

採 択 番 号 : 20401  
研究開発課題名 : 超並列型光ネットワーク基盤技術の研究開発  
副 題 : 大規模データを省電力・オープン・伸縮自在に収容する超並列処理光技術

(1) 研究開発の目的

本研究開発課題では、複数の光チャネルを束ねて運用管理するスーパーチャネルを、周波数軸・光空間多重軸にて密に多重化する将来の 1Pbps 級空間多重ネットワークにおいて、ピークの通信データ量の向上と、データ量当たりの電力削減、これまでにない大規模ネットワークの伸縮自在化やオープン化を可能とする超並列処理光技術の研究開発を行う。具体的には、先進の情報理論を用いた符号処理にて光運用波長単位の通信データ量増加と電力効率化を実現する信号復元復号処理・適応制御技術と、機械学習により非線形シャノンリミットを克服し、高次直交振幅変調 (QAM) 信号の伝送可能距離を大幅に延伸することでネットワークの周波数利用効率を改善する光送受信処理技術を超並列 DSP 高度化基盤技術として開発する。更に、100 多重級の空間多重伝送技術を用いて超並列信号から効率的にスライスを設計制御し、現行比 1000 倍相当の信号並列度を実現する超並列スライス設計制御技術、波長多重と空間多重を階層化した新たな Spatial Channel Network (SCN) を実現するアーキテクチャ及びそのネットワーク設計法を明らかにし、SCN 上で伸縮比 400 以上 (現行比 100 倍以上) を実現する超並列光ノード・ネットワーク構成技術、バイトストリームのレーン振分による超並列信号の生成と並列レーン数の動的変更を用いた動的帯域割当によりダイナミックにチャネル帯域幅割当を実現するダイナミック Media Access Control (MAC) 構成技術を超並列光ネットワーク基盤技術として開発する。これらの各超並列処理光技術を基盤技術として確立し、将来の 1Pbps 級空間多重光ネットワークの実現を支えることが本研究開発の目的である。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から平成 33 年度 (4 年間)

(3) 実施機関

三菱電機株式会社<代表研究者>  
国立研究開発法人産業技術総合研究所  
株式会社 KDDI 総合研究所  
国立大学法人香川大学  
学校法人慶應義塾

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 280 百万円 (平成 30 年度 70 百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 : 超並列 DSP 高度化基盤技術の研究開発  
1. 信号復元復号処理・適応制御技術 (三菱電機株式会社)  
2. 光送受信処理技術 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)  
研究開発項目 2 : 超並列光ネットワーク基盤技術の研究開発

1. 超並列スライス設計制御技術（株式会社 KDDI 総合研究所）
2. 超並列光ノード・ネットワーク構成技術（国立大学法人香川大学）
3. 超並列ダイナミック MAC 技術（学校法人慶應義塾）

(6) 特許出願、論文発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	2	2
	外国出願	1	1
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・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1：超並列 DSP 高度化基盤技術の研究開発

次年度以降の信号フォーマットやインタフェースの仕様検討に先駆けて、候補となるアルゴリズムの原型を抽出完了することを目標とし、理論解析やシミュレーションにより、電力効率改善や伝送距離延伸に係る技術の基本的な検討や試行的な検討を行った。

1. 信号復元復号処理・適応制御技術

1 運用波長当たり 10Tbps 級のスーパーチャネルへの適用を前提とし、電力効率 25 倍改善に資する信号復元復号処理およびスーパーチャネル内外での適応制御について、シェイピングと圧縮の利用を前提とした信号復元復号処理の基本検討、スーパーチャネル連携制御機能の基本検討、2 つの基本検討から抽出したアルゴリズム原案の要素評価を行った。結果、シェイピングと圧縮を組み合わせ、誤り訂正復号繰り返し数を動的制御することにより、情報源の有効領域が 50%である場合に、電力効率を 5 倍改善できることをシミュレーションにより明らかにした。方式・アルゴリズムのみでの改善目標 6 倍（LSI 技術進展との組合せで 25 倍）に向けて予定通りの進捗である。

