

## 論文の内容の要旨

論文題目	Hitless Defragmentation to Increase Traffic Admissibility in Elastic Optical Networks (エラスティック光ネットワークにおけるトラフィック収容性を向上させるための無瞬断デフラグメンテーション)
学位申請者	Ba Seydou (バ セイドウ)

本論文は、エラスティック光ネットワークにおいて、信頼性とトラフィック収容性を向上させるために、2つの適用するシナリオに対して、無瞬断デフラグメンテーションの方式を提案する。エラスティック光ネットワークは、スペクトル資源をトラフィック需要に応じて柔軟に利用できるため、スペクトル資源に関して弾力性を有する。

動的な光パスの設定・解除により、使用可能なスペクトル資源が未整列・非連続となるスペクトルの分断が生じる。エラスティック光ネットワークにおいて、スペクトルの分断をスペクトルフラグメンテーションと呼ぶ。スペクトルフラグメンテーションは、スペクトル資源を有効的に利用できないという問題を引き起こす。通信中の光パスを瞬断することなく、スペクトルの分断の発生を抑制して、スペクトル資源を有効的に利用するエラスティック光ネットワークの制御が課題となっている。スペクトルのフラグメンテーションを改善することをデフラグメンテーションと呼ぶ。無瞬断デフラグメンテーションは、通信中の光パスを瞬断することなくフラグメンテーションを解消するアプローチとして位置づけられている。無瞬断デフラグメンテーションは、解除した光パスのスペクトルの空きを埋めるように、運用中の光パスのスペクトルをリチューニングするので、新たな光パスの要求の受付を促進する。リチューニングとは、スペクトルを移動して、スペクトルの再整理を行うことである。

第1章では、本研究の背景ならびに目的を述べ、本論文の構成を示す。

第2章では、1重化のみの光パスを設定するエラスティック光ネットワークを想定し、無瞬断デフラグメンテーションのための経路分割方式を提案する。提案方式では、スペクトルのリチューニングのためにスペクトルを移動する際に、可能な限り他の光パスとの衝突を回避できるように、異なるスペクトル割当ポリシーに応じた経路群を分割する。従来の無瞬断デフラグメンテーションは、ファーストフィット割り当てを用いているので、デフラグメンテーションが有効的に進行しないという問題が生じる。ファーストフィット割り当ては

スペクトルを下の方へと詰める。これはリチューニングされる必要がある多くの光パスをもたらす、それぞれの光パスが他のスペクトルのリチューニングを妨げることがある。提案方式は、スペクトル割当ポリシーとして、ファースト・ラストフィット割当ポリシーを採用する。ファースト・ラストフィット割当ポリシーでは、1つの経路群に対しては、ファーストフィット、他方の経路群に対しては、ラストフィットを用いる。異なる分割に割り当てられる光パスは他の光パスを妨げることではない。したがって、経路分割はリチューニングの際に光パス間の干渉を回避することができる。経路分割問題は全体の干渉を最小化するように経路を分割する問題であり、これを整数線形計画問題として定式化する。定義された経路分割問題は、NP完全であることを証明する。

第3章では、経路分割問題は全体の干渉を低減する発見的手法を導入する。発見的手法として、最小カットを用いた負荷分散経路選択アルゴリズムについて述べる。性能評価により、提案方式は従来方式よりも、光パスのブロッキング率を低減させ、全体の許容トラフィック量を増加させることを示す。

第4章では、1+1プロテクションにより2重化された光パスを設定するエラスティック光ネットワークを想定し、現用パスと予備パスを切り替えながら無瞬断デフラグメンテーションを実行する方式を提案する。従来のデフラグメンテーション方式は、現用パスと予備パスが予め固定されている。従来方式では、現用パスによるフラグメンテーションを引き起こし、無瞬断デフラグメンテーションの実行を妨げる。提案方式では、1+1プロテクションにおける現用パスと予備パスを同時に切り替える。これにより両方の光パスのスペクトルの再割り当てを許容し、予備パスが機能している間も無瞬断デフラグメンテーションを行うことができる。現用パスと予備パスを同時に切り替える無瞬断デフラグメンテーション問題は、現状の光パスのスペクトルが割り当てられたとき、パスの切り替えと再割り当て操作の回数を制限しつつ、スペクトルフラグメンテーションを最小化するスペクトルを再割り当てする問題であり、これを整数線形計画問題として定式化する。定義した静的なスペクトル再割り当て問題は、NP完全であることを証明する。

第5章では、1+1プロテクションにより2重化された光パスを設定するネットワークにおいて、動的なスペクトル再割り当てを行うために、スペクトルフラグメンテーションを再割り当てする発見的手法を導入する。性能評価により、提案方式は従来方式よりも、光パスのブロッキング率を低減させ、全体の許容トラフィック量を増加させることを示す。

第6章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。

本論文で得られた成果は、エラスティック光ネットワークにおけるトラフィック収容性を向上させるための無瞬断デフラグメンテーションの方式を示すものであり、今後の光ネットワークの設計・制御において、要素技術となり得る。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 BA SEYDOU

