

平成 26 年度 委託研究

課題 176

大規模フラットネットワーク基盤技術
の研究開発

研究計画書



1. 研究開発課題

『大規模フラットネットワーク基盤技術の研究開発』

課題 A：超高速光スイッチサブシステムの開発

課題 B：柔軟な高速可変性を活用する大規模フラットネットワークの検討

2. 研究開発の目的

インターネット・高性能携帯サービス・クラウドサービスの爆発的成長に伴い、通信ネットワークの大容量化とそれに伴う消費電力増大の問題が深刻である。遍在するデータを基にしたビッグデータ処理の効率化への期待も大きい。近年、大規模デジタル信号処理回路（DSP）を用いたデジタルコヒーレント光伝送技術やマルチキャリア伝送技術、マルチコアファイバ伝送技術の進展により、伝送容量は飛躍的な増大を可能としている。一方、ネットワークの帯域利用効率を高めるため、光ネットワークと電気ネットワークの多階層統合が進められている。また、従来の固定周波数グリッドから、フレキシブルグリッドによる割当て波長帯域の柔軟な再配置が可能なエラスティック光パスネットワークの研究が活発に進められている。

さらに光ネットワークの高速な可変性を高めるには、時間領域での高速な光パスの切り替え、あるいは、データの自己ルーティング機構が要求される。

しかし、現在実用化されている光ネットワークハードウェアシステムは、こういった柔軟な波長割当て機能や、パスやルートの高速度な可変性を持ち合わせていない。それどころかスイッチング機能一つ取っても、光スイッチでは実用レベルの高速度スイッチすらこれまで実現されていない。そのため、仮想化や Software Defined Networking（SDN）等の技術により、固定されたハードウェアがあたかも柔軟かつ可変性を有するように見える制御技術が生まれた。しかしハードウェアの半固定性を前提としている以上、高いレベルでの可変性実現には限界がある。さらに、現在のネットワークは階層型に構成されており、それぞれ制御方式が異なるため、ネットワーク全体を一括して柔軟に制御することが困難である。そのため、よりフラットな大規模ネットワーク構成およびその制御方式に関する研究が精力的に進められている。

このフラットな大規模ネットワーク構成およびその制御方式に関する研究分野において、我が国の研究開発は他国に大きな遅れを取っており、本分野の加速は急務となっている。このような状況を鑑み、本研究開発では、柔軟かつ高速可変性を有する「大規模フラットネットワーク」を実現するための鍵となる、大容量光信号の高速転送を可能とする超高速光スイッチサブシステムの開発（課題 A）と、それを用いた高速可変性を活用する大規模フラットネットワークの制御技術の確立（課題 B）、を目的とする。

課題 A の光スイッチサブシステムでは、多種多様な光信号（変調方式、データ粒度、帯域、データレート等）に対して、ナノ秒オーダーでの超高速スイッチ動作が可能であることを目標とする。さらに、モノリシック/ハイブリッド集積技術や 2D/

3D実装技術を駆使して、サブシステム全体の小型化・低電力化・低遅延化・制御性において、大幅な進歩性を目指すと共に、革新的光ネットワーク装置への導入に向けた応用技術の研究開発を行う。

課題 B では、高速光スイッチを想定した革新的光ノードから構成される大規模フラットネットワークにおいて、SDN や仮想化、分散制御等のネットワーク制御技術を導入することにより、そのネットワーク性能の大幅な向上（フラット化によるレイテンシ短縮によるスループットの向上、平時・障害時におけるグリッドや帯域の固定されない波長資源割当て等の柔軟性の向上、エンドツーエンドパスやネクストホップルートの高速可変性の向上等）を目標とする。さらに、課題 A で開発した光スイッチサブシステムまたはそれを導入した光ノード装置を複数台用いることを想定し、課題 B で提案したネットワーク制御技術・方式技術のフィージビリティ評価を実験的に検証し、本研究の優位性を実証することを目指す。

