

2018年度 委託研究

## 課題 205

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

## 研究計画書



## 1. 研究開発課題

『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』

## 2. 本課題が含まれる研究開発の全体像

### はじめに

国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）は、機構自ら行う研究や委託研究などを効果的に連携させながら、機構に与えられた中長期目標の達成を目指している。本課題はこのような連携の一部となる研究であるため、研究開発プロジェクト（以下、「プロジェクト」という。）の全体像について十分に理解したうえでの研究提案や実施が求められる。プロジェクトは、プロジェクトオフィサー及び機構職員で構成されるプロジェクトチームによりマネジメントされる。

### 2. 1 プロジェクトの目的・ビジョン

本プロジェクトでは、5G 及びそれ以降において予想される通信トラヒックの増加、及び、急激なトラヒック変動や通信サービスの多様化への柔軟な対応を可能とするための光ネットワーク技術の研究開発に取り組み、新たな価値創造や社会システムの変革をもたらす統合 ICT 基盤の創出を目指す。

特に 2020 年代前半の本格的な 5G 時代の光基幹ネットワークでは、高いデータ伝達能力と、さまざまな環境変動への追従性が求められる。サービスにより異なる信号速度や伝達距離、品質の要求に応えるため、光ネットワーク機器は光パラメータ（多値度、シンボルレート、誤り訂正、周波数グリッド）の柔軟性が求められており、設定や設計が複雑になっている。光基幹ネットワークの従来技術は、半固定的な大容量のチャンネルを多重する形での運用に特化されているため、追従性に難がある。技術の進展がなければ、品質を維持するためのオーバープロビジョニングに伴う装置コスト増大によりユーザの費用負担が大きくなる、あるいは、装置コスト増大を抑えれば品質が下がり稼働率が低くなる、という懸念が生じる。本課題は、その複雑化、装置コストの増大により行き詰まる光基幹ネットワークの運用管理を解決する順応型の方法を確立し、将来的に従来と同様のユーザの通信コスト負担で新たなサービスを提供するためのものである。

さらに、Beyond 5G 時代に起こりうる数時間以内でのトラヒック変動に対する柔軟性・高弾力性を備えるとともに、従来、ネットワーク資源の最大限の活用を妨げる要因であったファイバ切断や偏波変動などの希少事象への対応も可能とすることで様々な需要変動・環境変化に順応できる運用管理方法を確立する。

### 2. 2 社会的な背景・国内外の状況

2020 年代には 100Tbps を超えるデータ（4K 映像 300 万同時視聴相当）が基幹網を流通する通信量の増加が予測され、スマートフォン利用が生活習慣化している我が国で、生活の

質と安全の向上に、可用性(高い稼働率)を維持しての通信の大容量化は欠かせない。通信料の高止まりが常に叫ばれる時代に、通信設備費を抑えるための技術革新は不可欠である。機械学習を応用した革新技術により将来の課題解決を図る社会実装を早期に目指す。

総務省において、400Gbps 級光伝送技術等の研究開発施策「超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発（平成 24 年度～平成 26 年度）」及び 1Tbps 級の光伝送技術等の研究開発施策「巨大データ流通を支える次世代光ネットワーク技術の研究開発（平成 27 年度～平成 29 年度）」が実施され、1Tbps 級の大容量を目指す光リンク技術が確立された。本課題では、大容量光リンクで構成された光ネットワークにおいて光信号の高い伝送能力を最大限に活用するため、多様な光パラメータの異なる光信号の多重伝送を効率的かつ迅速に実施する制御管理に関する研究開発を行う。平成 28 年 5 月の総合科学技術・イノベーション会議における、「科学技術イノベーション総合戦略 2016 について」の答申として、「Society 5.0」における基盤技術を強化するネットワーク技術に関して、ネットワーク仮想化技術促進の必要性が説かれているが、これは、光ネットワークのダイナミズムの流れを生むものである。さらに、平成 29 年 5 月の科学技術予算イノベーション予算戦略会議において、官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)に係るターゲット領域が議論されている。そこでは平成 30 年の設定が望ましい領域として、革新的 ICT プラットフォーム技術（ネットワーク）、革新的サイバー空間基盤技術（AI）が定められた。本研究課題はこれらの領域の技術確立に資するものである。

