

平成 26 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 : 171B01
個別課題名 : 課題 B エラスティック光ノード・リンク構成技術
副題 : グリーンで高信頼なエラスティックノード・リンクを実現

(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、10G~100G 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 100G 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 400G 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 B は特に、エラスティック NW そのものを構成する主要素である光ノード・リンク構成の課題を取り扱う。同ノードやリンクにおいては、ITU-T で国際標準化された任意のスロット幅を持つ光信号を、光のまま自在にスイッチングしたり、あるいは電氣的終端シグリング処理を行ったり、あるいは伝送距離を達成するために、光再生中継処理を行うなど、従来の単一帯域の光信号を取り扱う場合に比較して、非常に多種多様な機能を提供することが可能となる。加えて 100G を超えるような大容量の光信号が不具合を起こすインパクトは甚大なため、その転送の信頼性を根本的に向上する必要もある。さらに、万が一の故障や災害に際して、光帯域を柔軟に生かすことで高い復旧性能を実現することも肝要である。その一方で、多くの機能を実現するノード・リンク構成が取り得る形態は非常に多岐にわたると考えられる。

(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>、日本電気株式会社、
国立大学法人香川大学 (実施責任者 教授 神野正彦)

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 256 百万円 (平成 26 年度 66 百万円) ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題 B-1：ロバスト・エラスティック光リンク構成技術の研究
(日本電信電話株式会社)

課題 B-2：高信頼エラスティック光ノード構成・制御技術の研究
(日本電気株式会社)

B-2-1. 高信頼エラスティック光ノード制御技術

B-2-2. エラスティック光ノード構成技術

課題 B-3：エラスティック光エッジシステム構成・制御技術の研究
(国立大学法人香川大学)

(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	15	12
	外国出願	2	2
外部発表	研究論文	1	1
	その他研究発表	23	18
	プレスリリース	0	0
	展示会	1	1
	標準化提案	1	0

(7) 具体的な実施内容と成果

- ・課題 B-1 ロバスト・エラスティック光リンク構成技術の研究

【目標】

前年度試作を行った回路をベースとし、送信側において、符号化された信号を複数レーンにマッピングする分離機能部、ならびに受信側において、複数レーンにマッピングされた符号化信号をまとめる結合機能部の方式設計を行い、符号化されたクライアント信号のマルチレーンへの分離機能、及びマルチレーンに分かれた信号を結合する結合機能を「符号化信号の分離・結合回路」として試作検証を実施した。

【実施内容】

- ・(クライアント信号の符号化・分離機能、及び復号化・結合機能方式設計)

マルチレーン伝送における送信側において、符号化された信号を複数レーンにマッピングする分離機能部、ならびに受信側において、複数レーンにマッピングされた符号化信号をまとめる結合機能部の方式の考案及び提案を行った。

- ・(「符号化信号の分離・結合回路」の基本設計書の作成および機能評価)

上記可変符号化信号の分離・結合回路のハードウェア実装に関し、送信端における符号化・分離機能回路および受信端における復号・結合処理機能回路の基本設計書の作成を行い、ハードウェアによる機能確認を行った。

【成果】

- ・(クライアント信号の符号化・分離機能、及び復号化・結合機能方式設計)

前年度の試作の結果、符号化・復号化に関してメモリ量が実装上の問題になることが分かったため、省メモリ化に関する特許を出願し、今年度の試作に取り入れた。分離・結合の基本単位となる符号化ブロックの構成及び、冗長化情報を格

納する符号化ブロックヘッダの設計を行った。

・(「符号化信号の分離・結合回路」の基本設計書の作成および機能評価)

送信側では、クライアントUDP パケットを符号化ブロックに収容し、符号化ブロックを複数の IP トンネルで転送を行う経路分離回路の設計を行った。受信側では、IP トンネルパケット単位での消失訂正を行った後、経路結合を行い、クライアント UDP パケットを抽出する回路の設計を行った。FPGA ボードに「符号化・分離機能、及び復号化・結合機能」を内蔵した 10GbE×4 NIC の試作を行い規定通りの動作を確認した。

・課題 B-2 高信頼エラスティック光ノード構成・制御技術の研究

B-2-1. 高信頼エラスティック光ノード制御技術

【目標】

H25 年度に課題 A と連携して定めたエラスティック光ノード共通パラメータを用い、課題 A/B が想定するネットワーク・トラヒックモデルに適した方式を、H25 年度に絞り込んだ方式の中から決定する。復旧性能を 50 % 以上向上させるエラスティック光ノード制御方式の基本設計を完了する。

【実施内容】

甚大災害により多重障害が発生した場合にも、十分な障害復旧性能を確保するために、冗長度を高めることが必要である。冗長度を高めるために、エラスティック光ノードの導入により、削減した波長スロットに、予備のエラスティック光パスを追加割当する際に、障害復旧性能を最大化するための割当制御方式を比較検討した。具体的には、H25 年度に行った、高信頼エラスティック光パス制御方式に関する比較検討結果を利用し、エラスティック光パス長と占有波長スロット数に応じた、①光パス割当順序制御方式について、さらに、それらに対して、②光パス逆多重化制御方式を適用した場合について、予備のエラスティック光パスの追加割当率を指標として、計算機シミュレーションにより、障害復旧性能を評価した。

