

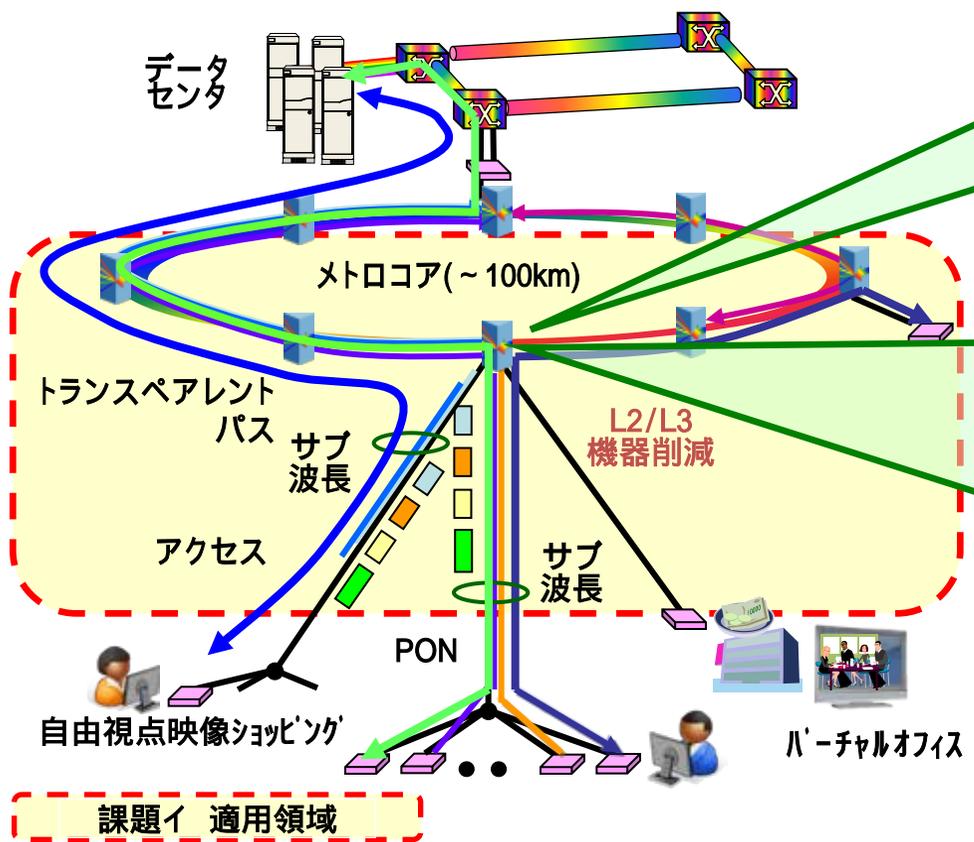
1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

課題名 : 光トランスペアレント伝送技術 (リーチ)に関する研究開発
 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
 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
 実施機関 : 三菱電機株式会社(代表研究者)、日本電気株式会社
 研究開発期間 : 平成23年度から平成27年度(5年間)
 研究開発予算 : 総額882百万円(平成27年度155百万円)

2. 研究開発の目標

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收容し、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)をアクセスメトロコア網全体で10~100倍に拡大し、100Gbps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い、3dBに迫る受信Q値の向上と2025年に消費電力25%削減する技術を確立する。

3. 研究開発の成果



課題イ-1: バースト適応収容技術
 トランスペアレント領域 4Pb/s x kmと2025年の消費電力削減25%を実現する
 課題イ-1-1: 可変粒度バースト信号收容技術(三菱電機)
 課題イ-1-2: 可変適応收容技術(三菱電機)

課題イ-2: 誤り訂正/線形適応等化技術
 トランスペアレント領域4Pb/s x kmと3dBに迫る受信Q値向上を図る
 課題イ-2-1: 誤り訂正適応等化技術(三菱電機)

課題イ-2-2: 適応線形等化技術(日本電気)

高 処理精度

低 処理帯域

歪信号1

歪信号2

歪信号3

光FE

ADC

プレ等化

適応線形等化

等化フィルタ

外部I/F

係数演算

状態1 状態N

平成27年度「光トランスペアレント伝送技術(リーチ)に関する研究開発」

課題Ⅰ「波長/サブ波長適応制御技術に関する研究」の研究開発目標・成果と今後の成果展開

課題Ⅰ-1 パースト適応収容技術

研究開発成果

Ⅰ-1-1 可変粒度パースト信号収容技術

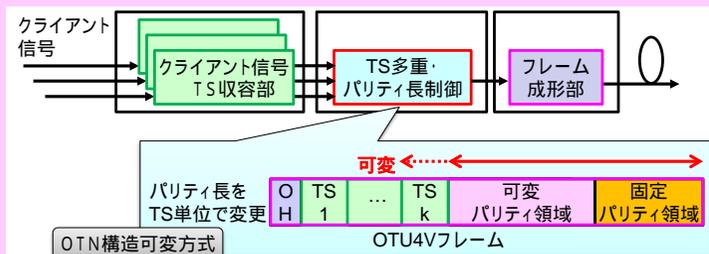
100GbpsのOTN転送フレームに適応的に収容を行う基本アルゴリズムとして、ペイロード領域でパリティを増減させることで伝送速度を保ったまま冗長度を増減するOTN転送フレーム構造可変方式を策定。

