

報告番号	甲 第 11484 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Reconfigurable Multi-layer and
Multi-granular Photonic Transport
Network Design
(再配置可能な多階層・多粒度の光トラン
スポートネットワーク設計の研究)

氏 名 門畑 顕博

論 文 内 容 の 要 旨

コア・メトロネットワークにおいては長距離大容量伝送技術の進展により、中継ノードで光-電気-光変換なしで光信号のまま伝送可能な距離が拡大してきている。また一方で、近年のインターネットトラフィックの傾向として、web 閲覧や E-mail 等の容量が小さいものから、クラウドサービスの進展によるデータセンタ間通信や映像系サービス等の容量が大きいものまで、様々な粒度のトラフィックが混在している。このため、容量が大きいトラフィックに対しては波長パスに收容し、容量が小さいトラフィックに対してはサブ入パスに收容するといった、波長パスとサブ入パスを連携したマルチレイヤのパスでトラフィックを收容することがネットワークの收容効率を高めるうえで不可欠である。一方で、各レイヤにおいては以下の技術課題が存在する。波長レイヤにおいては、波長パスの始点から終点まで同一波長を割り当てる波長連続制約により、ハードディスクにおけるフラグメンテーションのように波長のフラグメンテーションが増大しパスの收容効率が悪くなることあげられる。また、サブ入レイヤにおいては、トラフィック容量の変動に従って最適な仮想（論理）トポロジが変化することがあげられる。以上を解決しさらなる高收容効率を実現する手段として、波長パスとサブ入パスを連携したマルチレイヤパスの再配置技術を確立することが必要である。

本博士論文において、マルチレイヤパス再配置技術を確立するための以下 4 つの研究課題：1. 波長パスの設計・再配置、2. サブ入パスの再グルーミング（再配置）、3. 移設手順数の削減、4. 様々な信頼性クラスが混在したネットワークにおける、再配置の高收容効率性とサービス断リスクのトレードオフを考慮した設計・再配置、に対して解決策を提案し、

様々な評価により提案方式の有効性を示す。本博士論文は以下7つの章で構成される。第1章では序章として、近年と将来的なトラフィック予測とトランスポートネットワークにおける伝送技術及び近年の標準プロトコルを含むパスレイヤ技術の歴史的な進展を述べたのち、研究目的と上記4つの課題の概要を説明する。第2章では、研究課題の関連技術について示す。第3章では研究課題1に対して、第4章では研究課題1及び3に対して、第5章では研究課題1~3に対して、それぞれ新しい方式の提案とそれらの有効性を示す。第6章では、第3~5章までで有効性を明らかにした再配置方式にさらに研究課題4を考慮した方式の提案と有効性について示す。第7章に本博士論文のまとめと今後の展望について述べる。

第3章では、波長レイヤにおける波長連続制約による収容効率の悪化を抑制するための事前設計・再配置方式を提案する。提案方式はあらかじめ需要予測に応じて事前に波長パスの設計を行う。対地間毎に波長の束として波長を予約し、設定要求時に波長を払い出すことで高速な設計を可能とする。また、需要予測から乖離したときは、事前に予約した波長を仮想的に再配置することで柔軟な設計も可能とする。本提案方式が、従来のパス設定要求の度に設計を行う方式と比較して有効であることを示す。

第4章では、再配置問題に対して以下3つのフェーズ：①再配置実行のタイミング、②再配置設計、③再配置前から後へ移設する手順、を考慮した波長パス再配置方式を提案する。フラグメンテーションコスト及び移設コストを導入した数理計画法（ILP）ベースの設計を提案し、波長のフラグメンテーションを削減しつつ移設手順数を削減することが可能であることを確認する。また、波長パスのリソース管理に基づいた再配置方式と発見的アルゴリズムを提案する。提案方式は、既存のファイバ設備において、収容可能な波長パス本数を全対地間について演算することで波長パスのリソースを管理し、ある対地間の収容可能なパス本数があらかじめ指定した閾値を下回ったときに再配置を実行する。提案の発見的アルゴリズムは、波長チャンネル内の波長収容率（使用波長数/ファイバリンク数）が小さいパスから大きいパスへ、固定経路で移設を行うアルゴリズムと、複数の最短経路を探索し移設を行うアルゴリズム、さらに再配置先と再配置元の経路の組合せ探索により収容先を決定するアルゴリズムの3つを提案する。提案アルゴリズムは、①波長チャンネル毎の波長収容率に応じて適応的に再配置元・再配置先を選択し、②波長収容率が小さい波長チャンネル内の波長パスから順番に波長収容率が大のチャンネルへ移設する、という2つの特徴をもつ。本提案方式並びに再配置アルゴリズムが従来のアルゴリズムと比較し、使用ファイバ数を削減しつつ、移設手順数も削減可能であることを示す。

第5章では、波長パス及びサブ入パスの再配置方式を提案する。サブ入パスに対して設備コストを最小化するための再グルーミングを行った後に、波長のフラグメントを最小化する波長デフラグを行う2段階のILPを用いた設計方式を提案する。また、サブ入パスに対して発見的アルゴリズムを提案し、第4章で提案した波長パス再配置アルゴリズムを実行する適応的な再配置方式を提案する。これらの方式を用いることにより、サブ入パスの

再グルーミングを行うことで大幅な設備コスト削減が可能であること、また波長デフラグによりファイバ増設も抑えられることを示す。

第 3 章～第 5 章によって、マルチレイヤパスの再配置方式の基本検討を行い提案方式の有効性が確認された。一方で、再配置を行うことでサービス断や遅延量が変化する等、信頼性や伝送品質の低化が懸念される。この課題に対応するために、第 6 章では、様々な信頼性クラスが混在したネットワークにおける設計・再配置方式を検討する。信頼性クラスは予備経路の有無と再配置の有無の組合せから以下の 4 つのクラス、1. 最高信頼性クラス：予備経路有・再配置無、2. 高信頼性クラス：予備経路有・再配置有、3. 低信頼性クラス：予備経路無・再配置無、4. 最低信頼性クラス：予備経路無・再配置有、を定義する。また、予備経路をもつ場合の再配置方式として、現用と予備経路を混在して再配置を行う方式、現用と予備経路を独立に再配置を行う方式を提案する。さらに、大規模なネットワークにおいても高速に信頼性の尺度を評価できるアルゴリズムを導入する。提案された 4 つのクラスを考慮することにより、考慮しない場合と比較して信頼性を担保したまま高効率な設計が可能であることを示す。

第 7 章では、本博士論文をまとめるとともに研究成果に関する今後の展望を述べる。本博士論文は、サブパス及び波長パスのマルチレイヤパスに対して、上述の 4 つの研究課題に取り組み提案方式の有効性を確認した。本博士論文で確立された再配置方式は、将来的に動的で大容量の次世代の無線方式である LTE-Advance 等が導入されたネットワークにおいて、その有効性が拡大すると考えられる。また近年、さらなる大容量化と柔軟な設計を行うための、波長の周波数幅を柔軟に変え距離に応じて波長パスを設計するエラスティック光ネットワークが近年提案された。エラスティック光ネットワークへの対応として、本論文で検討した波長もしくはスペクトルの連続性、リンクの連続性の 2 軸を考慮し、さらに位相変調に応じて伝送距離を適応的に変更することを考慮した再配置方式の検討が重要であり将来的な研究課題として取り組む必要がある。