

平成17年度新規委託研究テーマ研究計画書
(高機能フォトニックノード技術の研究開発)

1. 研究テーマ

「高機能フォトニックノード技術の研究開発」

課題ア 超高速スイッチング技術の開発

課題イ 波長群スイッチングノード技術の開発

課題ウ 多元的光パスネットワークング技術の開発

2. 研究開発の目的

今後、高精細動画のストリーム配信やグリッドコンピューティング等による多様な大容量データの送受信に対する需要が予想され、それを担うべき大容量光ネットワーク基盤が必要とされている。その実現のために最も必要な技術の一つとして、光ネットワークにおける高機能・超高速なルーティングノードを実現するための技術がある。

ルータの従来方式である、光信号を一旦電気信号に変換してルーティング処理を行なう方式は、処理能力や消費電力等の問題があり、次世代の大容量ネットワークを支えるべきルータとしては課題が多いと考えられる。また、光を一切電気信号に変換せずに光のままルーティング処理を行なう全光方式のルータが提案されているが、その実現には、超高速かつ超大規模な光スイッチ技術や超高速なルータ制御技術等、多くの困難な技術開発課題が伴う。

光スイッチでは、パケット単位・波長パス単位の光路切替を行なうが、実際の通信では、(特定の入力元から特定の出力先への)スイッチング対象がある程度まとまってスイッチングノードに入ってくることも一般的であり、多様な大容量データの送受信においては、このまとまりの粒度も多様なものになる。従って、光路切替の粒度を、パケット単位・波長パス単位よりも大きな何段階かに設定しておき、スイッチングの状況に応じて適切な粒度で光路切替を行なうことがスイッチングノードのスループットや柔軟性を上げるのに有効である。このような切替の粒度としては、数波長パスを一つにまとめたものを波長群パスとした波長群パス単位などが考えられる。超高速超大規模光スイッチや超高速ルータ制御の開発・実現が容易ではない中で、このような適切な切替粒度の選択を伴うスイッチングノードの技術は、光スイッチングノードの超高速性や、光路切替粒度の柔軟性による高機能性を実現するのに必要な技術と言える。

そこで、本研究では、波長群パス単位、波長パス単位といった多元的なスイッチング粒度を持ち、状況に従って適切な粒度を選択してスイッチングするような、(スループット100Tbpsクラスの)高機能フォトニックノードの技術開発、そして、そのようなノードの使用による、多元的な粒度を有する光パスネットワークングの技術開発を行なう。

3. 研究開発期間及び平成 17 年度予算

平成 17 年度から平成 21 年度までの 5 年間とする。

平成 17 年度 400 百万円程度以内

4. 研究開発課題

課題ア 超高速スイッチング技術の開発

利用効率の高い光ネットワークを実現するためには、スイッチングノードにおける光スイッチの高速性やチャンネル数が鍵となる。

当課題では、波長パス単位の超高速光スイッチング技術に関する研究開発を行う。具体的には、10ナノ秒以下の切り替え時間のスイッチング素子による128 x 128チャンネル程度の中規模光スイッチを実現する技術を開発する。その中で、主な光スイッチ各方式のチャンネル規模や切り替え時間等について比較・検討し、この中規模光スイッチの実現に最適な方式を、その優位性を明確にした上で、研究開発する。

課題イ 波長群スイッチングノード技術の開発

100Tbps 級のスループットを実現するためには、複数の波長パスを一つのパス(波長群パス)として一括してスイッチングする「波長群パススイッチング」技術が必要である。これにより、一つの波長パスのスイッチングを超高速化することなく、波長群パスを構成する複数の波長を用いた並列伝送により単位波長当たり40Gbpsを超える超大容量光パスの提供が実現できると共に、同一規模の光スイッチで高スループット化や波長パス管理の簡易化が期待できる。

