

## 審査の結果の要旨

氏名 熊木 健二

本論文は、「キャリアグレード ISP ネットワークにおける MPLS システム・運用アーキテクチャに関する研究」と題し、キャリア ISP で広く普及している MPLS ネットワークを対象に、キャリア ISP ネットワークの設計者および運用者として、安定した実システム運用という視点から実装の曖昧性や機能の不足に対して改善することを目指し、既存プロトコルの拡張・参照アーキテクチャ・参照レイヤ構造を導入することで、システム運用要件に基づいた実装の明確化や機能の充実化を実現する手法について論じたものであり、全体で 6 章から構成されている。

第 1 章は「緒論」であり、本研究の背景とキャリア ISP の MPLS ネットワークアーキテクチャの現状・課題に関して述べている。その中で、現状の MPLS ネットワークアーキテクチャの課題に対して、現状の MPLS ネットワークアーキテクチャを変更・修正すべき項目を抽出した。また、変更・修正すべき項目に対し、実装の明確化や機能の充実化を実現するための具体的なシステム運用要件を整理した。

第 2 章は、「MPLS TE パス確立に関するロードバランシングアーキテクチャ」と題し、大容量トラフィックの制御に関して、リンクの抽象化およびそのリンク上への MPLS パスの設定手法・管理手法に関する問題として、既存プロトコルの拡張を記述することで明確化し、MPLS TE パス経路選定手法を提案した。既存プロトコルの拡張では RFC3630 で定義される Traffic Engineering LSA の Link TLV (Type 2) 内に OSPF Unconstrained TE LSP Count sub-TLV として RFC5330 に定義した。OSPF Unconstrained TE LSP Count sub-TLV を用いた MPLS TE パス経路選定手法に関して実ネットワークに近い環境を想定するため、3 つのパターンに対してシミュレーションを用いた評価を行った。また、実際のキャリア ISP で使用されるルータベンダの実装およびランダムに経路を選定するためにシミュレーションを用いた評価をし、上記提案手法と比較し、提案手法により、実運用で求められているルータ間に複数のリンクが並列に存在する ECMP 環境において、静的な経路選定によって確立された MPLS TE パスの本数や既に確立された MPLS TE パスの本数を考慮して MPLS TE パスを複数の並列リンクに対して均等に確立することが可能となったことを確認した。

第 3 章は「GMPLS ネットワークと連携する上で MPLS TE パスを提供するアーキテクチャ」と題し、ネットワーク統合手法に関して、リンクの抽象化およびそのリンク上への GMPLS パスの設定手法・管理手法に関する問題として、参照アーキテクチャや具体的な要求仕様および参照アーキテクチャに基づく実装のためのネットワークアーキテクチャを記述することで明確化し、実際にベンダと共同で実装することにより実装の曖昧性や不適切性を排除する手法を提案した。具体的には、MPLS ネットワークを統合するにあたり課題となっている項目を満足する参照アーキテクチャを提案した。参照アーキテクチャでは MPLS クライアントネットワークと GMPLS サーバネットワークというクライアント・サーバモデルを展開し、MPLS クライアントネットワークと GMPLS サーバネットワークの連携をノードであるボーダルータで行うアーキテクチャとした。次に、GMPLS ネットワークを用いて MPLS ネットワークを統合するためにキャリア ISP からの要求仕様を列挙した。参照モデルおよびキャリア ISP の要求仕様からネットワークアーキテクチャとしてボーダピアモデルの提案を行った。本提案モデルと他の 3 つのモデル（オーバーレイモデル、Augmented モデル、ピアモデル）に関して、キャリア ISP がネットワーク制御・運用する上で必須となる項目を比較し、本提案モデルであるボーダピアモデルが全ての要求を満たしていることを示した。また、ボーダピアモデルをベンダと共同で実装したため、ボーダピアモデルの実装例を示した。これらの結果から、キャリア ISP が GMPLS ネットワークを用いて既存 MPLS ネットワークを統合するにあたり、キャリア ISP の要求仕様を満足したアーキテクチャを示し、そのアーキテクチャに基づいた実装をベンダと共同で行い、実装の曖昧性や不適切性を排除したネットワーク統合手法を実現した。

