



Auto Opt Net
Autonomous Optical Network

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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 順応型光ネットワーク技術の研究開発光ネットワーク技術の開発
- ◆受託者 富士通株式会社、日本電気株式会社
- ◆研究開発期間 平成30年度～令和3年度(4年間)
- ◆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)

2. 研究開発の目標

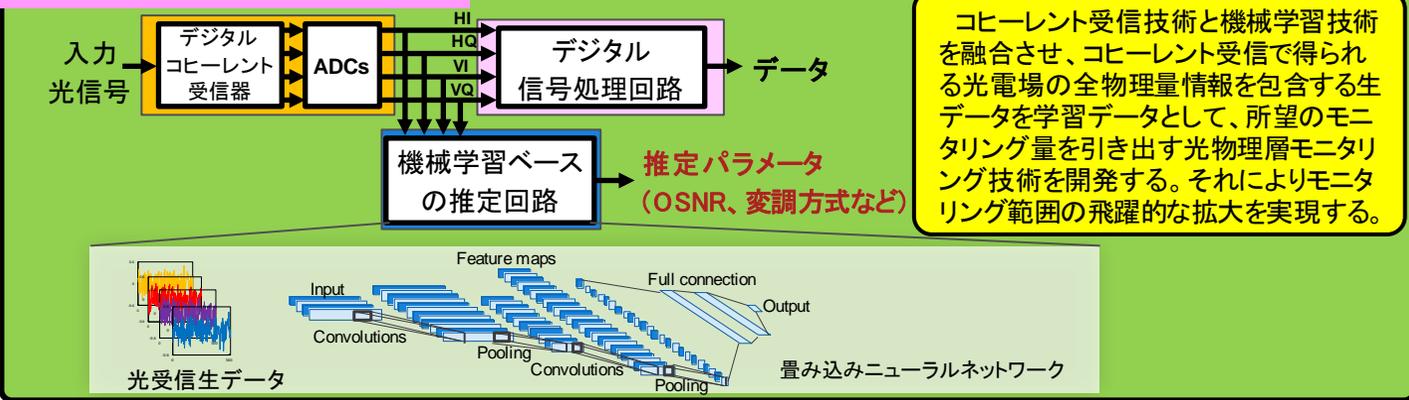
機械学習とコヒーレント受信技術を融合して光物理層のモニタリング範囲を革新的に拡大し、変化や変動に対する対応を超迅速化(最大で従来比1000倍)する。またモニタリング結果と学習に基づき、従来の最悪値設計で見込んでいたマージンを順応的にゼロに近づけること(ゼロマージン化)によるスループット向上(従来比30%以上)と、時間的に変動する環境下でも高可用性が維持できることを両立する。

3. 研究開発の成果

研究開発目標

研究開発成果

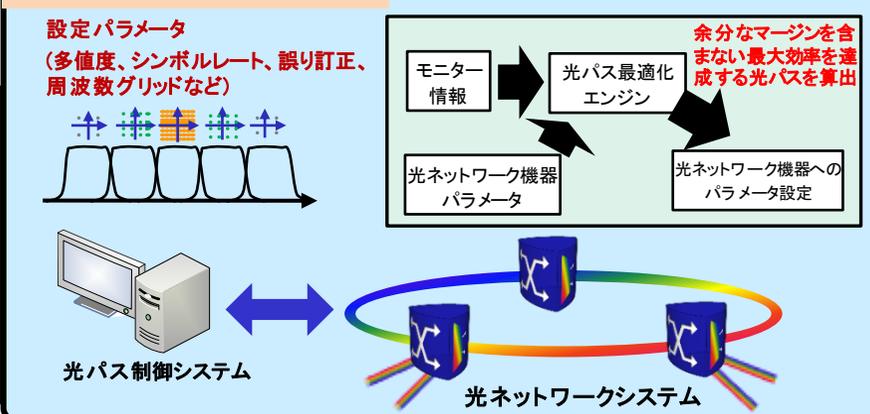
① 光物理層モニタリング技術



コヒーレント受信技術と機械学習技術を融合させ、コヒーレント受信で得られる光電場の全物理量情報を包含する生データを学習データとして、所望のモニタリング量を引き出す光物理層モニタリング技術を開発する。それによりモニタリング範囲の飛躍的な拡大を実現する。