当課題においては、波長群パス内の光パスの多重・分離等の編集機能や、波長群パス間の光パスの入れ替え機能、複数波長の連鎖転送による超大容量転送技術の他、波長群パスを用いたフォトニックネットワークのノード間で相互接続を行なう上で必須となる、波長群を一括して光のまま接続する技術等の開発を行なう。課題アによる超高速スイッチも組み込み、波長パス単位と波長群パス単位という多元的なスイッチング粒度を有する高機能フォトニックノードを実現するためのハードウェア構成技術に関する研究開発を行なう。

また、100Tbps 級の処理容量実現のために、波長群パスが占有する帯域幅を狭窄化する等、高密度の波長群のハンドリングを可能とする波長群高密度対応化技術の開発も併せて行なう。

課題ウ 多元的光パスネットワーク技術の開発

当該テーマが目指す高機能フォトニックノード技術の研究開発に当たっては、それが構成要素となるようなコア系ネットワークを始めとする大規模ネットワークの全体構成を念頭に置いた設計が重要となる。本課題においては、波長と波長群のように、多元的な粒度を有する

光パスを利用した効率的なフォトニックネットワークアーキテクチャ及びネットワーク最適設計法の研究開発を行なう。

また、波長スイッチと波長群スイッチの間というように、異なるスイッチング粒度間で光パスを最適に制御・運用するための研究開発を行い、課題ア、課題イのハードウェア関連技術との連携により、100Tbps 級高機能光ルータによる多元的光パスネットワークの実現を図る。

5. 研究テーマ選定の背景、研究開発の必要性及び他で実施されている類似研究との切り分け、標準化の動向

1) 当該研究テーマを取り巻く現状

現在のネットワーク基盤においては、増えつづける通信需要に対応するための大容量化に対する大きなニーズが存在する。高精細動画のストリーム配信やグリッドコンピューティング等、多様な大容量データの送受信が一般的になっていくと予想されることも考慮すれば、今後において、光ネットワークの通信容量に対してさらに大幅な需要の増大が見込まれる。現在では基幹光ネットワークの通信速度は 100Gbps への到達が見えつつあるが、光ネットワークの通信速度の向上は光ファイバの品質向上や、分割多重化の技術進歩により、10年で3ケタ以上の割合で続いており、ネットワークノードにおいて必要となるスループットが 2010 年代には 100Tbps に達することになる。従って、今後見込まれる大きな通信需要に対応するために、100Tbps を目安とした大容量光ネットワーク基盤を実現することは、中期的な目標として適切である。

そのような大容量光ネットワーク基盤の実現のためには、光ファイバの増強や分割多重化技術による光の伝送容量の拡大も重要であるが、それ以上に重要であり、かつ、技術的な困難点になると考えられるのが、光ネットワークにおけるルーティングノードの処理能力である。

ルータの従来方式は光信号を一旦電気信号に変換してルーティング処理を行なうものだが、この方式では、処理能力やスケラビリティの点で限界があり、また、導入・運用コスト、消費電力等の点でも問題があるので、次世代の大容量ネットワークを支えて広範囲に利用されるべきルータとしては課題が多いと考えられる。そのため、光を一切電気信号に変換せずに光のままルーティング処理を行なう全光方式のルータが一つの研究の流れになってきている。極めて高速で作動する光スイッチを核とする、光ルータの理想形態の一つである。しかし、その実現には、超高速かつ超大規模な光スイッチ、および、アドレス解析等ルータの制御部として全光で(光スイッチの速度に見合う)超高速な制御部、これらを中心に多くの困難な技術開発課題がある。

米国では、国防高等研究計画局(Defense Advanced Research Project Agency: DARPA)が DOD-N(Data in Optical Domain Network)計画を遂行している。その一環として、UCSB(カリフォルニア大学サンタバーバラ校)の研究者グループを中心として CISCO 社が加わる「LASOR」

