

平成 28 年度研究開発成果概要書

採択番号：171A01

課題名：エラスティック光通信ネットワーク構成技術の研究開発

個別課題名：課題 A エラスティック超高信頼光 NW 設計技術

副 題：グリーンで高信頼なエラスティックネットワーク設計を実現

(1) 研究開発の目的

通信トラフィックの継続的な増大傾向により、10 G ~ 100 G のイーサネットクライアントの効率的収容と転送のため、現在 100 Gb/s のリンクシステムの商用化が進展しており、最近では 400 G イーサネットの標準化が IEEE において開始されつつある。一方で、モバイルやクラウド等の新しいサービスの進展と浸透により、トラフィックの量や分布を正確に予測し、ネットワーク設計に反映することがますます困難になっている。また 2012 年 ITU-T において、これまでの固定グリッドに代わる新しい光周波数リソースの活用方法として、フレキシブルグリッドが提案・合意され、G.694.1 勧告の改訂が完了した。このように、今後 100 Gb/s を超える大容量化や、予測の難しいトラフィックに対応するとともに、フレキシブルグリッドに基づくエラスティック光通信ネットワークの柔軟性を最大限に引き出す、エラスティック光通信ネットワーク構成技術の開発が急がれる。通信オペレータ、システムベンダ、大学の 3 者がそれぞれの強みを持ち寄り、エラスティック光通信ネットワーク構成技術の研究開発を行い、光周波数の利用効率において、固定グリッドに比較して 30 % 以上の高効率化と、ネットワーク全体としての消費電力の 50 % 以上の低減を可能とする方式の実現可能性を示す。さらに、東日本大震災などの大規模災害に対して、エラスティック光通信ネットワークの柔軟性を最大限活用することにより、固定グリッドに比較して 50 % 以上の復旧性能向上を実現する超高信頼化技術のフェージビリティを検証する。課題 A は特に、エラスティック NW を実現するにあたってのネットワーク全体を考慮した管理設計面の課題を解決することを目的とする。固定グリッドの場合に比べ、フレキシブルグリッドにおいては、高い周波数利用効率や、高い復旧性能、さらには低消費電力化の恩恵にあずかる一方で、これを実現するには、スロット配置やスロット幅の自由度が高まり、加えて距離やビットレートに応じて適応的に変調符号等を最適化する必要もある。さらには、高信頼化のために冗長系を確保する場合においても、冗長系との間で距離が異なる場合もあり、このように、従来にはなかった複雑性が設計において課題となる。本課題のねらいはまさにこの課題を解決して、ネットワーク全体の観点からエラスティック NW のポテンシャルを最大限に引き出すことを目的としている。

(2) 研究開発期間

平成 25 年度から平成 28 年度（4 年間）

(3) 実施機関

日本電信電話株式会社<代表研究者>、富士通株式会社、
国立大学法人名古屋大学（実施責任者 准教授 長谷川 浩）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 220 百万円（平成 28 年度 50 百万円）

※百万円未満切り上げ

(28-1)

(5) 研究開発課題と担当

- 課題 A-1： L2 以上の上位レイヤを含むエラスティック NW 統合設計技術の研究
(日本電信電話株式会社)
- 課題 A-2：変動トラヒックを想定したエラスティック NW の柔軟性向上技術の研究
(富士通株式会社)
- 課題 A-3：冗長系を考慮したエラスティック NW 高信頼化技術の研究
(国立大学法人名古屋大学)

(6) これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	2	0
	外国出願	1	0
外部発表	研究論文	6	5
	その他研究発表	35	7
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	5	3
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

- 課題 A-1 L2 以上の上位レイヤを含むエラスティック NW 統合設計技術の研究
(日本電信電話株式会社)

【最終目標】

上位レイヤのトラヒック特性や制約等を考慮し、それを効率的に転送できるようネットワークを最適化し、その上で需要となる論理パス情報を課題 A-2、A-3 に提供することで同課題と連携し、課題 A 全体で 50 % 以上の低消費電力化および 30 % 以上の周波数利用効率向上を目指す。これまでは、主に物理トポロジが与えられた条件下で、どれだけ効率的に需要となる論理パスを収容するのに焦点が注がれていた。課題 A-1 においては、さらなるリソースの効率的活用を実現するため、上位レイヤまでその検討対象を拡大し、物理トポロジを含む最適化問題を対象としており、得られた結果を課題 A-2、A-3 での効率的な収容設計と共有・協調することで目標となる高い周波数利用効率を実現する。