第 4 章は「バックアップパス疎通確認アーキテクチャ」と題し、バックアップパスの自動監視に関して、MPLS システム管理

に関する問題としてキャリア ISP のシステム設計仕様書の策定において、既存プロトコルの拡張を記述することで明確化し、左記拡張を用いたバックアップパスデータプレーン疎通確認手法を提案した。既存プロトコルの拡張では実システムのインパクトを最小限にするため、障害時に起こるラベルプッシュ動作(MP ラベルおよびバックアップパス出力ラベル)をエミュレートする手法を選択した。また、本手法は FRR が動作している場合と同様に、バックアップパスに疎通を確認するパケットを送出することを特徴とする。本バックアップパスデータプレーン疎通確認手法に対し、実運用に近いネットワークを想定するため、解析的な評価を行った。また、解析結果を用いたバックアップパスデータプレーン疎通確認時間を評価するためシミュレーションを用いた。バックアップパス 1 本あたりのパケット処理時間はルータの数に関係なく数百  $\mu$  sec 程度であり、現状の運用における 1 本あたりの MPLS TE パスデータプレーン疎通確認時間(数 msec~数十 msec)に影響を与えなかった。これらの結果から、現在の実システムにインパクトを与えることなく FRR が動作している場合と同様に、バックアップパスに疎通を確認するラベル付きのパケットを送出することで実現し、現実的な処理時間で動作可能なことから、MPLS TE ネットワークの実運用安定化に資する手法であり、不足している機能の充実化に貢献した。

第 5 章は「階層型サービス管理システムアーキテクチャ」と題し、MPLS TE パス/P2MP MPLS TE パスとユーザの同時監視に関して、MPLS システム管理に関する問題としてキャリア ISP のシステム設計仕様書の策定において、参照レイヤ構造として階層型サービスネットワークアーキテクチャを提案した。本階層型サービスネットワークアーキテクチャでは、3 つの管理モジュール(サービス管理モジュール、パス管理モジュール、エレメント管理モジュール)にコリレーションモジュールを組み込み、従来サービス管理システムと MPLS パス管理システムが運用者を介して連携していた部分をコリレーションモジュールとすることでシステム連携とした。具体的には、ユニキャストサービスとして IP-VPN サービスと MPLS TE パスおよびマルチキャストサービスとして Multicast VPN サービスと P2MP MPLS TE パスを階層型サービス管理システムに適用し、それぞれのサービスモデルに対してコリレーションアルゴリズムを提案した。その提案アルゴリズムに対して、論理的な評価を行った。その結果、本階層型サービス管理システムを商用 MPLS ネットワークにおいて適用するにあたり十分スケーラビリティがあることを確認した。また、提案アルゴリズムに対して、実際キャリア ISP のシナリオに従いシミュレーションを用いた評価を行った。シミュレーションにおける評価では、IP-VPN サービスおよび Multicast VPN サービスにおいてほぼ同等の検索時間(数百  $\mu$  sec)を示しており、本階層型サービス管理システムはキャリア ISP が展開する IP-VPN サービスおよび Multicast VPN サービスにおいて十分スケーラビリティがあった。従来のサービス管理システムと MPLS パス管理システムが別々に運用され、そのシステム間の連携は運用者が行っていたため、影響するユーザを特定するにあたり数時間単位の時間を必要としていた。しかし、上記で述べた通り、本連携部分をシステム連携することにより数百  $\mu$  sec で影響したユーザを特定できた。そのため、現状の運用管理システムに対して不足している機能の充実化を実現し、運用工数の削減に貢献した。

第 6 章は「結論」であり、本論文の主たる成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

以上の要するに、本論文は、キャリア品質の運用性と管理性を実現するための MPLS ネットワークアーキテクチャの提案と評価を行っており、次世代インターネットアーキテクチャなど、電子情報学関連分野の今後の進展に寄与・貢献することが少なくない。

よって本論文は、博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。