妥当性を検証するため、課題内で連携して100Gビット/秒で動作する検証システムを試作し、可変パリティの割り当て動作が可能であることを確認。

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での効果につき、検証を実施。有用性を確認。

最終目標の達成度:

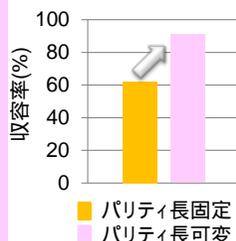
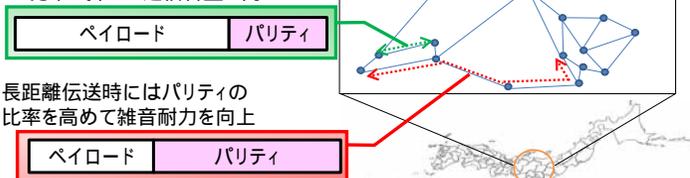
効率的なトランスペアレントパススルー転送が可能な信号収容技術を確立し、最終目標を達成した。



OTN転送フレーム構造可変方式および試作した検証システム

リアルタイム検証制御画面

短距離伝送の場合はパリティの比率を抑えて通信容量を向上



OTN転送フレーム構造可変方式を適用した光通信システム

収容率の向上効果

OTN: Optical Transport Network, GMP: Generic Mapping Procedure, ODTU: Optical channel Data Tributary Unit, ODU: Optical-channel Data Unit, TS: Time slot

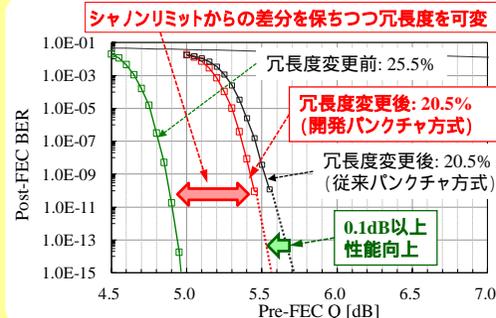
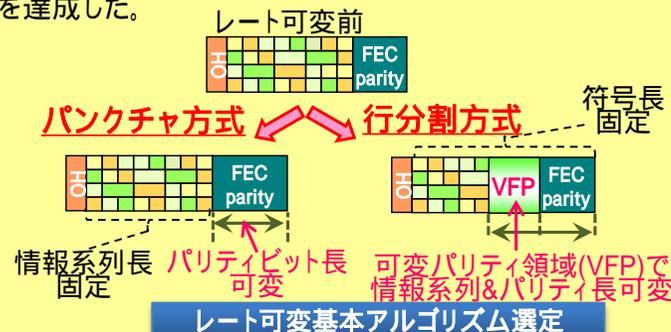
Ⅰ-1-2 可変適応収容技術

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。パンクチャによる復号演算の劣化の影響を符号語全体に分散する方式により、シャノンリミットからの差分を保ちつつ冗長度を可変にするパンクチャ方式を確立。

パリティ検査行列内の性能劣化要因を解消する行分割操作により、Grossの符号化利得を約3.5dBの範囲で可変とし、伝送距離を約2.2倍に延伸できる方式を確立。

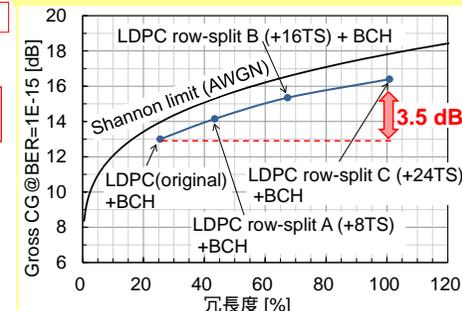
最終目標の達成度:

適応的に誤り訂正符号の符号化率を設定可能な可変適応収容技術を確立し、最終目標を達成した。



パンクチャ方式の計算機検証結果

OTN: Optical Transport Network, FEC: Forward Error Correction, VFP: Variable FEC Parity, LDPC: Low-Density Parity-Check