審査委員主査 大木 英司

委員 來住 直人

委員 山尾 泰

委員 伊藤 大雄

委員 松浦 基晴

本論文は、エラスティック光ネットワークにおいて、信頼性とトラヒック収容性を向上させるために、2つの適用するシナリオに対して、無瞬断デフラグメンテーションの方式を提案している。エラスティック光ネットワークは、スペクトル資源をトラヒック需要に応じて柔軟に利用できるもので、スペクトル資源に関して弾力性を有するものである。

動的な光パスの設定・解除により、使用可能なスペクトル資源が未整列・非連続となるスペクトルの分断が生じる。エラスティック光ネットワークにおいて、スペクトルの分断をスペクトルフラグメンテーションと呼ぶ。スペクトルフラグメンテーションは、スペクトル資源を有効的に利用できないという問題を引き起こす。通信中の光パスを瞬断することなく、スペクトルの分断の発生を抑制して、スペクトル資源を有効的に利用するエラスティック光ネットワークの制御が課題となっている。スペクトルのフラグメンテーションを改善することをデフラグメンテーションと呼ぶ。無瞬断デフラグメンテーションは、通信中の光パスを瞬断することなくフラグメンテーションを解消するアプローチとして位置づけられている。無瞬断デフラグメンテーションは、解除した光パスのスペクトルの空きを埋めるように、運用中の光パスのスペクトルをリチューニングするので、新たな光パスの要求の受付を促進する。リチューニングとは、スペクトルを移動して、スペクトルの再整理を行うことである。

第1章では、本研究の背景ならびに目的を述べ、本論文の構成を示している。

第2章では、1重化のみの光パスを設定するエラスティック光ネットワークを想定し、無瞬断デフラグメンテーションのための経路分割方式を提案している。提案方式では、スペクトルのリチューニングのためにスペクトルを移動する際に、可能な限り他の光パスとの衝突を回避できるように、異なるスペクトル割当ポリシーに応じた経路群を分割する。従来の無瞬断デフラグメンテーションは、ファーストフィット割り当てを用いているので、デフラグメンテーションが有効的に進行しないという問題が生じる。ファーストフィット割り当ては

スペクトルを下の方へと詰める。これはリチューニングされる必要がある多くの光パスをもたらす、それぞれの光パスが他のスペクトルのリチューニングを妨げることがある。提案方式は、スペクトル割当ポリシーとして、ファースト・ラストフィット割当ポリシーを採用している。ファースト・ラストフィット割当ポリシーでは、1つの経路群に対しては、ファーストフィット、他方の経路群に対しては、ラストフィットを用いる。異なる分割に割り当てられる光パスは他の光パスを妨げることではない。したがって、経路分割はリチューニングの際に光パス間の干渉を回避することができる。経路分割問題は全体の干渉を最小化するように経路を分割する問題であり、これを整数線形計画問題として定式化している。定義された経路分割問題は、NP完全であることを証明している。

第3章では、経路分割問題は全体の干渉を低減する発見的手法を導入している。発見的手法として、最小カットを用いた負荷分散経路選択アルゴリズムについて述べる。性能評価により、提案方式は従来方式よりも、光パスのブロッキング率を低減させ、全体の許容トラフィック量を増加させることを示している。

第4章では、1+1プロテクションにより2重化された光パスを設定するエラスティック光ネットワークを想定し、現用パスと予備パスを切り替えながら無瞬断デフラグメンテーションを実行する方式を提案している。従来のデフラグメンテーション方式は、現用パスと予備パスが予め固定されている。従来方式では、現用パスによるフラグメンテーションを引き起こし、無瞬断デフラグメンテーションの実行を妨げる。提案方式では、1+1プロテクションにおける現用パスと予備パスを同時に切り替える。これにより両方の光パスのスペクトルの再割り当てを許容し、予備パスが機能している間も無瞬断デフラグメンテーションを行うことができる。現用パスと予備パスを同時に切り替える無瞬断デフラグメンテーション問題は、現状の光パスのスペクトルが割り当てられたとき、パスの切り替えと再割り当て操作の回数を制限しつつ、スペクトルフラグメンテーションを最小化するスペクトルを再割り当てする問題であり、これを整数線形計画問題として定式化している。定義した静的なスペクトル再割り当て問題は、NP完全であることを証明している。

第5章では、1+1プロテクションにより2重化された光パスを設定するネットワークにおいて、動的なスペクトル再割り当てを行うために、スペクトルフラグメンテーションを再割り当てする発見的手法を導入している。性能評価により、提案方式は従来方式よりも、光パスのブロッキング率を低減させ、全体の許容トラフィック量を増加させることを示している。

第6章では、本論文の結論と今後の課題について述べている。

本論文で得られた成果は、エラスティック光ネットワークにおけるトラフィック収容性を向上させるための無瞬断デフラグメンテーションの方式を示すものであり、今後の光ネットワークの設計・制御において、要素技術となり得る。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。