

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 : 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100G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ルーミ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

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 256百万円(平成27年度 62百万円)
※百万円未満切り上げ

(27-1)

(5) 研究開発課題と担当

- 課題 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	22	5
	外国出願	11	9
外部発表	研究論文	1	0
	その他研究発表	33	10
	プレスリリース	0	0
	展示会	2	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（NTT）

【目標】

平成 26 年度は、平成 25 年度に試作した基本機能回路をベースとし、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、およ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、全体としての連携動作を検証した。平成 27 年度は、上記分離・結合回路をベースとし、より柔軟性、信頼性を向上するため、符号化されたクライアント信号の分離・結合比率を可変とする機能拡張について方式設計を行い、「符号化信号の可変分離・結合機能拡張」として試作を実施し、さまざまな故障や災害に対する高い信頼性を実現する基本機能についてフィジビリティを確認し、方式の妥当性を検証する。

【実施内容】

平成 26 年度に実施した「符号化・分離機能、および復号化・結合機能回路」をベースに、10G×4 レーン版の符号化/復号化回路の 100G×4 レーン化を進めるとともに、下記について検討を進めた。

① OTN 信号フォーマット（OTU4）への対応

平成 26 年度に試作を行った IP パケットのカプセル化技術をベースに OTN 信号フォーマットに適用可能な符号化信号のマッピング方式の検討

② クライアント信号の分離・結合比率を可変とする機能拡張

クライアント信号のレーン数に応じて適応的に符号化・復号化における分離・結合比率を変更可能とする方式の検討

上記 2 つの検討を踏まえた基本設計および RTL レベルでの機能実装を行い、シ

ミュレーションによる機能確認を行った。

【成果】

前述の実施内容について基本設計書の作成を行い、RTL レベルでの機能実装を行った。さらにシミュレーションの結果、以下の機能を確認した。

① OTN 信号フォーマット (OTU4) への対応

レーン障害が起こった際に OTN 信号のフレームロスを検出し、OTN フレーム単位で消失訂正を行うことで、受信端ではクライアント信号に対して 1 ビットの影響を与えることなく復旧可能であることを確認した。また、信号品質が劣化し、受信端で OTN 信号の機能である誤り訂正符号の訂正限界を検出した場合にも、本回路を用いて復号可能であることを確認した。

② クライアント信号の分離・結合比率を可変とする機能拡張

送信側ではクライアント OTU4 フレームのフレームロスを検出し、空き帯域として認識することで、適応的に分離・結合比率を変更可能であることを確認した。

・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 (NEC)

B-2-1. 高信頼エラスティック光ノード制御技術

【目標】

平成 26 年度の成果である、グリーンフィールド設計において、障害復旧性能を 50%以上向上するための高信頼エラスティック光パス制御方式をベースとして、平成 27 年度は、ブラウンフィールド設計でも、固定グリッド網と比較して、復旧性能を 50%以上向上するために、複数の復旧性能向上機能を統合した制御ソフトウェアを試作した。具体的には、平成 25 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、エラスティック光ノード構成に起因する波長割当制約条件を考慮した上で、

① クライアント信号の追加・変更・削除への対応により、エラスティック光ノード制御のブラウンフィールド設計機能、

② 伝送線路および光ノード構成に基づいて、光周波数ごとの回線品質に応じた、光周波数帯域の効率的なマッピングを実現する、エラスティック光ノード制御機能、

に対応するエラスティック光ノード制御ソフトウェアの部分試作を完了した。

【成果】

・(エラスティック光ノードの制御ソフトウェア部分試作)

①について、ブラウンフィールド設計機能として、波長フラグメンテーション/割当済波長スロット/収容スループットを考慮した動的な光パス方路切替制御機能を試作し、クライアント信号の追加・変更・削除に応じて、クライアント信号を収容するエラスティック光ノード制御機能を提案し、実装した。