(Label Switched Optical Router)チームが、制御部の大部分は従来型と同様の電気による制御とするがパケットは光のまま扱おうという、スループット 100Tbps 級のハイブリッド型ルータを開発するとしている。

EU においても、1Tbps、チャンネル当たり 40Gbps の速度、WDM として 40 チャンネルを目標とした METEOR プロジェクトが終了し、IST プロジェクトの下で幾つかの光ルータ関連のプロジェクトが始まっている。

2) 研究開発の必要性

光スイッチでは、バーストスイッチングや波長パス単位の光路切替を行なうが、実際の通信では、(特定の入力元から特定の出力先への)スイッチング対象がある程度まとまってスイッチングノードに入ってくることも一般的であり、多様な大容量データの送受信においては、このまとまりの粒度も多様なものになる。従って、光路切替の粒度を、波長パス単位よりも大きな何段階かに設定しておき、スイッチングの状況に応じて適切な粒度で光路切替を行なうことがルーティングノードのスループットや柔軟性を上げるのに有効である。超高速超大規模光スイッチや超高速ルータ制御の開発・実現が容易ではない中で、このような適切な切替粒度の選択を伴うスイッチングの技術は、光スイッチングノードの(スループット 100Tbps 級の)超高速性や、光路切替粒度の柔軟性による高機能性を実現するために必要な技術であり、また、比較的早期に実現が見込める技術である。

3) NICT 及び他で実施されている類似研究との切り分けと NICT 委託研究における本テーマの位置づけ

光スイッチ(光路スイッチ)に関する研究動向として、NICT 委託研究「光バーストスイッチング」で、MEMS による自由空間型光バーストスイッチを開発している。目標としている規模は 256×256 チャンネルと大規模であるが、スイッチング速度は ms レベルである。また、技術研究組合「フェムト秒テクノロジー」において、ps レベルのスイッチング速度を目標とするマトリクス型スイッチが複数開発されているが、規模が 16×16 チャンネルレベルに留まっている。本テーマの課題アでは、光スイッチの規模と速度の目標レベルとして、高機能フォトニックノードにおける波長パスのスイッチングに使われるスイッチとして必要であり、かつ、実現が現実的であるレベル、すなわち、128×128 チャンネル、ns レベルとする。

また、NICT 委託研究「フォトニックネットワークに関する光アクセス網」や「ナノ技術を活用した超高機能ネットワーク技術」等の研究の中で、フォトニックノードの要素技術となる技術として、WDM 適用下において波長毎の分岐・挿入を行なう技術である OADM 技術の開発が行なわれている。それに対して本テーマの課題イでは、波長群スイッチングに必要な、スイッチングノードにおける波長群の編集機能や、波長群パス間の光パスの入れ替え機能といった、よ

り高機能かつ高速に波長を取り扱う機能の技術開発を行なう。

4) 標準化の動向

光ルータに関する標準としては、入出力の仕様を定める標準が中心である。プロトコルに関しては、フォトニックレイヤーのアーキテクチャについて、ITU-T G.872 で3レイヤ(OTS、OMS、OCh)の定義が成され、ITU-T G.709 で OCh フレームフォーマットが検討中である。ルータのインタフェースについては、ITU-T G.692 で波長多重の 100GHz/50GHz 間隔標準波長が定められている。また、IETF において、MP λ S(Multi Protocol Lambda Switching) や GMPLS(Generalized Multi Protocol Label Switching)が定められている。

6. 研究開発の到達目標

提案に際しては、各課題について適切な数値目標を設定すると同時に、その目標を設定した根拠を示すこと。

【前提】

当該分野における技術動向は日進月歩であり、本研究の実施に際しては、初年度から最終年度に至るまで、継続的な調査研究を実施して、研究成果の優位点をなるべく多数維持し、成果の普及の見込みを確かなものにするべく努める。また、関連する標準化やガイドライン等についても定常的に動向を把握し、本研究開発成果の展開が容易になるように研究開発に反映させるものである。