- #### 項目1-1 機械学習を応用した光物理層モニタリング技術
- ①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。
 - ②コヒーレント受信した信号から、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)を抽出するアルゴリズムを開発した。
 - ③上記アルゴリズムの一部処理をFPGA化することで、最終目標とした1000倍を超える迅速化を達成した。
 - ④さらに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。
 - ⑤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。

② 順応型光パス制御技術



超100Gbpsの通信チャネルを収容する光ネットワークにおいて、ゼロマージン化によるスループット向上を可能にするために、経時変化を含むネットワークの最新状況を収集し、高速・高精度な機械学習などにより、余分なマージンを含まず最大の効率を達成する光パスを自動で算出し、最適制御を可能にする。

研究開発項目2-1 順応型光パス最適化技術と研究開発項目2-2 順応型光パス自動制御技術に取り組む。両者を組み合わせることによって、従来比30%以上のスループット向上を実証する。

- #### 項目2-1 順応型光パス最適化技術
- ①スループット向上のための設定を決定するアルゴリズムを開発し、30%のスループット改善効果を達成した。
 - ②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、効果を検証した。
- #### 項目2-2 順応型光パス自動制御技術
- ①光パス制御システムに、早期社会実装を見据えた機能を追加し、検証完了した。
 - ②研究開発項目1と連携した統合検証を実施し、伝送マージン最適化によるスループット最大化、および高可用性の維持も可能なことを実証し、最終目標を達成した。

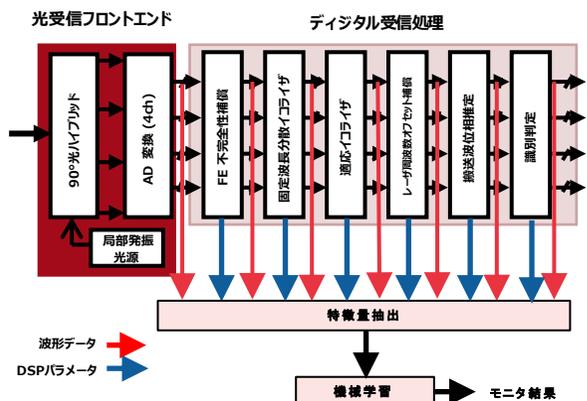
主な成果(研究開発項目1)

研究開発項目1 光物理層モニタリング技術

成果概要 研究開発項目1-1 機械学習を応用した光物理層モニタリング技術

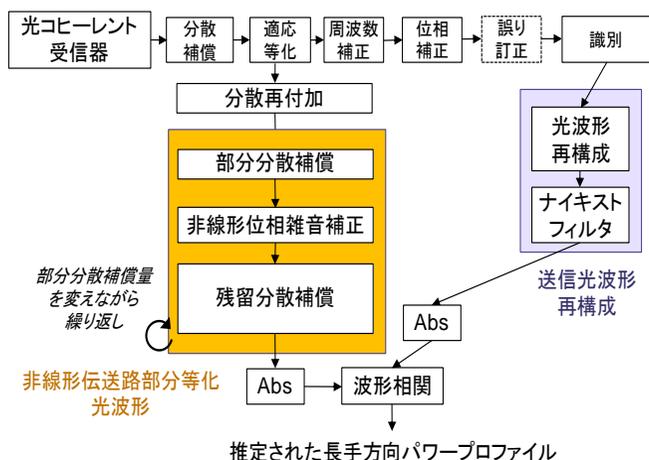
- ① 高スループット・高稼働な通信を提供する光ネットワークを実現する上で必要となる物理モニタ項目を明確化し、機械学習とコヒーレント受信技術を組み合わせる際の光受信器アーキテクチャを明確化した。
- ② コヒーレント受信した信号から、マルチスパン光ファイバ伝送路の長手方向特徴量(パワープロファイル)を抽出する新規アルゴリズムを考案し、数値シミュレーション、実験による検証を実施、アルゴリズムを確立した。
- ③ 上記アルゴリズムの処理高速化を一部機能をFPGAへオフロードすることで実現し、最終目標とした1000倍を超える迅速化を実現した。
- ④ 上記アルゴリズムを発展して、PDL発生個所の位置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。

