

平成28年度研究開発成果概要書

採択番号：16801

課題名：将来ネットワークの実現に向けた超大規模情報ネットワーク基盤技術に関する研究
副題：ACTION: トランスポート、IP、及び、光ネットワークと連携するアプリケーション

(1) 研究開発の目的

(2) 研究開発期間

平成25年度から平成28年度（4年間）

(3) 実施機関

国立大学法人 電気通信大学（研究代表者 大木英司 教授）

学校法人 慶應義塾（実施責任者 山中直明 教授）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 33 百万円（平成 28 年度 10 百万円）

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

課題1 電気パケットネットワーク制御技術の開発

課題1-1 電気パケットネットワーク制御技術（国立大学法人電気通信大学）

課題2 光ネットワーク制御技術の開発

課題2-1 光ネットワーク制御技術（学校法人慶應義塾）

課題3 ACTIONに関する実証実験

課題3-1 電気パケットネットワーク制御の実証（電気通信大学）

課題3-2 光ネットワーク制御の実証（慶應義塾大学）

(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	6	4
	その他研究発表	43	20
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	8	5
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

課題1 電気パケットネットワーク制御技術の開発

目標：アプリケーションの品質を最大化しつつ、トラフィック変動や故障に対する耐久性を維持する電気パケットネットワーク制御技術を確立する。

課題1-1 電気パケットネットワーク制御技術（国立大学法人電気通信大学）

実施内容：(1) 電気パケットネットワークにおいて、機能拡張した IP ルーティング方式を実現するために、既存の分散制御型のネットワークを活用しながら、集中制御型である Software-Defined Networking(SDN)の技術を部分的に適応できるように、

トラフィック分配機能をエッジルーターに実装する手法を検討した。

(2) 電気パケットネットワークにおいて、ユーザにより大容量のデータ転送要求があった場合、高品質なデータ転送を迅速に実現するために、高速な光パスの設定が必要になる。マルチコアファイバを用いた光ネットワークにおいて、光パワー調整時間を要する光ファイバー増幅器を用いた際においても、迅速に光パスを設定できる光パワー管理方式を検討した。

(3) 電気パケットネットワークと光ネットワークを連携させ、大規模データを分散処理するネットワークアーキテクチャを検討した。提案アーキテクチャにおいて、大規模並列分散処理システムである Hadoop をターゲットとして、計算機資源とネットワーク資源を考慮したタスクの割り当て方式を検討した。

成果：(1) ハイブリッドルーターによる実装手法を提案し、テストネットワーク上での有効性を確認した。

(2) ダミー波長を用いる光パワー管理方式を提案した。光パスの設定時間のダミー波長数依存性を解析し、ダミー波長の設定指針を示した。

(3) Hadoop による分散処理をスレーブノードの処理能力に差があり、かつ、ネットワークの状況に差がある場合においても効率的に実行できるタスク割り当て方式を提案した。

課題2 光ネットワーク制御技術の開発

目標：使用帯域に連動させる可変速度インターフェースを前提として、省電力化、及び、波長資源を有効的に利用する光ネットワーク制御技術を確立する。

課題2-1 光ネットワーク制御技術（学校法人慶應義塾）

実施内容：(1) イーサネットにおける省電力化技術として、Adaptive Link Rate (ALR) 方式と Low Power Idle (LPI) の2方式に着目し、使用帯域に消費電力を比例させることが可能な LPI の電力特性を取り入れたフロー/パス割当アルゴリズムを検討した。また、100GE を対象として可変容量・容量比例消費電力の ALR 型インターフェース実現方式を検討した。

(2) OFDM を利用してダイナミックな容量可変を実現するエラスティック光ネットワークを対象として、適応的にサブキャリアを割り当てることで統計多重効果を実現する方式を検討した。

(3) ソフトウェア OpenFlow スイッチである Lagopus を QoS スライス構成のためのツールとして利用するための性能評価を行った。また、QoS スライスの制御に重要となるエレファントフロー検出方式の検討を行った。

成果：(1) LPI 特性を考慮することで、低負荷時に従来比約 5%~15%の低消費電力化が図れることを明らかにした。また、ALR 型インターフェースにより、負荷 38%の条件で従来比約 20%減の低消費電力化が図れることを明らかにした。

(2) 頻繁なスペクトル再配置を防止するための帯域マージン計算手法を提案し、許容ブロック率、サービスグループサイズ、実験的に求める確率密度関数を用いて、帯域マージンを計算し、スペクトル配置を実現することで、Push-Pull による再配置時間を 500 ms~2 s の間で設計可能となることを明らかにした。

(3) 遅延に感受性の高いアプリケーションクラスと、大容量フローの混在環境下で、Lagopus によるスライススループット制御を行い、スレッド数、転送テーブルサイズが与える影響を評価した。10 Gbps のレートにおいては、パケット損失率がスレッド数増大に伴い 0.27%(1 スレッド)から 3%(4 スレッド)となることを明らかにした。また、高速にエレファントフローを検出する手法として、Least Recently Used(LRU) キャッシュを用いて監視 Window t 内にフローが規定回数以上参照されたことをトリガとしてエレファントフローを LRU キャッシュに登録。監視 Window サイズ t の設計手法を明らかにした。

課題3 ACTIONに関する実証実験

目標：課題1と課題2で得られた技術と米国の技術を統合し、実証実験を行う。

課題3-1 電気パケットネットワーク制御の実証（国立大学法人電気通信大学）

実施内容：（1）課題1-1で検討したHadoopタスク割り当て方式を実装し、性能評価を行った。

（2）広域ネットワークにおける計算機資源とネットワーク資源を考慮したHadoopタスク割り当て方式の日米実証実験を行うために、電気通信大学、慶應大学、NICT、バージニア大学の間でHadoopテストベッドを構築し、提案方式の有効性確認を行った。

成果：（1）既存のHadoopを改良することにより、実装環境でスレーブノードの処理能力に応じてタスク割り当てのブロックサイズを変更した。実験室環境での性能評価より、提案方式は分散処理全体での処理時間を短縮することを示した。

（2）テストベッドでの評価実験結果より、提案するタスク割り当て方式が広域ネットワークにおいても有効であることを実証した。

課題3-2 光ネットワーク制御の実証（学校法人慶應義塾）

実施内容：（1）Hadoopにフロントエンドを実装し、Hadoop JOBがサーバ間でデータのやり取りが頻発するJOB（Shuffle Heavy）か否か（Shuffle light）を判断し、前者は光のネットワークに経路を自動変更してJOBを継続するシステムを開発し実証実験を行った。

（2）電気パケットネットワークと光ネットワークとをSDNのオーケストレータを利用し連携させ、等価的にリンクの使用容量に連動させる可変速度インターフェース制御方式を実験ネットワーク上で動作させた。トリガをかけるアプリケーションとしては、ネットワークロボット制御を利用した。ネットワークロボット制御技術は、テキサス大学及びその連携研究機関（SwRI）と協力して実装を行った。

成果：（1）Hadoopのスケジューラにおいて、提案する“Shuffle Ratio”を計算することでJobの性質（Shuffle Heavy/Light）を判別する手法を、電気パケット処理/光回線処理のハイブリッドデータセンタ網に実装した。実装したデータセンタ網上で、Shuffle Heavy Jobを動的に光回線に収容変え可能となることを示した。

（2）ネットワークロボットの制御系配置をエッジコンピューティングと組み合わせ、ネットワークロボットのモジュール配置をトリガに伝達網を動的に制御するアプリケーショントリガ制御を日米テストベッド上で実証した。