パス設定を決定する必要な資源を最小化する2つの最適化問題を示し、整数線形計画 (Integer Linear Programming: ILP) 問題として定式化している。1つは光パスの経路を与えた上で各パスへの割り当てスロット数を決定し、もう1つは経路と各パスへの割り当てスロットを同時に決定する。数値評価により、提案手法は従来手法に比べ、必要な光資源を削減することを明らかにしている。また、提案手法において経路と割り当てスロットを同時に決めることで、計算時間がかかることと引き換えに必要な光資源を削減することができることも示している。

第二に、Spectrally-spatially EON (SS-EON) において、光信号対雑音比を用いることでコア間クロストークとコア内信号劣化を結びつけて考慮する経路、変調方式、スペクトル、コア割り当てモデルを提案している。提案モデルは、複数のクロストーク閾値とそれに対応する伝送可能距離を設定する。各クロストーク閾値に対応する伝送可能距離はコア間クロストークとコア内信号劣化によって劣化する光信号がその品質を保つことができるように設定される。提案モデルは、伝送距離が短い時にはXTの閾値を緩め、反対に長距離の伝送の際にはXTの閾値を厳しくする。提案モデルに基づき、割り当てられたスロットの最大インデックスを最小化する最適化問題を示し、ILP問題として定式化している。また、ILP問題を解くのが困難な時のための発見的アルゴリズムを示している。数値評価により、提案モデルはベンチマークモデルと比べてスペクトル資源の利用効率が良いことを明らかにしている。

第三に、SS-EONにおけるスペクトルスロット割り当てによって起きる光資源のフラグメンテーションとコア間クロストークに起因するフラグメンテーションの両方を抑える光パス設定モデルを提案している。コア間クロストークに起因するフラグメンテーションを抑制するために、提案モデルでは、空きスロットを利用可能なものと利用不可なものに分けてフラグメンテーションメトリックの計算を行う。提案モデルに基づき、フラグメンテーションを抑制する最適化問題を示し、ILP問題として定式化している。また、ILP問題を解くのが困難な時のための光パス設定を決定する発見的アルゴリズムを示している。数値評価により、提案モデルはベンチマークモデルと比べてブロッキング率を抑えることを明らかにしている。

以上、本論文は光ネットワークの光パス設定に関して、適用シナリオに対応した光パス設定手法およびモデルを提案し、光ネットワーク設計技術の発展に貢献するものである。本論文の内容は、学術上、実用上ともに寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値のあるものとして認める。また、令和6年1月11日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。また、本論文のインターネットでの全文公表についても支障がないことを確認した。