①光受信器アーキテクチャ



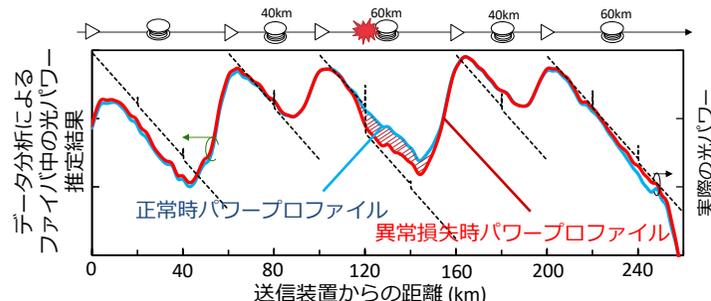
機械学習とコヒーレント受信技術を組み合わせる際の光受信器アーキテクチャを明確化

②長手方向特徴量モニタリングアルゴリズム



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)を抽出するアルゴリズムを開発

②長手方向モニターの動作検証



伝送光ファイバ長手方向のパワープロファイルの推定と、光損失点の異常検出の同定にも成功

③FPGAオフロードによる高速化

5スパン伝送モニタリング時の全計算量

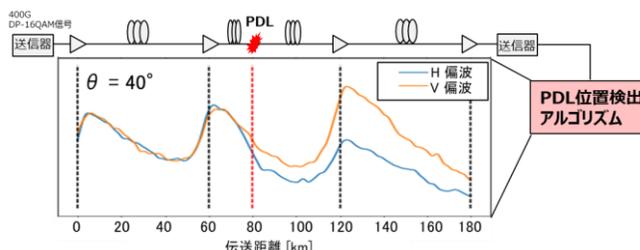


演算処理最適化・FPGA化



処理のFPGAへのオフロードにより、3700倍の迅速化を実現

④PDL位置検出アルゴリズム



PDL発生個所位置検出アルゴリズムを開発し実験で実証

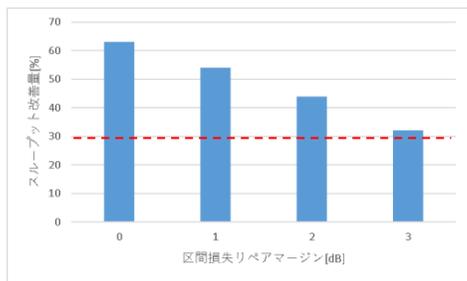
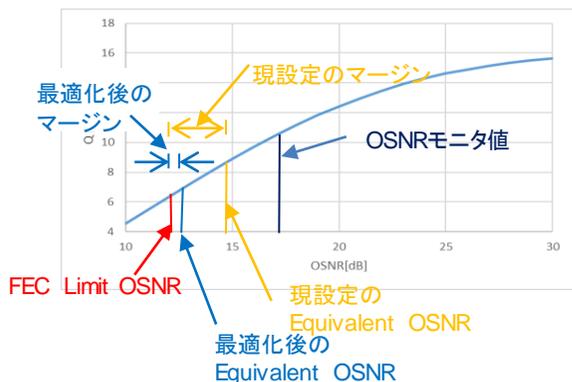
主な成果(研究開発項目2)

研究開発項目2 順応型光パス制御技術

成果概要 研究開発項目2-1 順応型光パス最適化技術

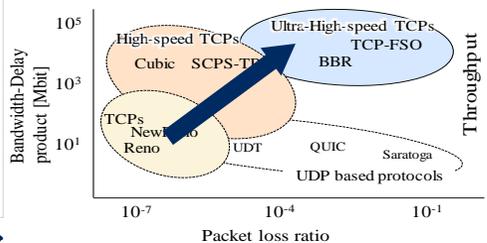
- ①各モニタ値からネットワークのパラメータを推定し、スループット向上のための設定を決定するデタミニスティックアルゴリズムを開発し、数値シミュレーションによる効果を検証し、ポイントトウポイント、メッシュトポロジーモデルで30%のスループット改善効果を得られた。
- ②ユーザ通信方式にエラー耐性が高い超高速TCPを適用することでスループット改善するコンセプトを考案し、効果を検証した。

