

## 内容の要旨

報告番号	甲 第 4558 号	氏 名	高 山
主論文題目： Software Defined Control Technology for Wide Area Transport Network (広域トランスポート網のソフトウェアデファインド制御技術)			
<p>クラウドコンピューティングや Internet of Things の普及・発展により、多種多様なサービスを効率的かつ経済的に収容する新たな広域トランスポート網の実現が求められる。既存トランスポート網の構成やプロトコルを大規模化・大容量化した場合、制御システムが大規模化・複雑化することで Operating Expense が大きく上昇する。この問題を解決するために、データセンタや Local Area Network (LAN)へ適用されている Software Defined Networking (SDN)を広域トランスポート網へ拡張することが期待できる。データセンタや LAN と異なり、異なるドメイン/レイヤから構成される広域トランスポート網では、ドメイン/レイヤをまたがる End-to-End パス設定の高速化、管理リソースの増加による制御システム拡張性の劣化の二つの課題解決が必要である。</p> <p>そこで本研究では、高速化をサポートするためのソフトウェアデファインド経路計算エンジンを提案し、その高速性を評価した。また、経路計算エンジンの応用として、メッシュ型接続となる広域トランスポート網の省電力化経路選択への適用を示した。さらには、抽象化を用いた広域トランスポート網制御による管理リソース削減を提案し、実証実験により実現性を明らかにした。</p> <p>まず第 1 章では、ネットワーク制御における特徴や問題点、SDN 化の必要性について述べる。</p> <p>次に第 2 章において、SDN 技術を広域トランスポート網に適用するための課題を明確化し、課題に対する関連研究と第 3 章から第 5 章までに展開される各研究との位置づけを説明する。</p> <p>第 3 章では、広域トランスポート網における End-to-End パス設定高速化を実現するプロセッサチップ内に構築したジオラマ網を用いた集中制御型ソフトウェアデファインド高速経路計算エンジンを提案する。マルチプロセッサを用いて実網トポロジを反映したジオラマ網を構築し、実網上のデータの流れをエミュレーションすることで高速に最短経路を計算する。提案手法をリコンフィギュラブルプロセッサ DAPDNA に実装した結果を示すと共に、ソフトウェア演算比 10 倍の速度で経路を算出可能であることを示す。</p> <p>第 4 章では、第 3 章で述べた集中制御型経路計算エンジンを活用可能な集中・分散ハイブリッド型省電力経路選択手法を述べる。Open Shortest Path First (OSPF)による分散経路選択網に対して、集中制御型経路計算エンジンを用いて動的に各リンクのトラヒック量に応じたコスト最適化を行い、積極的に未利用ノード/ポートを作り出して電源オフにすることで省電力化・管理リソース削減を行う。広域トランスポート網に適用した結果として電源オンリンク数を 20% ~ 50%削減可能であることを示す。</p> <p>第 5 章では、管理リソースを削減するための抽象化を用いた大規模な広域トランスポート網制御の実現手法と実証実験結果を述べる。従来の抽象化は、マルチレイヤ制御の困難性を高める欠点が存在した。大規模な光トランスポートネットワークを単純なレイヤ 2 スイッチに抽象化することでマルチレイヤ制御が実現可能となることを提案し、マルチレイヤ/マルチドメインの SDN トランスポート網接続試験により抽象化アプローチの有効性が確認されたことを示す。</p> <p>最後の第 6 章では、各章のまとめ、本研究の成果を要約するとともに、研究の発展性について言及する。</p>			

## 論文審査の要旨

報告番号	甲 第 4558 号	氏 名	高 山
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 山中 直明
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 笹瀬 巖
		慶應義塾大学教授	工学博士 天野 英晴
		George Mason University	Ph.D in Electrical Engineering Bijan Jabbari
		慶應義塾大学特任教授	博士(工学) 岡本 聡
<p>学士(工学), 修士(工学) 高山君の学位請求論文は, 「Software Defined Control Technology for Wide Area Transport Network」と題し, 全6章から構成される。</p> <p>クラウドコンピューティングや高速モバイル通信, Internet of Things デバイス等の普及により, トランスポートネットワークを流れるトラフィック量は急速な増加を続けている。トランスポートネットワークは様々な伝送装置(スイッチ, ルータ等)およびドメイン(コア, メトロ, アクセス)から構成される。したがって, 増加し続けるトラフィックを効率的に収容するために, これら多種多様かつ膨大な数の伝送装置を効率的に制御する技術が必要となる。さらに, トラフィック量の増加に伴いネットワーク機器の消費電力が増大しており, トラフィックエンジニアリングによる省電力化の実現が要求されている。</p> <p>スケーラブルかつ省電力な次世代のトランスポートネットワークを実現するために, Software Defined Networking (SDN) 技術をトランスポートネットワークに適用することが検討されている。本論文では, 先述した要求を解決し, スケーラブルかつ省電力な広域トランスポートネットワークを実現するための技術について論じ, 必要な要素技術の提案を行っている。本論文は以下のように構成される。</p> <p>第1章は序論であり, 本研究の背景およびSDN技術の必要性を論じている。</p> <p>第2章ではSDN技術を広域トランスポートネットワークに適用する際の課題を提起し, 既存研究を提示している。その上で, 本論文の目的および位置づけを明らかにしている。</p> <p>第3章から第5章にかけて, 具体的な研究内容について述べている。第3章では, 広域トランスポートネットワークにおけるEnd-to-endの高速パス設定を実現する経路計算エンジンを提案している。動的リコンフィギュラブルプロセッサ上に物理ネットワークを模した「ジオラマネットワーク」と呼ぶネットワークを作成し, トラフィックフローをエミュレートすることで, 最短経路を実験的に発見する。提案方式を市販のリコンフィギュラブルプロセッサを用いて実装し, ソフトウェアを用いた既存手法と比較して約1/20の所要時間で最短経路を算出可能であることを示している。</p> <p>第4章では, 第3章で述べた経路計算エンジンに適用可能な, 省電力トラフィックエンジニアリング方式について提案している。一般的なルーチングプロトコルであるOpen Shortest Path Firstを拡張し, 不使用リンクおよび不使用ノードの数を増加させることを目的として, 各リンクに与えられるリンクコストをトラフィック負荷に応じて動的に変更する。計算機シミュレーションにより, 本提案方式の適用により電源オンのリンク数を約20~50%削減可能であることを示している。</p> <p>第5章では, 広域トランスポートネットワークの制御方法として, ネットワークの抽象化により制御装置の数を削減しスケーラビリティを向上させる手法について検討している。複数のドメインおよびレイヤに跨がるネットワークを制御するために, 各ネットワークドメインをレイヤ2スイッチに抽象化し, 共通のコントロールシステムから制御を行う。提案方式の実現可能性を証明するために, 全国規模のネットワークを構築し実証実験を実施したことを報告している。</p> <p>第6章は結論であり, 本研究により得られた結果を総括している。</p> <p>以上要するに, 本論文はSDN技術を用いた広域トランスポートネットワークの制御手法確立のために, ジオラマネットワークを用いた高速経路探索手法, リンクコストの動的変更による省電力トラフィックエンジニアリング手法, ネットワーク抽象化を用いたスケーラブルな広域トランスポートネットワーク制御手法について提示している。これらの研究内容は, 通信ネットワークの効率的な制御を実現し, 高度なネットワークインフラストラクチャを将来にわたり提供・運用していく上で, 工学上寄与する所が大きいと評価される。</p> <p>よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			