

平成 25 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

通信トラヒ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、トラヒ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、予測の難しいトラヒ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し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) 委託先

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 25 年度 70 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) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	4	4
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	1	1
	その他研究発表	5	5
	プレスリリース	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	1	1

(7) 具体的な成果実施内容と成果

・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】

冗長度可変かつレーン障害に対して高い耐性を実現する新しい符号化方式の考案と、それを実現する実装技術の方式設計を行い、クライアント信号の同符号化方式による符号化機能、ならびに復号機能を「冗長度可変符号化・復号処理基本機能回路」として試作、その初期評価を実施する。

【実施内容及び成果】

(冗長符号・復号方式検討)

レーン障害に対して高い耐性を実現する可変冗長符号 (MLRC) のハードウェア実装への最適化を行った。具体的には、従来、複数ステップの演算手順で符号・復号化を行っていたものを、それぞれ 1 回のガロア体行列演算で完了するよう改良した。

(符号化・復号処理基本機能回路の設計)

前記改良により、符号化・復号計算はガロア体行列演算回路のみで可能となったため、 8×8 の積和演算回路から構成されるガロア体行列演算回路を市販 FPGA 上にインプリメントする設計を行った。

(符号化・復号処理基本機能回路の評価)

FPGA 上のメモリに蓄えられた 8 レーン分のフレームデータに対し、ガロア体行列演算による符号化・復号計算を行い、結果の正当性の確認とスループットの計測を行った。任意の仮想的な障害に対し、正しくフレーム修復が行われていることを確認し、スループットは入出力トータルで 40 Gbps であった。

(エラスティックネットワーク復旧性能の国際標準化)

フレキシブルグリッドに基づくエラスティック光ネットワークの災害からの復旧性能について、ITU-T Focus Group on Disaster Relief Systems, Network Resilience and Recovery に提案・採択された。

・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】

エラスティック光ノードにおいて、転送データに対して伝送容量・距離に応じて光周波数帯域を効率的にマッピングする基本検討を行う。複数方式の比較検討を行い、最も効果的な方式を選択する。

【実施内容及び成果】

高信頼エラスティック光ノード制御方式に関して以下の検討を行った。エラスティック光パス長、ホップ数、占有波長スロット数に応じた割当順序制御、さらに、それら各々について First-Fit 方式、Most-Used 方式による割当て波長スロット選択制御を用いた場合について、計算機シミュレーションによる比較を行った。「短距離優先」、「最小ホップ数優先」、「最小波長スロット数優先」とした場合に光パス要求のブロック率低減が可能であることを確認した。JPN48 トポロジーモデルでは、最大 40 % のブロック率低減効果と、一重障害回復に要するネットワークリソース低減効果を確認した。また、柔軟な伝送フレームに関する標準化動向に関し、ITU-T SG15 Q11 動向調査を行い、ハードウェア障害耐力が高いアーキテクチャを考案した。以上より、光周波数帯域を効率的にマッピングする方式の比較検討を行い、効果的な方式を選択した。

B-2-2. エラスティック光ノード構成技術

【目標】

伝送容量・距離に応じてアダプティブな光周波数帯域の効率的マッピングを実現するためのエラスティック光ノード構成の初期検討を行う。構成の比較検討や実現上の課題整理を行うことを通して、ダイナミックな伝送帯域や方路切替に最も効果的な構成を選択する。

【実施内容及び成果】

キーデバイスである高精度 Tunable-LD を選定し、これを用いた適応変調光送受信機を試作・評価した。選定にあたっては、信号光キャリア周波数が 6.25 GHz 単位で可変可能であること、出力光パワーが安定であることを条件とし、技術/性能/入手性を重視した。また、その Tunable-LD を適応変調光送受信機光源に用いた場合の光ノード構成を検討した。適応変調光送受信機の実現形態の一つとして、変調方式固定方式に関し、信号光サブキャリア周波数を任意に制御可能な QPSK 変調 400 Gbps 光送受信機を試作、出力光信号品質を評価した。その結果、±2.5 GHz 以下の信号光周波数安定度と ±1 dBm 以下の出力光パワー安定度が得られることを確認した。また、信号サブキャリア光周波数間隔を 50 GHz から 37.5 GHz に削減しても良好な伝送特性が得られることを確認した。以上より、ダイナミックに光周波数帯域を効率的にマッピングできる光ノード構成を選択した。

・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】

エラスティック光エッジシステムに必要な機能と性能を分析し、各機能の最適配備を念頭に、光エッジシステムのアーキテクチャ、NW・ノード制御方式、評価項目を検討する。また共有可能でプログラマブルな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光機能回路の構成法、評価法を考案する。

【実施内容及び成果】

エラスティック光エッジシステムに必要な機能と性能の分析のため、各種スーパーチャネルの転送特性をシミュレーションした。具体的には、エラスティック

光ネットワークに特徴的な、様々な帯域、様々な変調方式のスーパーチャネル混在時のオプティカルリーチ特性を調べ、ポイント・ツー・ポイント WDM システムとの違いを明らかにした。

エラスティック NW とエッジシステムの制御方式を検討し、新しい復旧方式を考案した。本方式を用いれば、単一故障時に 100 % 救済可能なように配備したリジェネレータ資源を、多重故障時に複数の光チャネルで融通して共有する方式であり、全国規模の広域光ネットワークにおいても最低限の接続性を確保し、ネットワークのサバイバビリティを確保可能と期待できる。

エラスティック光エッジシステムのキー技術の一つとなるプログラマブル・マルチキャリア・ジェネレータの評価系を構築した。2 台の波長可変 DFB-LD の発振周波数間隔を、周期的光フィルタの FSR の整数倍の間隔に制御可能であることを確認した。