

令和3年度研究開発成果概要書

採択番号 20501  
 研究開発課題名 高スループット・高稼働な通信を提供する順応型光ネットワーク技術の研究開発  
 副題 順応的に高スループット・高可用性を提供する光ネットワーク技術の開発

(1) 研究開発の目的

機械学習技術の活用による、順応型の光ネットワーク運用管理技術の研究開発を行う。機械学習とコヒーレント受信技術を融合して光物理層のモニタリング範囲を革新的に拡大し、変化や変動に対する対応を超迅速化(最大で従来比 1000 倍)する。またモニタリング結果と学習に基づき、従来の最悪値設計で見込んでいたマージンを順応的にゼロに近づけること(ゼロマージン化)によるスループット向上(従来比 30%以上)と、時間的に変動する環境下でも高可用性が維持できることを両立する。上記の実現により、機械学習の活用による革新的光ネットワーク運用管理基盤技術を確立する。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度 (4 年間)

(3) 受託者

富士通株式会社<代表研究者>  
 日本電気株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

平成 30 年度から令和 3 年度までの総額 640 百万円 (令和 3 年度 160 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 光物理層モニタリング技術  
 1-1. 機械学習を応用した光物理層モニタリング技術 (富士通株式会社)  
 研究開発項目 2 順応型光パス制御技術  
 2-1. 順応型光パス最適化技術 (日本電気株式会社)  
 2-2. 順応型光パス自動制御技術 (日本電気株式会社)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	12	3
	外国出願	8	4
外部発表等	研究論文	2	1
	その他研究発表	32	9
	標準化提案・採択	1	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	3	1
	受賞・表彰	2	0

## (7) 具体的な実施内容と最終成果

### 研究開発項目 1：光物理層モニタリング技術

#### 【目標】

機械学習とコヒーレント受信技術を融合して光物理層のモニタリング範囲を革新的に拡大し、変化や変動に対する対応を超迅速化(最大で従来比 1000 倍)する。

#### 【実施内容と成果】

- ・ 高スループット・高稼働な通信を提供する光ネットワークを実現する上で必要となる物理モニタ項目を明確化し、機械学習とコヒーレント受信技術を組み合わせる際の光受信器アーキテクチャを明確化した。
- ・ コヒーレント受信した信号から、マルチスパン光ファイバ伝送路の長手方向特徴量（パワープロファイル）を抽出する新規アルゴリズムを考案した。
- ・ 数値シミュレーション、400Gbps の送受信器を用いた実験による検証を実施し、上記モニタリング機能を実証した。
- ・ 本モニタリング技術は、ECOC2019 において、Post Deadline Paper として採択された。
- ・ 更に異常検出、位置推定する際の、異常位置インジケータの閾値を、事前学習により設定するように改善し、閾値設定の容易化、経年変化への対応を可能にした。
- ・ 上記アルゴリズムの処理高速化を、一部機能を FPGA へオフロードすることで実現し、これまで週のオーダーを要していた障害箇所の特定を、長手方向パワープロファイルモニターにより 3 分を切るところまで短縮でき、最終目標とした 1000 倍を超える迅速化を実現した。
- ・ 上記アルゴリズムを発展して、偏波依存損失 (PDL) 発生個所の位置検出を実現するアルゴリズムについても考案し、実験で実証した。
- ・ 研究開発項目 2 と連携した統合検証を実施し、変化に対する迅速な対応が実現できることを実証し、最終目標を達成した。

### 研究開発項目 2：順応型光パス制御技術

#### 【目標】

モニタリング結果と学習に基づき、従来の最悪値設計で見込んでいたマージンを順応的にゼロに近づけること(ゼロマージン化)によるスループット向上(従来比 30%以上)と、時間的に変動する環境下でも高可用性が維持できることを両立する。

#### 【実施内容と成果】

- ・ モニタリング、現状機器設定の収集から、解析・最適化、最適化後の機器設定の一連の流れを自動で設定するアルゴリズムを開発した。最適化項目として、変調方式、FEC 種類、波長間隔、クロストーク、超高速 TCP 使用によるエラー緩和の観点を取り組み、数値シミュレーションにより、ポイントトゥーポイントポロジモデルにて、30% のスループット改善効果を得られた。
- ・ ユーザ通信方式にエラー耐性が高い超高速 TCP を適用することでスループット改善するコンセプトを考案し、効果を実証した。提案コンセプトにおいて、性能モデルでの最大スループットの定量評価、実機を使用したリアルタイム通信でのスループット改善量の実証、および、実環境のファイバ伝送で懸念される非線形ノイズ下の効果について確認した。
- ・ 光パス制御システムに、End-to-end のパス設定を含めたパス収容設計、ネットワーク制御用ソフトウェアの相互連携機能、自動パス開通/削除機能、第三経路自動切替機能、既存ネットワーク対応の機能として Brown Field 対応機能および手動リストラクションの切り替え機能を試作し、検証完了した。
- ・ 研究開発項目 1 と連携した統合検証を実施し、光物理層モニタによる光パス毎の実伝送性能のリアルタイムモニタを用いた伝送マージン最適化によるスループット最大化および時間的に変動する環境下でも高可用性が維持できることを実証し、最終目標を達成した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究開発項目 1：光物理層モニタリング技術

- 富士通の WDM システム向け送受信機あるいはネットワーク制御ソフトウェア製品への搭載を検討中で、今後の顧客の反応や要望に応じて製品化を検討する。
- ITU-T、OIF、OpenROADM、IOWN-GF 等の国際標準化、オープン化活動の動向を注視した上で、必要に応じて先導的役割を担う。
- 研究開発成果は、Beyond5G 以降の大容量光ネットワークを運用効率化の面で支える新しい技術と認知しており、さまざまな新種の ICT サービスの発展や登場を促すことを通じて国民生活の利便性、生産性の向上を強力に後押しするものと考えている。

研究開発項目 2：順応型光パス制御技術

- 日本電気の WDM システムへの搭載を検討中であり、研究開発成果に関連する機能を、ロードマップに記載する検討を開始している。
- ITU-T、OIF、OpenROADM、TIP、IOWN-GF 等の国際標準化ないしはオープン化活動に対し、オープンクローズ戦略を立てた上で、提案していく。
- ネットワークの性能を最大限に引き出すニーズに応えるソリューションとしてネットワークや、これを利用するサービスの発展に貢献していくものとする。