

氏名	ZHENG WEICHANG		
学位の種類	博士(社会工学)		
学位記番号	博甲第10773号		
学位授与年月日	令和5年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査学術院	理工情報生命学術院		
学位論文題目	<p style="text-align: center;">Routing and Resource Allocation in Space Division Multiplexing Elastic Optical Networks</p> <p style="text-align: center;">(空間分割多重光ネットワークにおける経路決定と資源割当)</p>		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	張 勇兵
副査	筑波大学 教授	博士(理学)	繁野 麻衣子
副査	筑波大学 教授	博士(理学)	繆 瑩
副査	筑波大学 准教授	博士(情報学)	Phung-Duc Tuan
副査	筑波大学 准教授	博士(情報科学)	木村 成伴

論文の要旨

審査対象論文は、空間分割多重光通信ネットワークにおけるルーティングおよび資源の割当手法に関する研究であり、光デバイスのコストやマルチコア光ファイバの特性を考慮し、空間分割多重光通信ネットワークを構築する際のコストとそれによりもたらされるネットワーク性能との関係を明らかにしている。また、高信頼性光通信ネットワークを構築する問題を考え、効率的なヒューリスティックアルゴリズムを提案し、その有効性を示すとともに不確定な通信需要を考慮する場合の資源割当問題の解を求めた。

第1章では、研究の背景および本論文の目的、本論文で得られた主な結果を簡潔に紹介している。まず、光通信ネットワークが時分割多重(TDM)技術や波長分割多重(WDM)技術、エラスティック光通信(EON)技術などから進化し、空間分割多重(SDM)技術を用いたネットワークの構築までの先行研究を概観している。次には、空間分割多重技術を用いて光通信ネットワークを構築するにあたって、ネットワークの構築コストとその性能との関係および高信頼性ネットワークの構築に関する本論文で得られた研究成果のまとめを述べている。

第2章では、光通信技術発展の歴史および現在最先端の研究対象となっているSDM技術や空間チャネル技術を用いたネットワーク構築問題について詳細に説明している。非同期転送モード(ATM)およびTDM技術、WDM技術、EON技術の紹介に続き、これから激増すると予想されるネットワーク通信需要に応えるため、マルチコアやマルチファイバを用いたSDM技術、並びに光要素技術としてファイバや光スイッチの構成部品についてレビューし、SDMネットワークを構築する種々の手法を説明している。

第3章では、マルチコアファイバを用いて周波数帯域チャンネルの多重とマルチコアからなる空間チャンネルの多重との組合せをスーパーチャンネルとして考え、超大容量の通信需要に応えられるネ

ネットワークの構築問題を扱っている。ここで、異なる多重粒度(*granularity*)のスーパーチャンネルを使用するのに必要のトランシーバや光スイッチなどの構造を詳細に分析している。また、実素子のコストパラメータ値を参考にシミュレーション実験を行うことにより、ネットワーク全体の構築費用およびその際に得られるネットワークの性能を明らかにし、周波数多重および空間多重の粒度はネットワークの構築コストおよび性能の両方に大きな影響をもたらす、また、その粒度が比較的小さい方がより低い構築コストとよい性能をもたらすことを発見している。

第4章では、光ファイバ、ファイバコア、光スイッチ、並びにそれらの複数素子による同時故障に対処できる高信頼光通信ネットワークの構築問題に焦点をあて、正常時に使われる通信用光伝送経路のほか、上記の故障が発生した場合、ネットワークへの影響が起らないように各通信用光伝送経路のためのバックアップ経路を用意することを考えている。通信用経路とバックアップ経路を同時に決定するのが膨大な時間が必要であるため、先行研究では、通信用経路が事前に決められた条件下でバックアップ経路のみを決定する手法が考えられている。一方、本論文では、通信用経路とバックアップの決定問題を別々の数理最適化問題として定式化し、まず通常用伝送経路の決定問題を解き、次には、その解に基づきバックアップの経路決定問題を解くようにし、全体の計算時間を減らす工夫をしている。また、大規模ネットワークの場合にも対応するため、K 最短路アルゴリズムとファーストフィットアルゴリズムを組合せたヒューリスティックな手法を新たに提案し、その問題を効率的に解くことができ、従来の手法より資源利用効率が優れていることを示している。さらに、 Γ -ロバスト最適化手法を使って通信需要の不確実性を持つ経路決定問題を数理最適化問題として定式化している。

第5章では、本研究の結果全般に対するまとめ及び今後の展望について述べられている。

審査の要旨

【批評】

審査対象論文は、激増するインターネットトラフィックの需要に応えるため、将来期待されている空間分割多重光通信ネットワークにおける効率的なルーティングおよび資源割当に関する問題を扱っている。まず、空間分割多重光通信ネットワークを構築する問題に焦点を当て、周波数帯域の多重および光ファイバコアによる空間の多重による組合せをスーパーチャンネルとして考え、ネットワークを構築するのに必要とされるトランシーバや光スイッチなどの合計コストとその際に得られるネットワーク性能を詳細に分析し、シミュレーション実験により光デバイス及び周波数資源、ネットワーク性能の間の関係を明らかにしている。次に、空間分割多重光通信ネットワークにおける耐故障問題に着目している。正常時に使われる通信伝送経路と光ファイバや光スイッチなどの光素子において故障が発生した場合の対処法として、伝送経路のバックアップ経路を用意することを考えている。対象論文では、この問題を正常時の通信経路決定問題とバックアップ経路決定問題という2つの問題に分け、そのそれぞれを数理最適化問題として形式化し、逐次的に解くことにより、大規模ネットワークの場合でも比較的短時間で解を求めることができ、従来方式より優れていることを示している。さらに、通信需要が不確実である場合、ロバスト最適化手法をもちいて経路決定問題を数理最適化問題として形式化できている。

以上の研究成果は当該研究分野に大きく貢献していると言え、博士論文としての十分な水準に達していると判断する。

【最終試験の結果】

令和5年1月31日、理工情報生命学術院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群社会工学学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（社会工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。