2. 光送受信処理技術

非線形波形劣化補償のために用いられているニューラルネットワークの方式を調査した結果、畳み込み型や再帰型などの複雑な方式が特段有効に動作する例は報告されていないことがわかった。そこで本研究では、最も単純な全結合型を用いて検討を続行する。

平成 31 年度以降に光伝送評価系を用いた実験による評価を実施するために必要な準備として機材・消耗品を購入し、評価系の構築作業を予定通り進めた。一方で、オフラインの機械学習信号処理にもとづいて非線形波形劣化補償を実施するためのソフトウェアを作成した。このソフトウェアを、ファイバ長が数十 km の短距離伝送実験系と組み合わせ、基本的な動作を確認した。すなわち、非線形効果による受信波形の波形歪みが大きい場合でも、機械学習処理によって送信波形をほぼ正しく推定することに成功した。ただし疑似ランダムビット列を用いると、そのパターンを過学習してしまい、ランダムビットパターンには対応できないという知見を得た。今後はランダムビットパターンへの対応を行うべく、前段階として全シミュレーションによる検討に取り組むこととし、必要なソフトウェアの構築を開始した。

研究開発項目 2：超並列光ネットワーク基盤技術の研究開発

次年度以降のスライス設定、ノード・ネットワーク構成、ダイナミック MAC 技術の研究開発を促進し目標を達成するため、検証用テストベッドの構築、ノードアーキテクチャの提案、エミュレータの構築等を進めると共に、基本的な検証を行った。

### 1. 超並列スライス設計制御技術

最終年度目標である信号並列度の現行比 1000 倍相当の達成に向けて、モード間クロストーク等の主な信号劣化要因や縮退モードを考慮した周波数軸・空間軸のスライス割当て手法の検討を行い、モード間クロストークを抑制しつつスライス収容効率を向上させる新しい手法の提案を行った（特許出願）。また、課題 170 の資産も活用し、スライス制御・管理を行うテストベッド構築（今年度は Point-to-Point 構成）を行い、制御・監視技術の基本的な検証を行った。結果、オープンインタフェース（NETCONF/YANG 等）を用いてコア数 19・モードグループ数 2（現行比 38 倍の空間多重）相当の制御・監視を確認した。

### 2. 超並列光ノード・ネットワーク構成技術

超並列階層化光ノード構成技術と超並列階層化光ネットワーク設計技術に関し、コアスイッチアーキテクチャ、転送特性解析モデル、RCA（Routing and Core Assignment）アルゴリズムの一次検討を完了することを目標に、モジュール性に優れた階層化光クロスコネクタ（HOXC）を考案し、シミュレーションにより従来方式と定量的に比較するとともに、HOXC における光信号転送特性定式化と RCA アルゴリズムの一次検討を実施した。その結果、提案した 2 つの HOXC は、トラフィック量の増加に対して初期コストと終局コストを抑制することが可能であることを明らかにするとともに、光バイパスによる伝送距離延伸の可能性を示した。また、RCA アルゴリズムの基本設計を完了した。

### 3. 超並列ダイナミック MAC 技術

100 多重級の光空間多重と 10Tbps 級のスーパーチャネルを前提とした大規模光ネットワークを実現のための MAC アーキテクチャの要素技術として、ダイナミック MAC 実現方式の検討、ダイナミック MAC エミュレータの開発を行った。結果、並列レーンを効率よく利用し、1 レーン～400 レーンまでのダイナミックレーンバンドリングを実現可能な多段ラウンドロビン方式に基づく MAC アーキテクチャを考案した。また、多段ラウンドロビン方式の動作確認を行うためのダイナミック MAC エミュレータの構築を行い、40GE 入力、10GE パラレル出力でのエミュレータ環境を構築した。