3. 採択件数、研究開発期間及び予算

研究開発期間：契約締結日から平成30年度までの5年間。

予算：平成26年度は、総額200百万円を上限とする。

下記の通り採択件数等により予算上限額が変わるので、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。

本研究開発課題は、個別研究開発課題毎に公募する。

個別研究開発課題

課題 A：超高速光スイッチサブシステムの開発

採択件数：最大1件

予算：平成26年度は、170百万円を上限とする。

平成27年度以降は、対前年比で6%削減した金額を上限として提案を行うこと。

課題 B：柔軟な高速可変性を活用する大規模フラットネットワークの検討

採択件数：最大3件

予算：平成26年度は、総額30百万円を上限とする。

1件当たりの提案上限額を20百万円とする。

平成27年度以降は、対前年比で6%削減した金額を上限として提案を行うこと。

平成28年度に実施する中間評価時に、以降の研究開発計画の再提出を求める。中間評価において、それまでに達成した成果と次年度以降の計画、技術レベルおよび成長性を総合的に評価し、1件を選考して委託契約を延

長する。その際には平成29年度以降の予算額を見直すことがある。
提案においては、平成30年度末までの研究開発計画を示すこと。

同一の研究機関（グループ）が、課題Aと課題Bの双方に個別に応募することを認める。

課題Bに、同一の研究機関（グループ）が複数の応募を行うことは認めない。

4. 研究開発の到達目標

1) 課題A：超高速光スイッチサブシステムの開発

<前提条件>

将来の大規模フラットネットワークを支える革新的光ノード系装置への導入を目指した高機能光スイッチサブシステムの研究開発を行う。現行の機械的または熱光学的光スイッチや電氣的スイッチと比較して、動作速度、遅延時間、消費電力、入力光信号の任意性、制御性等の性能において、十分な進歩性を有すること。具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。

<実施要件>

上記前提条件を満たす革新的光スイッチサブシステムを実現すること。特に、当該サブシステムに用いる光スイッチ素子としては、従来の機械的機構や熱光学効果と異なる新たな物理的メカニズムに基づき、ナノ秒オーダーで動作可能であること。さらに、入力光信号の変調フォーマット（OOK、PSK、QAM、OFDM等）や帯域（10Gbps、100Gbps等の信号速度、または、伝送に必要な周波数）、データ粒度（パス、バースト、パケット）、データレート、偏波等は無依存であること。また、モノリシック／ハイブリッド集積技術や2D／3D実装技術を駆使して、サブシステム全体の小型化、低電力化、低遅延化、制御性において、大幅な進歩性を有すること。さらに、将来の大規模化に向けた指針を検討すること。

2) 課題B：柔軟な高速可変性を活用する大規模フラットネットワークの検討

<前提条件>

本課題では、課題Aで開発する高機能光スイッチサブシステムを搭載した革新的光ノード系装置が実現することを想定し、それとMPLS、VLAN、OpenFlow等のネットワーク制御技術に拡張性を持たせる等した、極めて柔軟かつ一体的高速可変性を有する新たな大規模フラットネットワークを実現するための制御技術・方式技術の提案・検討を行う。対象となるネットワーク

は、データセンタネットワーク、メトロコアネットワーク、アクセスネットワーク、スーパーコンピュータネットワーク等、特に制限はしない。ただし、具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。

<実施要件>

従来の階層型ネットワークではなく、フラットなネットワーク構成を基に、課題 A で開発する光スイッチの高速性・低遅延性・光信号の任意性等の特性を十分に引き出したネットワーク制御技術・方式技術が重要である。その際、光パススイッチ・光パケットスイッチ等の方式またはそれらの融合方式（波長多重および時間統計多重効果の併用）を高速に制御して、多種多様なビッグデータに対応したネットワークのスループット、柔軟性・高速可変性等を大幅に向上させることが重要である。計算機シミュレーションやエミュレーション等により、従来技術と比較して、提案技術が十分な優位性を有していることを実証すること。

3) 課題 A、B 合同：プロトタイプによるフェージビリティ評価

<前提条件>

課題 B において、ネットワーク制御技術・方式技術に関する研究のフェージビリティスタディーを2～3年間実施した後、課題 A との連携実証実験の実現性およびその効果を総合的に検討し、3年目を目途に1件程度のテーマに絞り込み、最後の2年間で、課題 A で開発したハードウェア技術と課題 B で検討した制御ソフトウェア等との融合試験を行い、その効果の実証実験評価を実施する。

