

平成 27 年度研究開発成果概要書

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

採 択 番 号 : 171A01

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 G ビット/秒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 G ビット/秒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より、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 27 年度 54 百万円)

※百万円未満切り上げ

(27-1)

(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：変動トラフィ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	1	0
	その他研究発表	28	12
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	2	1
	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（NTT）

【目標】

平成 27 年度は、高信頼性とエラスティック NW による高効率性との両立が可能な NW 構成方法の検討を実施し、評価を実施した。また、信頼性をはじめとする NW の特性評価を多様な環境において柔軟に行うための基盤機能を構築した。

【実施内容】

エラスティック NW の高信頼化にあたってボトルネックとなるデバイスの検討を実施し、今後マルチキャリア化が想定されるトランスポンダの信頼性向上の必要性を明確化し、その解決策の検討および評価を実施した。

また、平成 26 年度までに開発を行ってきたレイヤ統合設計データベースについて、設計情報の取得や格納を容易にするためのレイヤ統合設計評価機能の整備を実施した。

さらに、平成 26 年度までに検討した、地理的・時間的に変化する IP トラフィックを効率的に上位レイヤで収容し、下位レイヤであるエラスティック光パス需要を生成するためのレイヤ統合設計アルゴリズムについて、消費電力等の観点から評価を行った。

【成果】

（サブキャリアのリストレーションによるマルチフロートランスポンダの高信頼化）

トランスポンダを構成するサブキャリア単位での予備系を配備し、故障発生時にリストレーションを行うサブキャリアリストレーション方式を提案した。Point-to-Point で複数レートの光パス需要が混在して到着する評価環境において、複数レートに対応した固定帯域のトランスポンダを個別に配備した場合や、マルチフロートランスポンダにて冗長系を配備しない場合の稼働率に対し、追加するサブトランシーバ数を抑えつつ、サブトランシーバの冗長系を配備したマルチフロートランスポンダの稼働率を大幅に向上できることをシミュレーションにより確認した。

（レイヤ統合設計評価機能の整備）

パス設計プログラムが設計データベースに対して、NW 設計結果の格納や、設計に必要なデータ（制約情報や既設パス情報等）の柔軟な取得を可能にする汎用インタフェースを試作した。HTTP ベースの API を用いてテーブル情報を容易に取得できるだけでなく、API の拡張による柔軟な情報の取得を可能にし、今後の評価を柔軟に実施するための環境を整備した。

（消費電力の観点からのレイヤ統合設計の初期評価）

レイヤ統合設計アルゴリズムを適用するネットワークモデル・装置モデル・消費電力モデル

の検討を行った。また、動的に変化するトラヒックを効率的にエラスティック光パスへ収容し、トラヒックオフロード効果による IP ルータのラインカード削減効果について初期評価を行い、評価モデルの環境においては消費電力が 50%程度削減可能である見通しを得た。

・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）

【目標】

平成 27 年度は、平成 26 年度に研究を行った ITU-T G.709 OTN インタフェース勧告の ODU 信号を対象とした既存トラヒック再配置設計方式をベースに、フレキシブル波長グリッドへと対応させる設計方式の研究開発を行う。具体的には、フレキシブル波長グリッド環境が持つエラスティック光パスの経路や周波数スロット割り当てなどの制約を考慮した上でトラヒック変動を契機とした既存エラスティック光パス再配置計算アルゴリズムを開発する。

【実施内容】

フレキシブル波長グリッド環境下において、トラヒックの変動に起因して周波数利用効率が劣化した際に、それを解決する光パスの波長再配置と再配置時の変更手順を同時に考慮できるネットワーク再配置設計アルゴリズムの検討・試作・評価を実施した。

【成果】

エラスティック光パスの経路や周波数スロット割り当てなどの制約を考慮したスロット配置アルゴリズム(平成 25 年度成果)、および変更手順を考慮したスロット再配置アルゴリズム(平成 26 年度成果)を統合・拡張することにより、フレキシブル波長グリッド対応の光パスを対象としたネットワーク再配置および変更手順設計アルゴリズムを確立した。また、本アルゴリズムを搭載した再配置設計ツールの試作を実施し、基本動作を確認した。本ツールを用いた評価を JPN48 ネットワークに対して実施し、波長再配置により 30%に迫る周波数利用効率改善を平成 25 年度成果と同様に維持しつつ、従来手法ではなしえなかった Make Before Break での波長変更を少ない手順数で実現可能であることを確認した。

・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（名古屋大学）

【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ト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ものである。

平成 27 年度では、まず、平成 26 年度に導入した適応的な予備系再構築の枠組みをさらに推し進めて高信頼化を図る。同時に、エラスティック光パスをネットワークに収容する上で、粗粒度での経路制御を導入して伝送特性の劣化を回避しつつネットワークの実質的な容量を大幅に高める枠組みも併せて導入し、これまで培ってきた予備パス網の効率化と融合させてこれまでに無いネットワーク容量を実現するための方向性を確立する。

【実施内容】

エラスティック光パスネットワークにおける粗粒度での経路制御の導入と、冗長化による高信頼化の基礎検討を行った。粗粒度での経路制御を行いつつ、周波数利用効率を向上するための伝送に伴う劣化を制約する上のメカニズムを 2 種類検討した。一方は粗粒度単位での共有型プロテクションによる高信頼化であり、他方はパス単位での独立型プロテクションによる高信頼化である。

【成果】

粗粒度経路制御による高信頼化エラスティック光パスネットワークの 2 種類のアーキテクチャとその設計アルゴリズムの提案を行った。粗粒度経路制御を行いつつ、信号劣化を上限値以下に制約する上での光パス収容戦略を、各々のアーキテクチャについて開発し、これらを考慮した設計アルゴリズムとしている。

第一のアーキテクチャとして、粗粒度単位での共有型プロテクションの提案を行っている。

これは、粗粒度単位でのプロテクションとすることで、信号劣化の発生する状況を限定的なものとして、この状況の発生を制限することで信号劣化の上限を満たすことを容易にしているものである。また、粗粒度での予備系への切り替えを行うため、障害発生時の切り替えおよびそれに伴うシグナリングが単純化されることが利点と言える。一方、粗粒度単位でのプロテクションに伴うルーティング能力の低下を補うための光パス配置の最適化も考慮した設計アルゴリズムを開発している。この設計アルゴリズムでは、粗粒度経路制御の状況と光パスの収容状況を、平成 26 年度以前に開発した再設計アルゴリズムを用いて再最適化しており、周波数利用効率をさらに高めることに成功している。

第二のアーキテクチャとして、光パス単位での独立型プロテクションによる高信頼化を導入した、粗粒度ルーティング光ネットワークを提案している。独立型プロテクションでは障害時の回復が早く、現在のネットワークで標準的に用いられているため、初期検討を行う上でこのプロテクション方式を採用している。また、信号劣化の上限を設定する上で、予備系光パスの周波数領域の共有がない当該アーキテクチャはよりシンプルである。粗粒度ルーティングネットワークへの現用および予備パス収容アルゴリズムを開発し、各種ネットワークトポロジにおける性能評価を行った。従来型の独立型光パスプロテクションを採用したエラスティック光パスネットワークに比べて、2割程度の周波数利用効率の向上を実現することを示している。平成 28 年度に当該アーキテクチャをさらに進展させた共有型光パスプロテクションを導入し、設計手法をさらに改良することにより究極的な周波数利用効率を実現することを目指している。