行分割方式の計算機検証結果

平成27年度「光トランスペアレント伝送技術(リーチ)に関する研究開発」 課題Ⅰ「波長/サブ波長適応制御技術に関する研究」の研究開発目標・成果と今後の成果展開

課題Ⅰ-2 誤り訂正/線形適応等化技術

研究開発成果

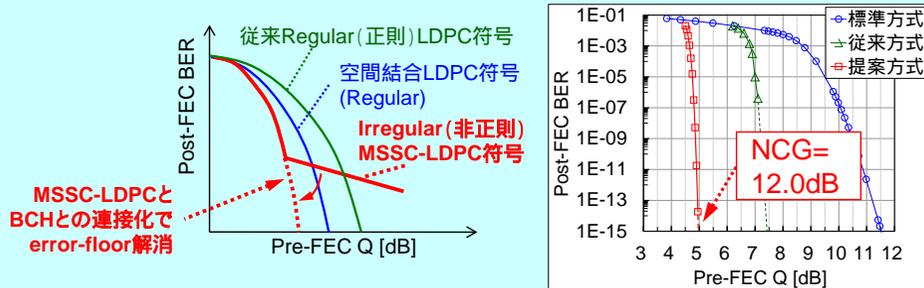
Ⅰ-2-1 誤り訂正適応等化技術

軟判定復号時の性能劣化要因を回避する方式として、多重空間結合型LDPC符号方式を確立、計算機性能検証でNCG=12.0dB@BER=1E-15を確認。BPSK / QPSK / 16QAM の各変調方式に対するFECの計算機シミュレーションを行い、ほぼ同等の誤り訂正BER特性であることを確認。

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。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。

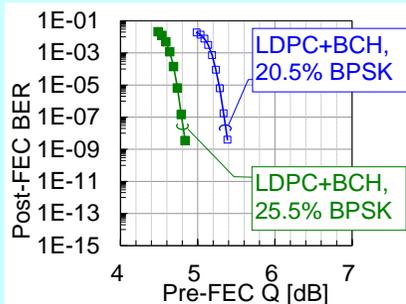
最終目標の達成度:

適応的な伝送 / 等化パラメータの最適化技術として、誤り訂正適応等化技術を確立し、最終目標を達成した。

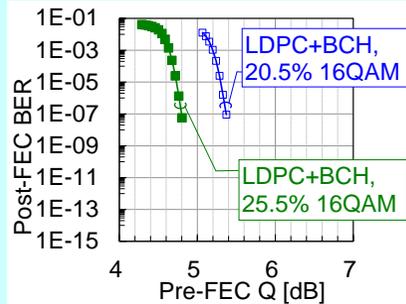


確立した方式(MSSC-LDPC)

計算機検証結果(QPSK)



計算機検証結果(BPSK)



計算機検証結果(16QAM)

LDPC: Low-Density Parity-Check NCG: Net Coding Gain
MSSC-LDPC: Multiple-Structured Spatially-Coupled type LDPC

Ⅰ-2-2 適応線形等化技術

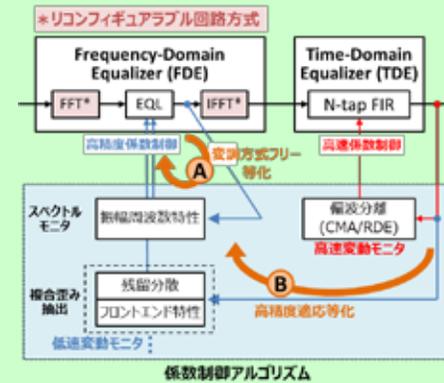
様々な波形歪みに対応したハイブリッド統合適応等化方式により高精度・低電力等化技術を確立。2段階適応係数制御技術により変調方式フリーな高精度等化を実現。ROADM機器通過に対するQ値劣化を2.8dB改善。

リアルタイム検証システムを構築し、帯域狭窄に対する耐性向上に関する実証実験および課題内連携実験を行い、提案方式の妥当性を確認。

動作スケジューリング制御・オーバーラップ制御・FFTサイズ制御により、要求性能に応じて最適化可能なリコフィャブル歪補償回路方式により電力49%削減を確認。

最終目標の達成度:

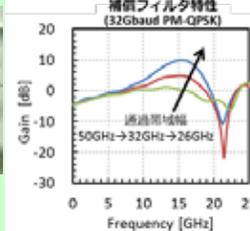
光伝送路で生じる線形歪みを適応的に等化する適応線形等化方式技術を確立し、最終目標を達成した。