<実施要件>

課題 A で開発した光スイッチサブシステムまたはそれを導入した光ノード装置を複数台用い、課題 B で提案したネットワーク制御技術・方式技術の評価を実験的に検証する。特に課題 A で開発される光スイッチサブシステムは、機構に整備される光バースト伝送実証テストベッドへ実装したうえで、その有効性の実証試験も行うものとする。

課題 A および課題 B の受託者は、相互に連携・協力し、お互いの研究にフィードバックを行いながら可能な範囲で改良を図り、効率的な研究推進と効果的な実証試験を行うこと。

課題 A の受託者は、課題 A、B を通した研究開発全体のとりまとめを行い、課題 B の受託者はそれに協力すること。

5. 研究開発の運営管理及び評価について

研究開発に当たっては、機構の自主研究との連携を図ること。また複数の研究機関（グループ）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管理運営を行うこと。

機構は研究開発の進捗状況等を把握するためにヒアリングを実施することがある。

平成28年度に中間評価を行う。課題Bに関しては、課題Aとの連携実証実験の実現性およびその効果の総合的な検討と中間評価の結果をもとに1件に絞り、課題Aと連携して平成30年度まで実施する。

平成30年度に終了評価を行う。また研究開発終了後に、成果の展開等状況調査、追跡評価を行う場合がある。

6. 参考

(1) 研究課題設定の背景及びその必要性

インターネットは、これまで、多数のプロバイダが階層的に相互接続されながら発展してきたネットワークであった。しかし、最近では、GoogleやFaceBook等の特定サービスを収容するプロバイダへのトラフィック集中が生じ、従来の上位階層を経由したパケット転送では輻輳や遅延が課題となってきた。そこで、サービス利用の遅延短縮やスループット向上を図るため、下位階層の多数のプロバイダが、直接、前述の特定プロバイダに直結するリンクを設定する試みが増えつつある。これは、インターネットのフラット化として知られている【1】。

一方、大規模データセンタでは、数十～数百万台のサーバが、多数のL2/L3スイッチやルータにより構成された階層型ファットツリー型ネットワークにより接続されているが、トラフィック量の増大に伴い、トップルータを経由したデータ転送の大きな遅延および遅延時間の変動、膨大な消費電力が大きな問題となっている。このため最近では、階層型電気パケットスイッチネットワークと光パススイッチを併用し、特定サーバ間の大容量トラフィックは光パススイッチを経由した直結転送とすることで、データセンタ内ネットワークをフラット化し、データ転送遅延の短縮やスループット向上を図ることが試みられている【2】。しかし、現状の光パススイッチとして用いられている光スイッチは10ミリ秒程度の時間を要するため、高速にサーバ間接続を切り換えることが不可能である。さらに、SDN技術を用いて、光バースト信号や光パケットの転送を柔軟に制御する研究も行われている【3-5】。しかし、高速なスイッチを用いた大規模フラットネットワークが実現されておらず、その実証も極めて小規模なものである。

【1】 Yang Xiang et al., “Internet Flattening: Monitoring and Analysis of Inter-Domain Routing”, Proceeding of IEEE ICC 2011,

【2】 Nathan Farrington et al., “Helios: A Hybrid Electrical/Optical Switch

- Architecture for Modular Data Centers”, Proceeding of SIGCOMM2010
- 【3】 EU FP7 Project, “LIGHTNESS: Low latency and high throughput dynamic network infrastructures for high performance datacentre interconnects”,
<http://www.ict-lightness.eu/>
- 【4】 Philip Ji et al., “Optically Interconnected Data Center Using Software-Defined Networking Technology”, Proceeding of OECC/PS 2013
- 【5】 S. J. B. Yoo et al., “Intra and Inter Datacenter Networking: The Role of Optical Packet Switching and Flexible Bandwidth Optical Networking”, Proceeding of ONDM2012

(2) 本課題と機構の自主研究の関係

光ネットワーク研究所フォトニックネットワークシステム研究室の中期計画の柱である、物理フォーマット無依存ネットワーク技術、および同研究所ネットワークアーキテクチャ研究室の光パケット・光パスネットワークサービス基盤技術や高可用ネットワーク自律管理に関する研究と対になる相補的な研究テーマである。