国外においては、例えば欧州では HORIZON 2020 において、機械学習や深層学習を光ネットワークの管理制御に適用する試みを含めたプロジェクトが多く実施され、トップカンファレンスにおいても 1 つのセッションがすべていわゆる人工知能技術の適用に関する論文で構成されることもある。

## 2. 3 プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、5G 及びそれ以降において予想される通信トラフィックの増加、及び、急激なトラフィック変動や通信サービスの多様化への柔軟な対応を可能とするための光ネットワーク技術の研究開発に取り組み、新たな価値創造や社会システムの変革をもたらす統合 ICT 基盤の創出を目指す。

機構自ら行う研究では、急激なトラフィック変動や通信サービスの多様化への柔軟な対応を可能とする光統合ネットワーク技術（1Tbps 級多信号処理を可能とする光送受信及び光スイッチングシステム技術や時間軸・波長軸に対するダイナミックな制御を瞬時に行う技術）、ネットワークの利用者（アプリケーションやサービス）からの要求に応じたサービス間の資源分配・調停や、ネットワークインフラ構造やトラフィック変動状況等に基づくサービス品質保証など、ネットワーク構築制御の自動化に資する技術の研究開発に取り組んでいる。

委託研究においては、ネットワーク構築制御の自動化を加速する機械学習を光ネットワークで活用することにより、ネットワーク資源の可能性（たとえば通信容量）を最大限に引き出すとともに、複雑化・多様化する光ネットワークの運用管理を革新的に高度化・効率化する基盤技術を確立する。具体的には、高スループット・高い稼働率の順応型光ネットワークを供するための、

機械学習とコヒーレント受信技術を融合した、従来実現できなかった高度な監視観測を実現する。また、経時変化を含むネットワークの最新状況を監視観測し機械学習させ、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迅速に自動で算出する光パス最適制御技術を実現する。社会実装に向けたシステム全体設計も踏まえて個々の技術を深化するとともに、要素技術を有機的に結合する。

機構自ら行う研究及び委託研究の取組により、特に、高いデータ伝達能力と、さまざまな環境変動への追従性が求められる 2020 年代前半の本格的な 5G 時代の光基幹ネットワークにおいて、サービスにより異なる信号速度や伝達距離、品質の要求に応えるため、ネットワーク管理の複雑化、装置コストの増大により行き詰まる光基幹ネットワークの運用管理を解決する順応型の方法を確立する。

## 2. 4 プロジェクトオフィサー

ネットワークシステム研究所 ネットワーク基盤研究室 主任研究員 廣田 悠介

## 3. 本委託研究

### 3. 1 概要及び位置付け

本委託研究では、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を行う。機械学習を光ネットワークで活用することにより、ネットワーク資源の可能性を最大限に引き出すとともに、複雑化・多様化する光ネットワークの運用管理を革新的に高度化・効率化する基盤技術を確立する。具体的には、高スループット・高い稼働率の順応型光ネットワークを供するための、機械学習とコヒーレント受信技術を融合した、従来実現できなかった高度な監視観測を実現する。また、経時変化を含むネットワークの最新状況を監視観測し機械学習させ、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迅速に自動で算出する光パス最適制御技術を実現する。

### 3. 2 到達目標

2021 年度末までに以下の到達目標を達成する。

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

- ① 光物理層の監視観測範囲を革新的に拡大し、変化や変動に対する対応（性能劣化につながる通信品質変化の発見およびその問題解決にかかる時間）を超迅速化する技術（最大の効果が、従来（※1）比 1000 倍以上（例：時間オーダーを秒オーダーに））
  - ② 監視観測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によるスループット向上技術（従来（※2）比 30%以上）
  - ③ 時間的に信号品質が変動する環境や新技術・新サービスの導入、物理資源の配備変更などによる変化に順応し、高スループットと高稼働率を両立するネットワーク構築技術
- （※1）例えば、現状はネットワーク管理者が光ネットワークのすべてのリンクやチャネル（波長）のビット誤り率や光信号雑音比などを並列または順次測定し、測定データ統合・分析を経て品質変化・変動を発見するのに 1 時間程度以上の時間がかかっ

