

平成 27 年度研究開発成果概要書

課 題 名 : 大規模フラットネットワーク基盤技術の研究開発
採 択 番 号 : 176B02
個別課題名 : 課題B 柔軟な高速可変性を利用する大規模フラットネットワークの検討
副 題 : 大規模フラットネットワーク構築のための弾力性のある光パス設定制御

(1) 研究開発の目的

現在、データセンター内ネットワークや、さらに範囲を拡大したメトロエリアの Layer2 ネットワークの構築の重要性が高まっている。多数の Layer2 スイッチを経路のループに注意しながらツリー型などの階層的な物理構造で接続する伝統的な手法では、階層ごとの中継処理に伴う遅延の増大、物理的トポロジに起因するボトルネックリンクなどの存在、ループ回避のための Spanning Tree Protocol(STP)の冗長化によるリンク利用効率の低下などの問題が指摘されている。この問題に対し、フラットな Layer2 ネットワークが注目されている。このネットワークでは、IETF で規定されている TRILL(Transparent Interconnection of Lots of Links)に基づく Equal Cost Multi-Path や IEEE 標準の SPB(Shortest Path Bridge)に基づく VLAN タグによる複数パス経路の確保など、これまでの階層化トポロジ構造に拘束された手法とは異なり、複数のパスを柔軟に利用することによりネットワーク利用効率の向上と高速なパス設定・切替を可能としている。今後、このようなフラットネットワークの大規模化に対するニーズは容易に予測され、世界各国で積極的な研究開発競争が本格化しはじめている。「大規模化」には、特に、ネットワークの地理的な広域化という視点と、収容ノード数の増大という視点を挙げることができる。前者の地理的広域化に関して、ネットワークの能力を最大限に引き出すために、互いに遠方のノード間に対してマルチパスを提供する場合、長距離伝送による物理レイヤ信号劣化に加えて網資源利用の競合が強くなることによる光パス設定の接続性低下問題が存在する。そのため、高度なネットワーク制御により、地理的に大規模なネットワークに対して光パスを高い接続性で提供するという技術課題を解決する必要がある。一方、ノード数の増大に対しては、必然的に対地間の組合せが爆発的に増大することから、複数の対地間光パスを設定することで特定のリンク内のパスの多重度が極めて高くなり、その結果、当該リンクにおける輻輳が発生しやすくなるとともに、バースト的に発生する対地間通信の ON-OFF 状態の変化によりトラヒックの急激な変動も起こりやすくなるため、トラヒック変動に対する即時の対応が不可欠となる。このように、総パス設定数の爆発的増大に伴う急激なトラヒック変動に対して迅速に対処するとともに網全体の負荷バランスを達成する技術が必要不可欠である。

上記の技術課題を解決する光パス設定・変更制御技術の実現が本研究の大目標である。現状の実用性を重要視した研究開発の状況を鑑みるに、光回線交換方式に対しては波長連続性制約を考慮に入れつつ半固定的な経路の設定を行う経路選択技術の研究開発が主流であり、光パケット交換方式に対しても仮想的な転送経路を自在に変更することは困難である。現状の研究開発の主流が準静的な制御となっていることの主要因として、現在実現する光スイッチでは、ナノ秒オーダーの高速処理が不可能であったため、予め光パスを安全側に準備しておくなどのプロアクティブなアプローチに頼らざるを得ないという現状があった。もし、高速な交換能力を有する光スイッチが実現されれば、パス設定制御の高度化も新たなフェーズを迎えることになる。これまでの RWA(Routing and Wavelength Assignment)問題は、その時点での最大効用の解を探索するというものが大部分であり、一部、その後のトラヒック変動を予測して解を探索するという手法も存在している。ただし、そのような現状におけ

(27-1)

動的最適化制御と安全側を見据えたプロアクティブ型の制御は収容効率向上の面で有効であるが、当該制御のみでは、状態の変化に対する即応性という意味では不十分である。前述のとおり、頻繁に生じうる想定を超えた変化に対して、現状の対応状況を柔軟かつ迅速に修正するという劣悪状態からの強い修復能力を有する制御をも含めた技術開発は十分とはいえない。

以上の技術的背景の下、本研究では、現状態・将来状態に基づく最適化制御に加え、頻繁に発生しうる想定を超えた状態変化に対する即応的な修正能力を兼ね備えた、強い「弾力性」を有する接続性の高いパス設定制御の確立を具体的な目的とする。特に、高速に交換可能な光スイッチの能力を最大限に活用することにより、修復能力、すなわち解の適応的変更能力を高めることを目指す点に特徴がある。