また、各課題において以下のような到達目標を目安として設定する。これらの到達目標への計画と根拠を示すこと。

課題ア 超高速スイッチング技術の開発

1チャンネル当たり40Gbps以上の高速信号に対し、10ナノ秒以下の切り替え時間のスイッチング素子を用いて、128 x 128チャンネル程度の中規模スイッチを実現することを目標にする。これは、規模と速度を両立させた、実現可能な目標レベルであり、高機能フォトニックノードにおける波長パス単位のスイッチとして必要なレベルである。課題の実施においては、課題ウにおける実証実験の結果のフィードバックによる改良を行ない、上記目標を達成した、安定した超高速スイッチを開発する。

課題イ 波長群スイッチングノード技術の開発

多元的なスイッチング粒度を有する高機能フォトニックノードを実現するためには、波長パスの粒度において、10～40Gbps の数千の波長パス、波長群パスの粒度において、パス容量数百 Gbps の数百の波長群パス、このような規模を自在に扱える編集・入れ替え等の機能が必要と考えられるので、これらを達成するハードウェア構成技術を実現し、波長群高密度対応化技術の実現と合わせて、全体として 100Tbps のスループットを有すると共に、従来の大規模電気ルータに比べて約1/7程度にまで小型化かつ低消費電力化を実現する光スイッチングノード技術を確立する。課題ウにおける実証実験の結果をフィードバックすることで、改良を図る。

課題ウ 多元的光パスネットワーキング技術の開発

将来の多元的光パスネットワークの設計法及び各々のフォトニックネットワークノードにおける各粒度のパス処理機能の配備法を確立すると共に、複数の多元粒度光パス間におけるシームレスな連携を行うための制御アルゴリズムを開発し、制御システムのプロトタイプ化を行う。以上の成果及び、(課題ア)、(課題イ)で実現されたノードを用いて実証実験用のネットワークを構築する。そして、実証実験によって、伝送容量、スループット、敷設・維持コスト等の性能上の観点から、このネットワークを従来のネットワークと比較評価し、性能的な向上がどの程度達成されているかを評価する。また、波長群スイッチングと多元的スイッチング粒度の採用の、その性能向上に対する寄与を評価する。さらに、上の制御アルゴリズムがスイッチング粒度選択の最適化を達成しているかどうかを評価する。

7. 期待される波及効果

1) 類似研究開発面に期待する波及効果

本テーマはスイッチングノードのシステム化技術の開発を主眼とするものであるが、そこで要素技術として開発される技術も多く、光スイッチや光ルータの研究開発に与える波及効果は少なくないと期待される。特に、課題イにおける波長群を扱う技術は、WDM等、多数の波長を扱う光通信技術と関連する部分も多く、これら技術への波及効果が期待できる。

2) 実用化面に期待する波及効果

従来方式では次世代光ネットワークのコアルータあるいはハイエンドルータを担うには限界があり、一方で全光方式は実現時期が見えない。本テーマの成果である高機能フォトニックノードの活用により、次世代光ネットワークのフォトニックノードとして実用的なものの開発が可能になるという点で、非常に大きな効果があるものと思われる。

3) 標準化活動面に期待する波及効果

ルータの制御に関する標準としては、MP λ S(Multi Protocol Lambda Switching)や GMPLS(Generalized Multi Protocol Label Switching)が挙げられるが、これらが、本テーマの成果であるハイブリッド型光ルータが示す性能に合致したものに変更される可能性があり、その点で標準に対する波及効果をもつ。

8. 研究開発スケジュール

	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
課題ア 超高速スイッチング技術の開発		設計・開発	試験	フィードバック改良	
課題イ 波長群スイッチングノード技術の開発		設計・開発	試験	フィードバック改良	
課題ウ 多元的光パステットワーキング技術の開発		設計・開発	試験	連携/実証実験	