



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
- ◆実施機関: 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: 総額640百万円(令和2年度160百万円)

2. 研究開発の目標

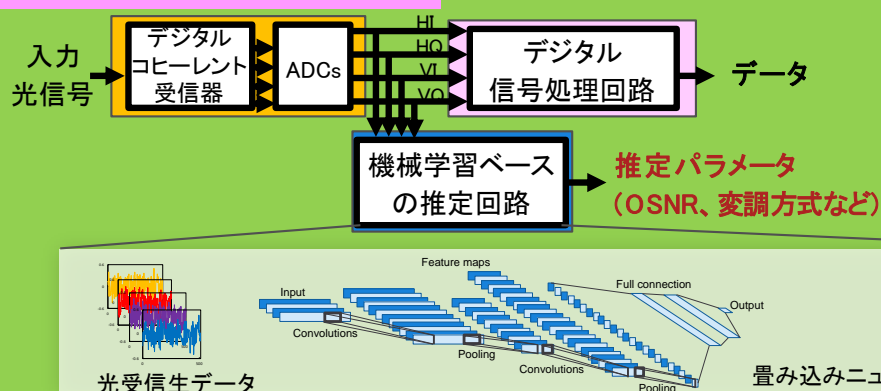
機械学習とコヒーレント受信技術を融合して光物理層のモニタリング範囲を革新的に拡大し、変化や変動に対する対応を超速化(最大で従来比1000倍)する。またモニタリング結果と学習に基づき、従来の最悪値設計で見込んでいたマージンを順応的にゼロに近づけること(ゼロマージン化)によるスループット向上(従来比30%以上)と、時間的に変動する環境下でも高可用性が維持できることを両立する。

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

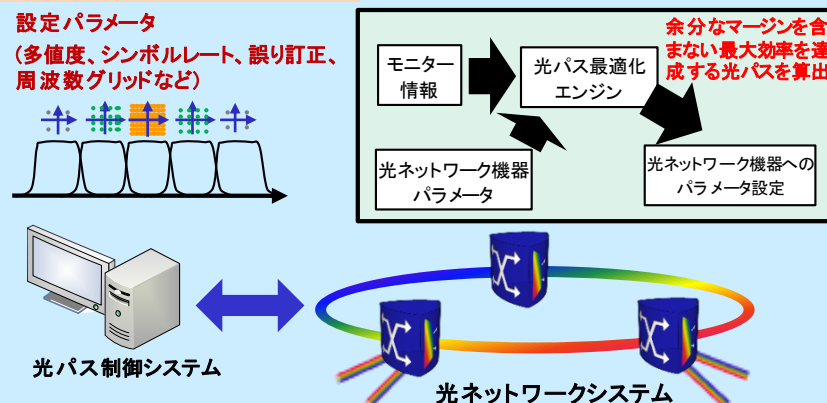


コヒーレント受信技術と機械学習技術を融合させ、コヒーレント受信で得られる光電場の全物理量情報を包含する生データを学習データとして、所望のモニタリング量を引き出す光物理層モニタリング技術を開発する。それによりモニタリング範囲の飛躍的な拡大を実現する。

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 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)を抽出する光物理層モニタの評価実験を行った。
- ② 上記光物理層モニタの迅速化に向け、アルゴリズムの計算量の約80%をFPGAにオフロードし、演算時間の短縮効果を確認した。
- ③ 長手方向特徴量として損失以外のパラメータを測定するアルゴリズムを開発し、特許出願を行った。

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 順応型光パス自動生成技術に取り組む。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 通信容量を拡大し、ユーザ通信方式にエラー耐性が高い超高速TCPを適用するコンセプトを考案した。
- ② 性能モデルを構築し通信速度設定に対する最大のスループットの算出可能にした。

項目2-2 順応型光パス自動制御技術

- ① スループット向上を可能にするために必要なモニタの収集を実現するための光ネットワーク機器制御用ソフトウェアを試作した。
- ② ベースプラットフォームへネットワーク機器からのモニタ収集および最適パラメータを設定する機能追加した。

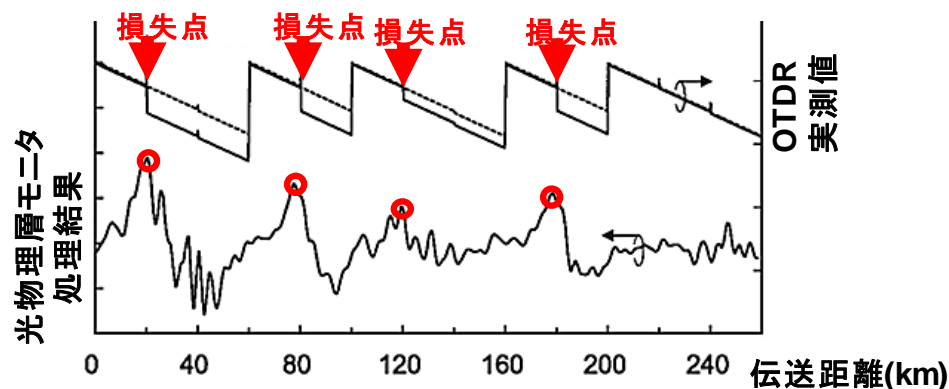
主な成果(研究開発項目1)

