

平成 27 年度研究開発成果概要書

課 題 名 : 光トランスペアレント伝送技術の研究開発

採 択 番 号 : 153 イ

個別課題名 : 課題イ 波長/サブ波長適応制御技術に関する研究開発

副 題 : バースト適応収容技術と誤り訂正/線形適応等化技術による
トランスペアレント領域拡大と消費電力低減

(1) 研究開発の目的

本研究開発課題では、バースト信号を含むアクセス網のユーザトラフィックを効率的に収容し、オール光で伝送できるトランスペアレント領域（帯域×伝送エリア）をアクセスネットワーク全体で 10～100 倍に拡大し、4P ビット/秒 × km の領域において 100G ビット/秒を超える容量の情報をユーザへ直接伝送可能とする技術の研究開発を行う。具体的には、異なる粒度・信号レートのバースト回線や point-to-point の回線の適応収容技術、誤り訂正/線形等化技術の研究開発を行う。これにより、アクセス網エンドユーザに対して多様なサービスの提供を可能にして ICT の利活用を積極的に促進する。さらに、サブ波長/波長変換によるアクセス網からの一気通貫伝送を実現することで、ネットワーク全体として 2025 年の消費電力 25%削減を可能とする技術の確立を目的とする。

(2) 研究開発期間

平成 23 年度から平成 27 年度（5 年間）

(3) 実施機関

三菱電機（株）＜代表研究者＞、日本電気（株）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 883 百万円（平成 27 年度 155 百万円）

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題イ 波長/サブ波長適応制御技術に関する研究開発：

1. 課題イ-1：波長/サブ波長適応制御技術に関する研究
 - 課題イ-1-1 可変粒度バースト信号収容技術（三菱電機（株））
 - 課題イ-1-2 可変適応収容技術（三菱電機（株））
2. 課題イ-2：誤り訂正/線形適応等化技術
 - 課題イ-2-1 誤り訂正適応等化技術（三菱電機（株））
 - 課題イ-2-2 適応線形等化技術（日本電気（株））

(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	44	10
	外国出願	47	18
外部発表	研究論文	3	0
	その他研究発表	83	20
	プレスリリース・報道	8	0
	展示会	14	3
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

(1) バースト適応収容技術

粒度の異なるバースト信号等を効率的に収容する可変粒度バースト信号収容技術に関して 100Gbps の OTN (Optical Transport Network) 転送フレームにバースト信号を含む様々な粒度の信号を適応的に収容する OTN 転送フレーム構造可変方式として、効率的なトランスペアレント転送に優位な方式を選定し、必要なパラメータを明確化した。妥当性を検証のため、課題イ-1-2 にて確立する可変適応収容技術と接続性を有し、100G ビット/秒で動作する検証システムを試作した。可変パリティの割り当て動作が可能であることを確認した。さらに、OTN 転送フレーム構造可変方式の適用領域と光ネットワーク上における効果について検証した。これらにより、効率的なトランスペアレント転送が可能な信号収容技術を確立し、最終目標を達成した。

また、可変適応収容技術の研究として、課題イ-1-1 にて検討している OTN 転送フレーム構造可変方式との接続性を有するレート可変誤り訂正符号化方式について、その基本アルゴリズムの検討を行い、レート可変基本アルゴリズムとしてパンクチャ方式と行分割方式を選定すると共に、選定したパンクチャ方式および行分割方式の方式設計を進めた。パンクチャ方式では、LDPC (Low-Density Parity-Check) 符号パリティビットの間引き (パンクチャ) による影響を符号語全体に分散することで、性能向上を図る方式を開発した。また、行分割方式では、LDPC 符号を規定するパリティ検査行列内の性能劣化要因を解消するような行分割操作により、性能向上を図る方式を開発した。

(2) 誤り訂正適応等化技術

軟判定誤り訂正符号化/復号化技術および誤り訂正復号部と連携したターボ MAP 等化技術に関して、100Gbps 超の伝送を考慮した基本アルゴリズムを検討した。

軟判定誤り訂正技術として、LDPC (Low-Density Parity-Check) 符号を規定するパリティ検査行列に、規則的構造で構成する多重空間結合法を適用することで、誤り訂正性能の劣化要因を回避する手法を開発し、計算機シミュレーションにより、従来の NICT 委託研究成果よりも 2dB 以上高いネット符号化利得 (NCG: Net Coding Gain) = 12.0 dB @ Post-FEC BER = 1E-15 を達成することを確認した。また、この選定した多重空間結合同型 LDPC 符号は、BPSK/QPSK/16QAM でほぼ同等の誤り訂正 BER 特性であることを確認した。

また、ターボ MAP 等化技術として、移動窓を用いた MAP 推定方式および分数間隔タップによる統計的系列推定方式を開発し、典型的な伝送路を想定した伝送シミュレーションにより、約 0.7dB の受信 Q 値改善効果が得られることを確認した。

選定した軟判定誤り訂正方式について、回路仕様策定とハードウェア記述言語 (RTL) による回路試作を行い、その試作回路の評価および品質確認を完了し、回路 IP 化の実現性の見通しを得た。また、課題内・課題間連携実験により、方式の妥当性を確認し、誤り訂正適応等化技術を確立した。これにより、課題イ-2-2 の適応線形等化と連携して、3dB に迫る受信 Q 値の向上を実現し、最終目標を達成した。

課題イ-1 の成果と合わせ受信 Q 値が約 6dB 向上するため、トランスペアレント転送領域は 16 倍と当初の目標である 10 倍を上回る成果が得られた。

(3) 適応線形等化技術

光伝送路で生じる様々な波形歪みを適応的に等化する適応線形等化方式について、波形歪みの特徴に応じて周波数領域等化処理及び時間領域等化処理の各々の利点を活かした歪み補償を行うことによって、回路規模を増大することなく受信特性を改善することが可能な周波数領域/時間領域ハイブリッド統合適応等化方式技術を確立した。その係数制御方式として、スペクトルモニタを用いた変調方式フリー等化制御、および、残留複合歪みを抽出して補償を行う高精度適応等化制御の協調動作で、高性能な波形歪み補償を実現する 2 段階適応係数制御方式を開発し、400Gb/s 級伝送実験において従来比 2.8dB の伝送特性改善を実証した。また、周波数領域等

(27-1)

化器を構成する歪み補償回路として、オーバーラップ量制御、FFT サイズ制御、動作スケジュール制御により、要求性能に応じて電力効率の観点で最適な回路構成へと再構築可能なリコンフィギュアラブルな回路方式技術を確立し、複数歪みを補償可能な回路構成において、QPSK 方式の場合で、単一構成の固定等化回路方式にと比較して最大 49%の消費電力の削減が可能であることを確認した。さらに、スループットが 10~100G 超ビット/秒に変化する少なくとも 2 種以上の異なる処理精度、および、処理速度が必要な歪み信号に対して、リアルタイムで動作する検証システムを構築し、課題内および課題間連携実験を行い方式の妥当性を確認した。以上により、適応線形等化技術を確立し最終目標を達成した。