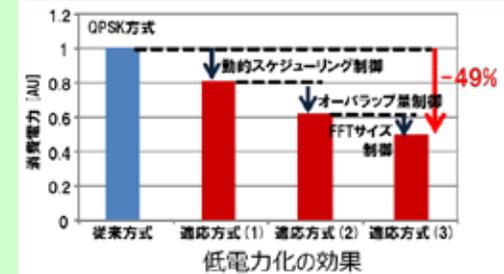
ハイブリッド統合適応等化方式



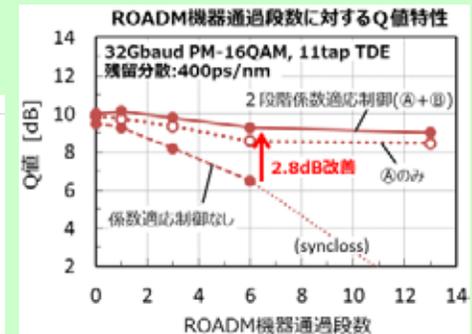
リアルタイム検証システム



リアルタイム検証システムによる
係数制御の適応動作確認



リコフィャブル歪補償回路の効果



ROADM機器通過に対する
2段階係数適応制御の効果

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
光トランスペアレント 伝送技術に関する 研究開発課題イ	44 (10)	47 (18)	3 (0)	83 (20)	8 (0)	14 (3)	0 (0)

成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) 学会発表

- OFC/NFOEC2012にて「Hardware-efficient Polarization Demultiplexing for QAM Signals Based on Dual Stage Decision-Directed Algorithm」など2件を発表。
- OECC2012において、「Digital Signal Processing for Equalization of Fiber Nonlinearity in Coherent Receivers」を研究成果として発表。
- Optic Express Vol. 20にて、「High-order statistical equalizer for nonlinearity compensation in dispersion-managed coherent optical communications」
- OFC/NFOE2013において、「A Spatially-coupled Type LDPC Code with an NCG of 12dB for Optical Transmission beyond 100Gb/s」「A Study on the Effectiveness of Turbo Equalization with FEC for Nonlinearity Compensation in Coherent WDM Transmissions」を研究成果として発表。
- OECC2013において、「A Study of Rate-Adaptive Forward Error Correction in OTU Framing」など3件を研究成果として発表。
- ECOC2014において「Forward error correction and DSP design-how to ensure the design performance」を研究成果として発表。
- IEEE Journal of Lightwave Technologyにて「DSP-based Optical Modulation Technique for Long-haul Transmission」を研究成果として発表。
- 課題内連携実験の結果を2015年電子情報通信学会全国大会にて「適応周波数領域等化における最適係数設定手法の検討」として発表。
- ECOC2015において、「Long Haul Transmission of Four-Dimensional 64SP-12QAM Signal Based on 16QAM Constellation for Longer Distance at Same Spectral Efficiency as PM-8QAM」を発表。
- APCC2015にて「Demonstration of the Improvement of Transmission Distance Using Multiple State Trellis Coded Optical Modulation」を発表。Best Paper Award受賞。
- 課題内連携実験の結果を2016年電子情報通信学会全国大会にて「JGN-Xテストベッドにおけるダイナミック適応型フォトニックノードを用いた400Gbps/chリアルタイムフィールド伝送実験」として発表。
- フォトニックネットワーク研究会(2016/11)にて「サブキャリアアグリゲーションネットワークにおける収容効率の検討」を発表。JPNデザインコンテスト優秀賞受賞。
- OFC2016にて「A Practicable Rate-Adaptive FEC Scheme Flexible about Capacity and Distance in Optical Transport Networks」など2件を研究成果として発表。

(2) 展示会

- ITU Kaleidoscope conference 2013 Showcase (2013/4/22)にて「World's Best Error-correction Technology for Optical Communication Systems」を発表。
- CLEO-PR&OECC/PS 2013にて「R&D of optical transmission technology for transparent metro/access network」を研究成果として発表。
- CEATEC JAPAN 2013にて「世界最高、光通信システム用 誤り訂正技術」を研究成果として発表。
- FiberOpticsExpo (2014,2015)において、「次世代光通信向け信号処理技術」を研究成果として発表。
- フォトニックネットワークシンポジウム(2014,2015,2016)にて「光トランスペアレント伝送技術の研究開発(リーチ)」を研究成果として発表。

(3) 報道発表

- 世界最高性能の光通信システム用誤り訂正技術を開発(H24)

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 本研究の誤り訂正に係る技術の実用化に向け、ライセンス提供等による成果の展開・普及を図る。さらに、通信システム事業として海底ケーブル/メトロネットワーク伝送装置の海外展開および国内展開を図る。
- 本研究開発の実用化においては、波長多重伝送システムにおける伝送装置に対して開発方式の搭載を検討する。また、本研究成果の適応線形等化技術を、より回路実装にフォーカスした実用化開発に展開し、海洋通信システムビジネスを通じた、成果の海外展開・普及を図る。