①デタミニスティックアルゴリズム

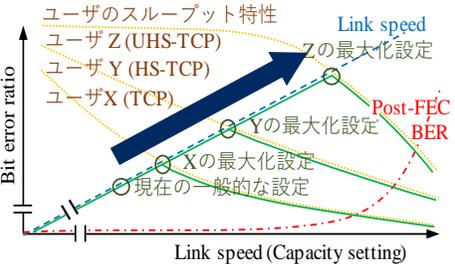


数値シミュレーションにおけるスループット改善量

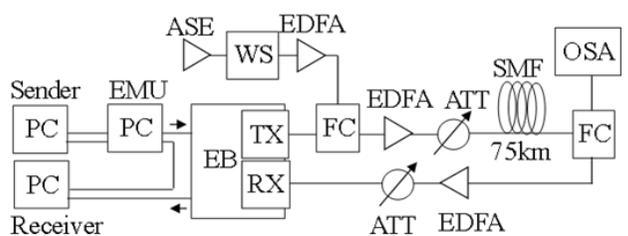
②TCPLレイヤを含めた最適化検討



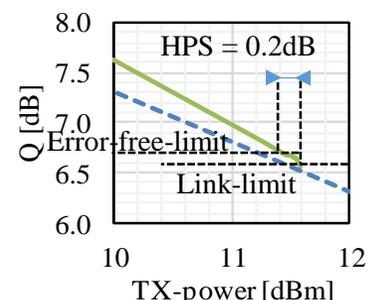
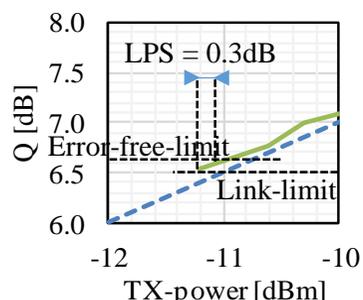
エラー耐性の向上



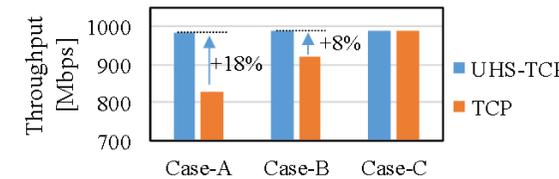
スループットの向上



実験環境構成



リンクバジェット増加箇所



(A: Link limit付近, B-C: Error-Free limit付近)

成果概要 研究開発項目2-2 順応型光パス自動制御技術

光パス制御システムに、早期社会実装を見据えた機能を追加し、検証完了した。

- ①End-to-endのパス設定を含めたパス收容設計機能、
- ②ネットワーク制御用ソフトウェアの相互連携機能
- ③自動パス開通／削除機能、
- ④第三経路自動切替機能、
- ⑤Brown Field対応機能、
- ⑥Manual切替機能

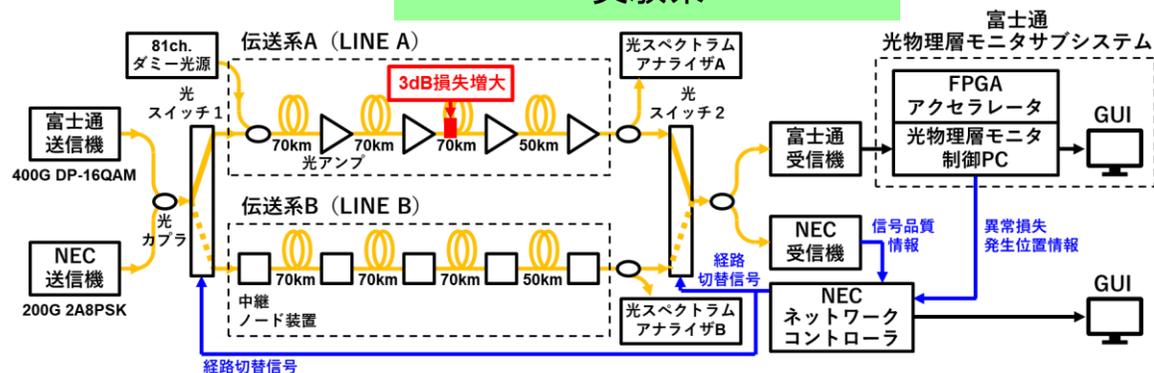
主な成果(項目間統合検証)

