

## 平成25年度研究開発成果概要書

課題名 : 脳や生体の動作原理に基づく光通信ネットワーク制御基盤に関する研究開発  
採択番号 : 166  
個別課題名 : 課題ア 脳や生体の環境適応性に学ぶ光パストポロジー制御技術の研究開発  
課題イ 大規模光パストポロジー制御を実現するネットワーク制御プラットフォームの研究開発  
副題 : 省エネで高信頼な自己組織型の光通信ネットワーク制御技術の研究開発

### (1) 研究開発の目的

大局的な情報集約による全体最適化を行わず、脳や生体に見られる局所的情報交換によって、予測困難な環境変動にも適応的に動作することが可能な自己組織的制御によって、高信頼、すなわち、トラヒック変動や故障等が発生した場合にも、その状況に基づいた全体最適化を必要とせず、新しい状況に適応して最適又はそれに近い性能を短時間で得ることのできる光パストポロジーを構成する大規模光通信ネットワーク制御基盤技術を確立する。

### (2) 研究開発期間

平成24年度から平成26年度(3年間)

### (3) 委託先

国立大学法人大阪大学<代表研究者>、日本電信電話株式会社

### (4) 研究開発予算(契約額)

総額290百万円(平成25年度90百万円)

※百万円未満切り上げ

### (5) 研究開発課題と担当

課題ア: 脳や生体の環境適応性に学ぶ光パストポロジー制御技術の研究開発(大阪大学)

課題イ: 大規模光パストポロジー制御を実現するネットワーク制御プラットフォームの研究開発

課題イ-1 光パス復旧シナリオ決定アルゴリズムの研究開発  
(日本電信電話株式会社)

課題イ-2 大規模光パストポロジー制御技術の研究開発  
(日本電信電話株式会社)

課題イ-3 ネットワーク制御プラットフォームによる実証と普及推進  
(日本電信電話株式会社)

### (6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	4	3
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	18	10
	プレスリリース	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	1	1

## (7) 具体的な成果実施内容と成果

### 課題ア) 脳や生体の環境適応性に学ぶ光パストポロジー制御技術の研究開発

平成 25 年度は、環境変化に対する適応性を向上させるための、アトラクターとして保持する光パストポロジー候補導出方法の検討、および、社内実験ネットワークの拡張とそれを用いたノード障害への適応の実証実験を実施した。

われわれのこれまでの検討では、ランダムに生成した光パストポロジー候補をゆらぎ制御のアトラクターとし、環境変動に応じてゆらぎにより光パストポロジーを選択する方式を採用している。シミュレーション評価ではトラヒック変動や故障に強いことを示しているが、ランダムに構築した光パストポロジーを埋め込んでいることから、収束時間が長いなどの課題や最適性自体が十分でないなどの課題がある。そのため、アトラクターとして埋め込む光パストポロジーの候補集合を適切に設定することが必要であり、これによって高い確率で最適解又はそれに近い解を導出する光パストポロジー制御手法を実現する。

具体的には、 $2^{N(N-1)}$  個 ( $N$  はノード数) の光パストポロジー候補集合から、多様性を持った  $N^2/10$  個の光パストポロジー候補を選出する方法を提案した。 $2^{N(N-1)}$  は、 $N$  ノードの物理基盤上に構築しうる光パストポロジーの総数であり  $N^2/10$  は、ゆらぎ制御でアトラクターとして保持できる光パストポロジー候補数の限界値である。手法を、a) 膨大な数の光パストポロジー候補から、少数の光パストポロジーを選出する点、b) 少数でありながら、多様な光パストポロジーを選出する点について説明する。a) を実現するためには、クラスタリングを採用した。同様の性質を持つ光パストポロジー候補を単一のクラスターにまとめる。さらに、少数の光パストポロジー候補を選出する必要があるため、さらに似た特性を持つ光パストポロジーが属しているクラスターをマージする。これにより、同じ、もしくは似た特性を持つ光パストポロジーを同一のクラスターに含める。これらのクラスターから、それぞれ 1 つ代表の光パストポロジーを選出することで、特性の異なる少数の光パストポロジー候補を選出する。b) の多様性を実現するための特性値として、光パストポロジーの媒介中心性を用いた。辺の媒介中心性はリンクを流れるトラヒック量の期待値として利用することができる値である。媒介中心性を使い、ボトルネックとなり得るリンクが同一の光パストポロジーを a) のステップで同一クラスターにまとめることで、異なるクラスターに属する光パストポロジー候補同士はボトルネックになりうるリンクが異なる状態にする。a)、b) により膨大な光パストポロジー候補から、少数でありながら多様な光パストポロジー候補を選出することが可能である。