②について、詳細化したエラスティック光ノード制御モデルに基づいて、光ノード通過段数/非線形クロストーク劣化モデルに基づいた透過帯域制御機能を試作した。

平成 26 年度に設計したノード制御機能と、上述した①、②の機能とを統合する、エラスティック光ノード制御ソフトウェアを試作し、基本動作を確認した。

以上により、エラスティック光ノードの制御ソフトウェアの部分試作を完了した。

B-2-2. エラスティック光ノード構成技術

【目標】

平成 26 年度に実施した、光周波数帯域を効率的にマッピング可能とする、変調方式可変方式の基本設計と帯域効率化の実証により得られた結果を活用して、アダプティブかつフレキシブルな光パス生成や切替を可能とするエラスティック光ノードの部分試作と機能検証を完了する。

【実施内容】

・(適応変調方式設計)

平成 26 年度に実施した、(A) エラスティック光パスのボーレート/キャリア数/変調方式の 3 つのパラメータに可変機能を有するエラスティック光ノードのアーキテクチャの比較検討、(B) 信号光サブキャリア周波数を任意に制御可能でかつ信号光スペクトル帯域/形状を可変可能な QPSK 変調 400Gbps 光送受信機を使った帯域効率化の評価結果を基に、平成 27 年度は、①ノード内部に配置された光フィルタによる伝送性能への影響について、光キャリアの変調方式、周波数間隔、光キャリア周波数精度および、光フィルタの通過数、フィルタ周波数精度、およびフィルタ帯域特性の観点からのトレードオフ分析を実施した。①の結果に基づいて検討を進め、②前項の分析結果を基にした、光フィルタによる伝送性能劣化を最小化するための光ノードアーキテクチャの考案および部分試作、③光キャリアと光フィルタの周波数オフセットを最適化するための制御アーキテクチャの考案および部分試作を実施した。

【成果】

①のトレードオフ分析については、光フィルタの多段通過による帯域狭窄による信号帯域のフィルタリングが伝送性能劣化の主要因であることを明らかにし、さらに光キャリアと光フィルタの中心周波数のオフセットによる帯域狭窄、およびキャリア間のクロストークによる伝送性能への影響についてシミュレーションにて明らかにした。

②のノードアーキテクチャの考案および部分試作については、Cyclic AWG を用いた光ルータにおいて帯域狭窄を低減させ、かつフレキシブルグリッドに対応可能なフィルタ形状を有する Simplified OXC アーキテクチャを提案し、複数のフィルタ形状パラメータで試作し、課題 B-2-1 のエラスティック光ノード制御ソフトウェアを用いて、最適条件を明らかにした。

③の周波数オフセットの最適化に関しては、制御アーキテクチャの部分試作によって、伝送性能に対する光キャリアと光フィルタの周波数オフセットが及ぼす影響を明らかにした。また、各種制御アーキテクチャの方式を比較・検討し、各方式の得失、および課題を明らかにした。

・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 (香川大学)

【目標】

平成 26 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マブル動作を実現する。

【実施内容】

(システムアーキテクチャ検討)

(27-1)

エッジノードのクロストークとフィルタリング効果、ならびに干渉チャンネルが蓄積した分散量の影響を考慮して、非線形ならびに線形伝達特性を解析した。

(NW・ノード制御方式検討)

エラスティックリジェネレータによる 1 + 1 プロテクション方式をプログラミング実装した。また、資源共有縮退プロテクション(SP-FB: Shared Protection - Fall Back) 方式のアルゴリズムを詳細化するとともに、故障復旧性能を机上検討した。

(光機能回路の基本機能・性能確認)

プログラマブルマルチキャリア発生器 (PMG) の電流直接駆動による高速制御方式への変更と偏波保持系への改良を実施した。

(企画調整と技術動向調査)

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

【成果】

予備資源を共有する2本の現用パスが同時に故障した場合であっても、仮想化再生中継器と資源共有縮退プロテクション(SP-FB)方式を採用することにより、故障復旧性能を94%向上させる可能性があることを、机上検討により明らかにした。干渉チャンネルが与える非線形光学効果は、分岐挿入頻度が高いときには抑制される傾向があるが、これは干渉チャンネルが蓄積した群速度分散量によりキャンセルされ、その結果、分岐挿入頻度依存性はほぼ消失し、ネットワークの設計上、考慮する必要がないことが明らかになった。PMGの高速電流直接制御と偏波保持系の採用により、PMGのプログラマブル動作の周波数制御性が向上することを確認した。