(2) 研究開発期間

平成26年度から平成31年度（5年間）

(3) 実施機関

公立大学法人大阪府立大学<代表研究者>（実施責任者 教授 戸出英樹）、
国立大学法人大阪大学（実施責任者 教授 渡辺尚）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 45百万円（平成27年度10百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題ア：弾力性のある光パスの波長／ファイバ割当方式の開発

1. 仮予約の概念を導入したプロアクティブ型経路設定・変更制御技術
（大阪府立大学／大阪大学）

2. 光パケット網と光回線網の専用周波数帯域の動的調整制御（大阪大学）

課題イ：トラフィックバランスと対地間公平性を実現する複数経路事前設定法
（大阪府立大学）

課題ウ：弾力性のある光パス設定方式のコントロール部構成法の開発と実証実験

1. 柔軟なコントロール部の設計とプロトタイプ実装（大阪府立大学／大阪大学）

2. 高速切り替え可能な光スイッチを用いた光パス設定制御の実証実験
（大阪府立大学／大阪大学）

(6) これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	21	13
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

・課題アー1について、エラスティック光ネットワークにおいて、周波数スロットの「仮予約」の概念をベースとする「仮予約型経路設定・変更制御」の仮予約帯域を拡張変更する方式の仕

様検討・設計を行った。具体的なアルゴリズムを策定した仮予約型経路設定・変更制御を自作ネットワークシミュレータに実装し、計算機シミュレーションにより、複数のネットワークポロジで、提案方式と代表的な比較対象方式（提案方式の簡易版を含む）との間の接続棄却確率の面からの性能比較を定量的に行い、基本提案機能の有効性を確認した。研究成果を OECC/PS2016 に現在投稿中である。

・課題ア-2について、前年度に引き続き光回線交換技術と光回線交換技術の最先端研究開発動向を調査した。GA を用いた手法に関して、要求スロット数ごとの優先領域のサイズを、経路の重複数の最大値を最小化することを目的関数とした GA で算出し、設定する手法を検討した。計算機シミュレーションによる性能評価を行い、代表的な方式との比較を行った。また、前年度に設計した各交換網に割り当てる専用周波数資源帯域の制御方式について、その詳細な性能評価を行い、APSITT2015 で成果報告を行った。更に、資源境界をどの粒度で制御するのが効果的かを評価し、リンクごとに棄却率に基づいて境界制御する動的資源制御手法を設計した。これは、ネットワーク全体で資源境界を集中制御するのではなく、分散的に各ノードで出力リンクごとに制御する方式であり、地理的に分散配置されたネットワークへ適用可能である。計算機シミュレーションにより、提案方式の基本特性を棄却率などの観点から評価し得られた研究成果を電子情報通信学会総合大会にて発表した。

・課題イについて、光パスを網内の負荷バランスや各対地経路間の品質の公平性を同時に考慮に入れて空間的に並列に提供する方式について、光パケット/光回線交換統合網に適したヒューリスティック手法と GA ベースで全体の準最適化を図るメタヒューリスティック手法の両面から方式を詳細に検討し、その仕様設計を行った。前者については、パケット交換・回線交換統合網を想定し、光パケット交換網で実装される次ホップ経路算出手法を適切に利用して光回線交換網を対象とした高速な光パス設計法を提案し、計算機シミュレータを実装した上で、基本性能評価を行った。後者については、前年度に基本提案した、遺伝的アルゴリズムに基づく手法を詳細設計した。検討したトラフィックバランスと対地間公平性を実現する双方の複数経路事前設定法を自作ネットワークシミュレータに実装した後、計算機シミュレーションにより、提案方式と代表的な比較対象方式との間の接続棄却確率の面からの性能比較を行い、その有効性を確認した。以上の研究成果を、前者については電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、同研究会学生ワークショップにそれぞれ発表し、国際会議 HPSR に現在投稿中である。一方、後者については電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、ネットワークシステム研究会、および国際会議 IEEE CEC2015 にてそれぞれ発表した。

・課題ウ-1 について、課題ア及びイの制御を実装する上で、望ましい制御部のあり方を検討した。SDN (Software Defined Network) の有力な実現形態であるオープンフローを用いたアーキテクチャを採用し、原則として集中制御に基づく動的制御を想定した上で、各種提案方式の詳細を考慮に入れて機能モジュール構成、情報収集・通知の手順を検討した。具体的な動的制御として、光パケット交換網から光パス網へのオフローディング技術に注目し、基本提案方式のフレームワークを確立した上で、プロトタイプ実装へ向けての足がかりを築いた。