ている。さらに発見が困難な場合には特別な測定器を当該箇所に持ち込んで追加情報収集を行なうなどして、発見は週以上の時間を要する。

- (※2) 伝送に伴う信号特性劣化要因（例えば偏波モード分散や偏波依存損失、中継ノードにおける帯域狭窄）による個別ばらつきや時間的変動に対して比較的大きな劣化を見込んだ最悪値設計でシステムを設計する必要がある。例えば[1]では JGN の光ファイバの偏波モード分散の時間的変動が紹介され、[2]では複数の異なる装置間では設計マージンを大きくすることが紹介されている。なお、[3]では、机上検討（シミュレーション）によって、伝送容量を変更できる送受信器を用いると日本国内規模程度のネットワークでスループットを25%向上する可能性があることが報告されている。

- [1] “Huge capacity optical packet switching and buffering,” OSA Optics Express Vol. 19, Issue 26, December 2011.
- [2] “Margin requirement of disaggregating the DWDM transport system and its consequence on application economics,” Optical Fiber Communications Conference 2018 (M1E.2).
- [3] “Design of Low-Margin Optical Networks,” IEEE/OSA Journal of Optical Network Communications, Vol. 9, No. 1, January 2017.

### 3. 3 マイルストーン

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では、以下に示すような、研究開発プロジェクト終了後の目標とその年次についても記載すること。

2021 年度末 本基礎技術を確立

2020 年代前半（社会実装フェーズ）

- (A) 光信号観測監視機能が光送受信装置に実装される
- (B) 自動制御機能が光ネットワーク機器に実装される
- (C) 光学習制御アルゴリズムが光ネットワークシステムへ実装される

### 3. 4 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 1 件

研究開発期間：契約締結日から 2020 年度までの 3 年間（第 1 期）

なお、2021 年度の 1 年間（第 2 期）については、次期中長期目標の状況等も踏まえ、継続について検討する。

研究開発予算：各年度、160 百万円（税込）を上限とする。

（提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。）

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

### 3. 5 提案に当たっての留意点

- 3. 2 の到達目標を踏まえ、第 2 期までの研究計画を記載した上で、第 1 期における目標設定を明確に記載すること。採択評価は、それらの記載内容全体を対象に実施する。
- 具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、3.3 に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、方策等を記載すること。
- 本研究開発の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。公開できるであろう科学的なデータの有無、および、もし有る場合には公開計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法）を提案書に記載すること。
- NICT の光テストベッドや、装置、光の強度変動に強い光機器などを用いた実証実験を実施することを推奨する。

### 3. 6 運営管理

- 機構と受託者の連携を図るため、代表提案者は、プロジェクトオフィサーの指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的を開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサーが研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

### 3. 7 評価

- 機構は、2020 年度に評価を実施する。また、本委託研究終了後に追跡評価（成果展開等状況調査を含む）を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施することがある。

### 3. 8 成果の社会実装に向けた取組

- 本委託研究で得られた成果のオープン化（例えば、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内特別セッション主催、ユーザ収容トライアル、展示、標準化、オープンソース化等）を行う等、成果の社会実装に向けて必要な取組を行うこと。

## 4. 参考

機械学習や深層学習を光ネットワークへ応用する取組は 2015 年頃より光通信のトップカンファレンスで発表が目立ちだしている。我が国からも欧米に伍して以下のように部分的に機械学習等を応用した試みが公表されているが、技術の社会展開に向けて迅速化、順応化、高信頼化への対処と管理運用技術の確立が今後必要である。

- 光物理網モニタへの機械学習活用（コヒーレント受信機でキャプチャした生の光信号波形から、OSNR を推定）
- ゼロマージン光パス最適制御（光周波数の高精度制御による伝送特性改善。ノード通過段数に応じたガードバンド割当）
- 複数製造事業者装置を用いた光ネットワーク制御への機械学習活用（実測 BER 情報からネットワークの過剰マージンを学習・推定・削減する実験）

NICT の設備や成果に関する情報を以下に記す。

- 光テストベッド（シングルモードファイバ約 45km 最大 16 芯）
- バースト信号に耐性がある光増幅器 (Softwarized, Elastic and Agile Optical Networks for Dynamic Environmental Change and Failure Recovery, OFC 2018 (M3A.4)).