研究開発項目1 光物理層モニタリング技術

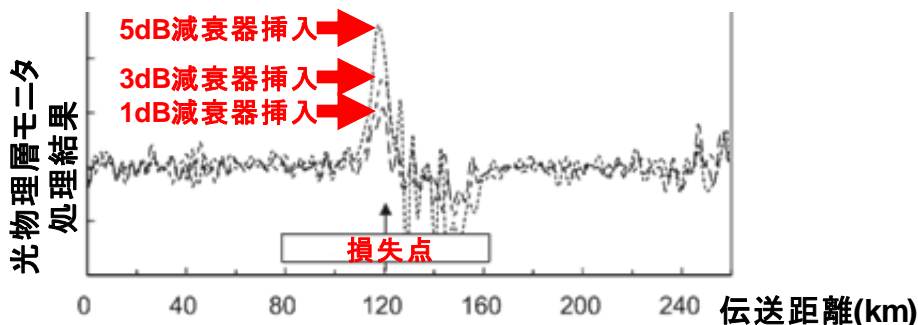
令和2年度成果概要 研究開発項目1-1 機械学習を応用した光物理層モニタリング技術

- 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)を抽出する光物理層モニタの評価実験を行った。
 - ②上記光物理層モニタの迅速化に向け、アルゴリズムの計算量の約80%をFPGAにオフロードし、演算時間の短縮効果を確認した。
 - ③長手方向特徴量として損失以外のパラメータを測定するアルゴリズムを開発し、特許出願を行った。
- 以上により、今年度の目標を達成し、最終目標である変化や変動に対する対応を超迅速化(最大で従来比1000倍)に向け、順調に進捗した。

①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の評価実験

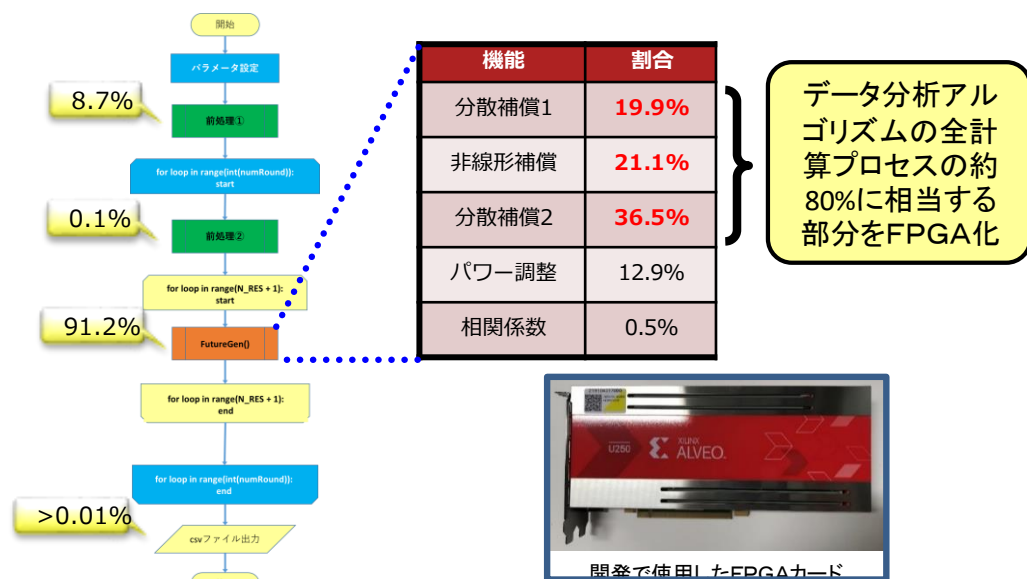


複数箇所が生じた損失が位置分解能を持ってかつ同時検出できることを実験検証



損失量分解能を実験検証

②長手方向特徴量を抽出するアルゴリズムの高負荷部のFPGAオフロード化



③長手方向特徴量として損失以外のパラメータを測定する光物理層モニタリングアルゴリズム

損失以外のパラメータの長手方向プロファイルを測定するアルゴリズムを検討し、特許出願を完了。

主な成果(研究開発項目2)