また、H25 年度に課題 A と連携して定めたエラスティック光ノード共通パラメータを用いて、光ノード制約条件下での高信頼エラスティック光ノード制御の基本設計となる、光ノード制御の基本ワークフローを策定した。

【成果】

高信頼エラスティック光ノード制御方式に関して、割当制御方式の比較検討の結果、障害復旧性能の向上効果が最大となる方式は次の通りであった。

①光パス割当順序制御方式：「エラスティック光パスの短距離優先」、
「占有波長スロット数の最小優先」が有効

②光パス逆多重化制御方式：当該制御方式を適用すれば常に有効

さらに、日本全国規模の基幹光ネットワークの実情を反映した、JPN48 トポロジーモデルを想定した場合に、障害復旧性能を固定グリッド網比で、51%向上可能であることをシミュレーションにより明らかにした。

また、高信頼エラスティック光ノード制御の基本設計に関して、障害回復性能を向上するために、既設の運用光パスと予備光パスに対して SLRG ディスジョイントを満たす様に、予備のエラスティック光パスを追加設定するための光ノード制御の基本ワークフローを策定し、基本設計を完了した。

B-2-2. エラスティック光ノード構成技術

【目標】

光周波数帯域を効率的にマッピング可能となる変調方式可変の基本設計を完了する。基本設計に必要となる QPSK 方式による帯域効率化の実現方式の実証検証を、H25 年度に実現した 400G 伝送システムを用いて行う。

【実施内容】

効率的に光周波数帯域をマッピング可能とする変調方式可変の基本設計を実施した。変調方式/Baud Rate/キャリア数の3つの可変パラメータを有するエラスティックトランスポンダのアーキテクチャを複数検討した。スループットが 400Gbps の条件下でトランスポンダの各部位に要求される機能やトランスポンダの可変性能を比較検討した。また複数のプロテクションパスが形成されるエラスティック光ネットワーク内での使用を想定しブロッキング率の評価を実施した。

また、さらなる帯域効率化に向けたスペクトル整形技術に関し、QPSK 方式による帯域効率化の実証検証を、400G 伝送システムを用いて実施した。実証検証では、エラスティックトランスポンダの実現形態の一つとして、信号光サブキャリア周波数やスペクトル帯域/形状を可変可能な QPSK 変調 400Gbps 伝送システムを使って帯域効率化の評価を行った。

【成果】

変調方式/Baud Rate/キャリア数が可変するトランスポンダの各部位への要求機能を抽出した。複数のトランスポンダ構成の中より実現性やブロッキング率の観点で Baud Rate が一定の構成が優位であることを明らかとし、変調方式可変の基本設計を完了した。また、さらなる帯域効率化に向けたスペクトル整形技術に関し、400G 伝送システムを用いて、25%の周波数帯域削減を従来と同等の信号品質で実現できることを実験的に明らかとした。

・課題 B-3 エラスティック光エッジシステム構成・制御技術の研究

【目標】

H25年度の結果を踏まえ、各種エラスティック光エッジシステムアーキテクチャを比較検討して、利害得失の初期評価を得る。故障復旧方式のアルゴリズム実装の第一歩として、エラスティックリジェネレータへのスーパーチャネルの収容設計アルゴリズムの実装と性能評価を実施する。プログラマブル・マルチキャリア・ジェネレータのプログランブル動作を実現する。

【実施内容】

エラスティック光エッジシステム構成・制御技術

・(システムアーキテクチャ検討)

エラスティック光エッジシステムアーキテクチャ比較の材料として、現実的な光ノードの挿入損失ならびにフィルタ通過・阻止特性を考慮したスーパーチャネル転送特性をシミュレーションにより解析した。

・(NW・ノード制御方式検討)

VER 配置と経路計算・スペクトル割り当てアルゴリズムとして、最短経路上に VER を共有しつつ配置するアルゴリズム (SP-FN) と VER 共有可能な VER 最適配置を計算して VER 数を最少化するアルゴリズム (MVER-LC) を考案し、SP-FN については、1+1 プロテクション方式を実装した。

・(光機能回路の基本機能・性能確認)

エラスティック光エッジシステムを実現する上でキー技術のひとつとなるプログラマブル・マルチキャリア・ジェネレータ (PMG) において、集積化された 2 台の導波路型 MZI を光周波数リファレンスとして用いた、4sub-chPMG 実験系

を構築し、基本動作を検証した。

- ・(企画調整と技術動向調査)

OECC ならびに OFC、PN 研究会、OCS 研究会など主要国内学会への参加し技術動向調査を実施した。

【成果】

光ノードの多段ルーティングにより、スーパーチャネルの両端に位置するサブチャネルほど、また高次多値変調フォーマットほど、OSNR ペナルティの増加が大きくなり、何らかの対策が必要であるとの知見を得た。アンプロテクションの場合で SP-FN 方式と MVER-LC 方式を比較し、MVER-LC の方が V ER 数を少なくできることを明らかにした。4sub-ch プログラマブルなマルチキャリア発生を実証するとともに、マルチキャリアの一括周波数掃引の可能性を確認した。