【実施内容および最終成果】

IP トラヒックの中長期的変動に対して、論理パスレイヤおよび光パスレイヤを動的に再構成するマルチレイヤ動的設計アルゴリズムを確立し、50 % の低消費電力化を確認し、最終目標を達成した。加えて、エラスティック光パスに対応した論理パスの静的設計アルゴリズムを確立し、所要光パス数の大幅な削減により、課題 A-2、A-3 の連携に向けた周波数リソース利用低減への寄与も達成した。外部発表も積極的に実施し、目標を上回る成果をあげた。

当初目標外の成果として、エラスティック光パスの設定・制御が可能な光送受信ボードの作製を行い、収容設計結果に基づいて光送受信ボードへ光パス設定を実行する連携制御動作の確認を実施した。以上により、最終目標を 100 % 以上達成した。

- 課題 A-2 変動トラヒックを想定したエラスティック NW の柔軟性向上技術の研究
(富士通株式会社)

【最終目標】

変動トラヒックを想定したエラスティック NW に対応するトランシーバモデルに基づくダイナミックな経路/周波数スロット配置設計手法における設計・試作・評価を完了し、100 Gb/s 超の伝送速度を用いた広域のエラスティックネットワークにおいて、周波数利用効率 30 % に迫る改善能力を実現することが可能であることを実証する。特に、課題 A-1 L2 以上の上位レイヤを含むエラスティック NW 統合設計技術の研究、並びに課題 A-3 冗長系を考慮したエラスティック NW 高信頼化技術の研究と連携し進める。

【実施内容および最終成果】

エラスティック光NWにおいて変動トラヒックを想定しない場合を対象とし、最適な変調符号選択、パスの到達性を考慮した経路/周波数(波長)スロット収容設計手法を開発し、30%の周波数利用効率改善が図れることを原理確認した。また、変動トラヒックにも対応できる周波数スロット再配置設計アルゴリズムの開発を行い、現用系光パスに関して周波数利用効率を30%以上改善できることを確認した。上記により最終目標を100%達成した。外部発表も積極的に実施し、目標を大きく上回る成果をあげた。

目標外の成果として、周波数スロット再配置を実行する場合の手順を最小化する設計技術も開発した。評価により、その手順が半分以下に削減されることを確認し、本技術を実システムへ適用する場合の障壁を下げた。

さらに、課題A-1、A-3との連携実証、提案手法による実機制御に関する基本検討を実施し、最終目標を100%以上達成した。

・課題A-3 冗長系を考慮したエラスティックNW高信頼化技術の研究

(国立大学法人名古屋大学)

【最終目標】

本課題では、エラスティック光パスの帯域・ビットレート・リーチの可塑性を最大限に活用し、かつ連続する災害等の大規模な障害においても接続性を高い確率で保証するための技術を開発する。特に、課題A-1 L2以上の上位レイヤを含むエラスティックNW統合設計技術の研究および課題A-2 変動トラヒックを想定したエラスティックNWの柔軟性向上技術の研究と連携しながら、トラヒックの変動や、障害によるネットワークポロジの変化に適應するための予備パス網の再最適化を、状況に応じた計算時間制限内で達成することを目指す。課題A-3における災害や通信需要変動を考慮した、復旧時間の短縮を図れる予備系設計技術について課題Bで活用することで復旧性能向上に寄与する。

【実施内容および最終成果】

エラスティック光パスネットワークにおける共有型パスプロテクションの導入と新たな繰り返し最適化手法を用いた現用及び予備パス網の再構築による共有度の最大化、高密度波長パス収容を可能にする粗粒度ルーティング光パスネットワークアーキテクチャの導入とその上での冗長化光パスの実現法の検討などを実施した。従来の独立型パスプロテクションを導入したエラスティック光パスネットワークと比べても、障害時の接続性を維持しつつ50%以上の周波数利用効率の向上を達成した。エラスティック光パスの導入によるネットワーク資源利用の効率化に鑑みれば、従来の固定グリッド型ネットワークに比べて飛躍的な周波数利用効率の向上を実現している。外部発表も積極的に実施し、目標を大きく上回る成果をあげた。

さらに、この周波数利用効率の向上を維持しながら更なる高信頼化を達成するための検討と発表を実施し、最終目標を100%以上達成した。