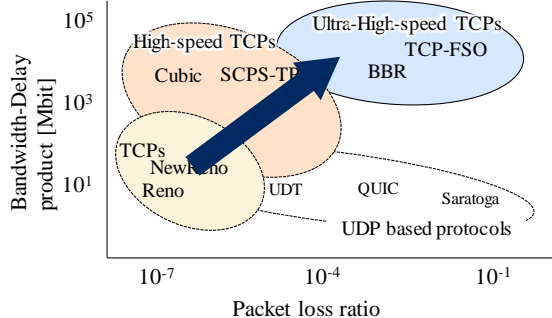
研究開発項目2 順応型光パス制御技術

令和2年度成果概要 研究開発項目2-1 順応型光パス最適化技術

- ①光通信のエラー率の制約を従来よりも大幅に緩和することで、トレードオフの関係にある通信容量を拡大し、かつ、ユーザ通信方式にエラー耐性が高い超高速TCPを適用するコンセプトを考案した。
- ②光通信システムと超高速TCPの性能モデルを構築し、通信速度設定に対する最大のスループットの算出可能にした。

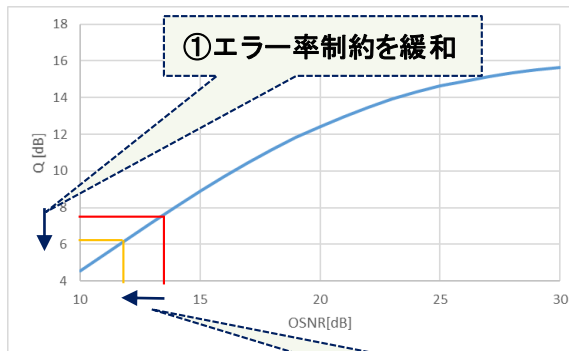
エンドユーザー プロトコルの進化

エラー耐性の向上



光通信のエラー率制約を緩和

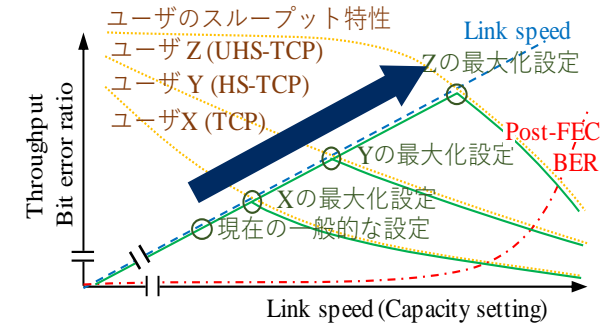
マージンの再配置が可能



- ①エラー率制約を緩和
- ②マージンが発生
- ③マージンをスループットへ変換

ユーザスループットの最大

スループット向上



令和2年度成果概要 研究開発項目2-2 順応型光パス自動制御技術

- ①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必要なモニタの収集を実現するための光ネットワーク機器制御用ソフトウェアの試作を完了した。
- ②ベースプラットフォームへのネットワーク機器からのモニタ収集および最適パラメータを設定する機能追加を完了した。

研究開発2-1、2-2について、それぞれ、今年度の目標を達成し、最終目標である従来比30%以上のスループット向上および早期社会実装の実現に向け、順調に進捗した。

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 |
|----------|----------|----------|------------|----------|---------------|----------|----------|
| 9 (4) | 4 (4) | 1 (1) | 23 (11) | 1 (0) | 0 (0) | 2 (1) | 2 (2) |

※ 成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1)受賞

2020 IEEE Conference on Communications にて“Optical Communication Capacity and Quality to Maximize End-user TCP/IP Throughput”が、Best Paper Awardを受賞した。

電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会で発表した「エラー率制約の緩和による光通信大容量化とそのシステム構成」が、PN研究賞2020を受賞した。

(2)学会発表

ECOC2020、IPC2020、電子情報通信学会ソサイエティ大会・研究会、学振研究会等多数の招待講演を行い、研究成果について広くアピールを行った。

(3)展示会出展

第34回光通信システムシンポジウム展示会(2020年12月15、16日)に出展し、研究概要やこれまでの成果について発表した。

(4)その他

受託者間でのプロジェクト推進会議を計13回実施した。

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目1:光物理層モニタリング技術

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(富士通株式会社)

本モニタリング技術の性能向上に取り組み、目標とする1000倍の迅速化を実証するとともに、パワープロファイル以外のパラメータについて、同様な長手方向プロファイルを測定するアルゴリズム検討を実施する。さらに、研究開発項目2と連携して、研究開発項目1で開発した長手方向モニタと、研究開発項目2で開発した最適化技術を連携した統合検証を実施する。

研究開発項目2:順応型光パス制御技術

研究開発項目2-1:順応型光パス最適化技術(日本電気株式会社)

アルゴリズムの改善と有効性の検証を実施する。前年度検討したアルゴリズムを再精査し、更なる改善を図る。また、アルゴリズムの有効性を確認するため簡易実験系または数値シミュレーションをベースにした検証系の検討/構築および簡易実験系または数値シミュレーションでの基本動作確認と効果検証を実施する。

研究開発項目2-2:順応型光パス自動制御技術(日本電気株式会社)

研究開発項目2-1で開発した光パス最適化技術のベースプラットフォームへの組み込みおよび簡易実験系での基本動作確認を実施する。また、研究開発項目1の成果と連携した統合実験を実施し、連携した成果を示す。