研究開発項目1、2 統合検証

成果概要 項目間統合検証

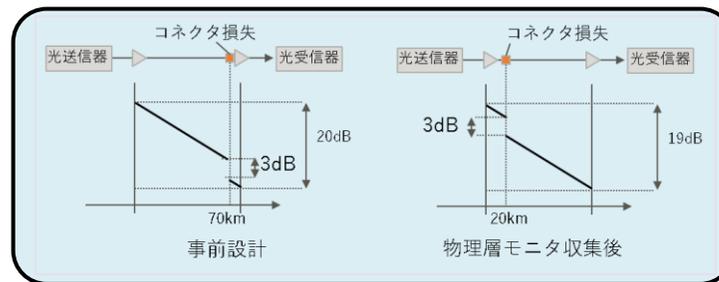
① 研究開発項目1、2の研究開発成果を連携した統合検証をNICTテストベッドを活用して実施した。項目1の長手方向モニターのモニタリング結果を、項目2のネットワーク制御システムが活用して、伝送容量を増大できること(シナリオA)、異常個所を回避するパスへの迅速な切り替えが可能な事(シナリオB)を実験により示した。

実験系



実験シナリオA

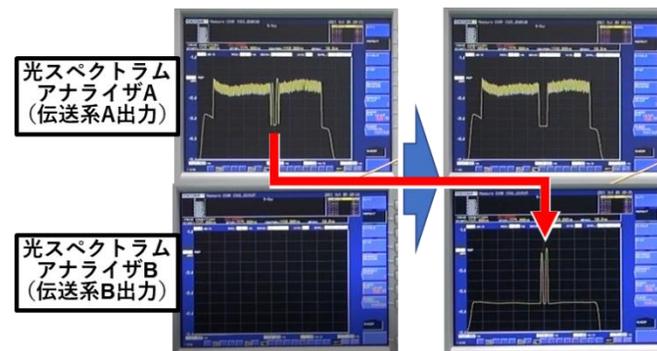
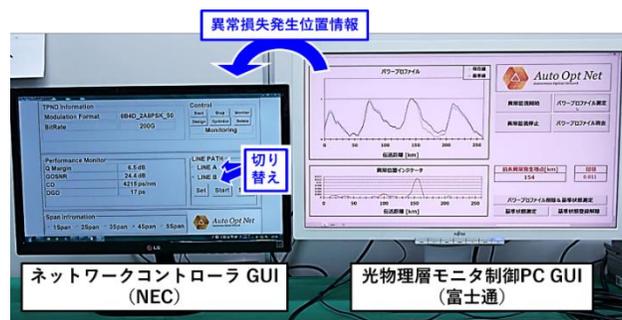
事前設計(最適化前)は、コネクタ損失位置を伝送路出力および伝送路損失を20dBとし設計を実施した結果200Gでの伝送と設計されたが、光物理層モニタより、コネクタ損失の位置が入力端であること、伝送路損失が19dBであることが明らかになり、その情報を基に、再設計(最適化)することで、非線形影響の低下と着信OSNRが改善されたため、400Gが伝送可能となり、光物理層モニタを用いた伝送マージン最適化によりスループットを改善することに成功。



	最適化前	最適化後
容量・変調方式	200G 2A8PSK	400G DP-16QAM
Qマージン	6.5dB	0.1dB

実験シナリオB

伝送系Aの途中スパンでの異常損失を光物理層モニタが検出し、ネットワークコントローラに通知、ネットワークコントローラが異常個所を回避する伝送系Bに経路を切り替え通信を継続することに成功。



4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

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

ECOC2019にて”Experimental Demonstration of a Coherent Receiver that Visualizes Longitudinal Signal Power Profile over Multiple Spans out of Its Incoming Signal”が、Post Deadline Paperとして採択された。

ICC2020にて発表した”Optical Communication Capacity and Quality to Maximize End-user TCP/IP Throughput”が、Best Paper Awardを受賞した。研究論文として、“Fiber-Longitudinal Anomaly Position Identification Over Multi-Span Transmission Link Out of Receiver-end Signals”が、Journal of Lightwave Technologyに掲載された。

(2)標準化提案

ITU-T SG15 Q6に、NTTと連名の形で、受託者の富士通、NECの3機関共同で、下記の寄書を入力した。

- Proposal to start discussion on detailed and advanced optical performance monitoring considering high-speed digital signal processing and future advanced data analytical methods for intelligent optical network operation

(3)展示会出展

光通信システムシンポジウム展示会(2019年度、2020年度、2021年度)に出展し、研究概要やこれまでの成果についてパネル展示、発表を行った。

(4)ニックネーム、ロゴマークを作成

本プロジェクトのニックネームを、“Auto Opt Net (Autonomous Optical Network)”と決定し、下記ロゴマークを作成した。



(5)その他

受託者間でのプロジェクト推進会議を計35回実施、NICTを含めた3社の連絡調整会議を計6回実施した。

5. 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。