提案手法をシミュレーションによって評価した。5 ノードの物理基盤を対象として、提案手法によって光パストポロジー候補を選出し、ランダムに生成した 10,000 通りのトラヒックパターンに対して、選出した光パストポロジーの最大リンク利用率を計算した。その結果、ランダムに光パストポロジーを選出した場合よりも、最大リンク利用率が低い光パストポロジーが選出でき、提案手法によって選出した光パストポロジー候補が 10,000 通りのトラヒックのように多様な環境に対して適応しうることを確認した。さらに、光パストポロジー候補算出過程に階層化を導入することで 100 ノード以上の物理基盤でも、光パストポロジー候補を算出できることを確認した。

さらに、平成 24 年度に構築した社内実験ネットワークを 7 ノードに拡張し、ゆらぎ制御にもとづく光パストポロジー制御手法の実機検証を実施した。検証の結果、提案手法は実ネットワーク上でも、1) トラヒック変動、2) 単一 OXC 障害、3) 複数 OXC 障害に対して適応的に光パストポロジーを制御可能であることを示した。

### 課題イ) 大規模光パストポロジー制御を実現するネットワーク制御プラットフォームの研究開発

課題イでは、検討内容によって 3 つのサブ課題に分かれる。課題イ-1 では、大規模光通信ネットワークにおける異常事態発生後の迅速な疎通率回復を実現するための、光パス復旧シナリオ決定アルゴリズムの検討を行った。課題イ-2 では、1 万ノード網の高速制

御を実現するための階層型制御アーキテクチャの設計と、光通信ネットワークシミュレータ試作による性能評価を実施した。課題イー3では、成果普及に向けて、広域テストベッド実証実験に向けたネットワーク制御プラットフォームの開発と、標準化提案を実施する。

課題イー1では、故障等によるネットワーク状態変化時の過渡状態において、トラヒック復旧を最早化する問題を定義した。本問題に対して、観測が容易な論理リンク単位のトラヒック量から、End-to-endの交流トラヒック情報を推定する。このとき、流量が大きいトラヒックのみを推定対象とすることで、アルゴリズムの演算処理を高速化する工夫を行った。計算機シミュレーションにより本技術の有効性を評価した結果、1,000ノード規模においても約50秒程度で計算が完了することを確認した。また、交流トラヒック情報を用いることで、リンクトラヒックのみを用いる方法と比較して、復旧時間は1/10に短縮されることを確認した。また、ネットワークを複数ドメインに分割し並列制御を行う階層型アーキテクチャ(課題イー2)によって、10,000ノード規模においても従来技術と比較して1/10の復旧時間となる見通しである。

課題イー2では、10,000ノード網の制御を実現するための網制御アーキテクチャ確立に取り組んだ。10,000ノード規模のネットワーク制御に対して課題イー1のアルゴリズムやパス経路計算を行う場合、制御装置の並列制御数限界による(1)パス設定時間の長延化と、ノード数の3乗オーダーで増加するパスの経路計算や設定順序計算アルゴリズムの(2)計算時間長延化が課題となる。そこで、ネットワークを複数ドメインに分割し、複数制御装置を用いた階層型アーキテクチャにより並列制御を行うことで、パス設定時間の大幅な短縮を実現する。また、ドメインをまたぐパス計算のように、ドメイン単位に分割できないアルゴリズムの計算処理については、階層型アーキテクチャの機能配備や情報管理モデルを最適化し、制御装置で管理する情報量を圧縮することで計算時間の短縮を実現する。具体的には、下位階層制御装置によるネットワーク情報の集約と展開処理、及び上位階層制御装置による適切な集約処理の解除により、全体の処理時間の短縮を図る。本アーキテクチャを階層型ネットワークシミュレータと実装・評価した結果、500ノード環境では従来技術と比較して約50%の制御時間短縮効果があること、さらに、10,000ノード規模においても従来技術に対して1/10の復旧時間を達成可能である見通しを得た。

課題イー3では、IPルータやOXC等の市中機器で構成されるネットワークの高速制御を実現する制御プラットフォーム実装方式の提案と設計を行い、次年度のJGN-X実証実験に向けた制御プラットフォームの実装を行った。本実装では、制御プラットフォームから各装置へ直接設定情報を投入する集中制御方式を採用することでパス開通に伴うシグナリングを不要とする。また、光パスの設定順序は課題イー1のアルゴリズムに従いつつ、IPルータに対するMPLSパスの設定を集約し一括投入することで、高速な設定制御を実現する。IPルータ及びOXCで構成される実験網上での制御時間の測定により、10,000本のMPLSパスが存在する環境においても、提案技術の制御時間は140秒程度で完了し、制御プラットフォームが正常に動作していることを確認した。さらに、課題ア、課題イ含め、本受託研究で検討した故障復旧に関するメカニズムに関しては、ITU-T SG13 会合において寄書提案を実施し、研究内容の普及促進を行った。