

審査の結果の要旨

氏名 マリカルユン タティパムラ

近年のインターネットのバックボーンにおけるIPトラフィックの増加は、高速インターネットアクセス技術やモバイルブロードバンド技術の発展と普及、実時間系マルチメディア通信やピア・ツー・ピア型アプリケーションなどの急速な普及に伴い、ますます加速する傾向にある。このようなデータトラフィックの急増に対応するためには、IP技術と光伝送・交換技術を融合・統合した、コストエフェクティブでありながら超広帯域の伝送交換能力を提供可能なネットワークシステムの確立を行う必要がある。その実現の解として有望視されている技術が、IP/MPLS技術を光伝送交換技術と統合化したシステムアーキテクチャであるが、その具体的な実現アーキテクチャの確立が大きな技術課題として認識されている。事実、光伝送交換ネットワーク(OTN; Optical Transport Network) 上での波長パスの設定に必要な時間(時定数)は非常に大きく、IPパケットの交換を実現することは事実上不可能である。

本研究においては、MLSN(Multi-Layer Service Network; マルチレイヤサービス網)に対して、境界モデル(Border Model)を提案し、これを適用したMLSNアーキテクチャとその具体的実装法の提案ならびに評価を行っている。提案システムアーキテクチャは、「サービスの仮想化」、「マルチレイヤ トラフィックエンジニアリング」、「既存サービス/既存サービスアーキテクチャの継続的収容」を実現することを必要条件としている。これを実現するために、本研究においては、「境界モデル(Border Model)」、「サービス仮想化(Service virtualization と Service separation)」および「動的通信資源の管理制御」の3つのフレームワークを新しく提案している。

第1章では、「Introduction and Motivation (序論と研究背景)」として、現在のインターネット環境における様々な要求から導引される光伝送交換ネットワーク技術とIP技術の統合化の必要性を指摘し、その運用において実践的で実装可能なトラフィックエンジニアリング技術の確立の必要性、さらに、現在のネットワークからの移行を考慮したネットワークの運用フレームの必要性に関する問題提起を行い、本研究の背景と目的および貢献を明確化している。

第2章では、「Integrated Multi-Layer IP/Optical Network Architecture (IP・光統合化マルチレイヤネットワークアーキテクチャ)」として、本研究において提案しているアーキテクチャに関連する既存研究に関する背景を概観しその問題点を明確化している。マルチレイヤネットワークの実現には、既存のアーキテクチャフレームワークにはない、クロスレイヤにまたがった統合的な観点から考察されたアーキテクチャフレームワークの構築が必要となる。IP技術とDWDM(密光波長多重化方式)技術を統合化アーキテクチャ(これを、本研究ではMLSN(Multi-Layer Service Network)と呼んだ)を、データ転送プレーン、制御プレーンおよび管理プレーンの構成という観点から、その問題点を整理した。これに基づき、光・IP統合化網アーキテクチャに要求される技術要件を、効率性、コスト、大規模対応性の観点から検討し、(1)IP交換とWDM交換レイヤ間での密なコーディネーション機能の制御プレーンでの実現、(2)IP交換とWDM交換レイヤにまたがったサービスの仮想化、動的パス検索とパスの最適化、の2つの要件をAS(Autonomous System)間およびプロバイダ間において実現可能としなければならない。

第3章では、「Design and Architectural Concepts for Border Model for Multi-Layer Service Networks (MLSNにおける境界モデルを適用したアーキテクチャの提案と設計)」として、既存の Peer Model と Overlay Model では解決できない AS 間およびプロバイダ間での IP/Optical 統合伝送・交換サービスを実現するためのアーキテクチャフレームワークと具体的なプロトコル設計フレームワークを提案している。柔軟性の高い「境界(Border)」を、各レイヤで定義可能にすることで、プロバイダや AS における各レイヤごとに異なる運用ポリシーに対応しながら、効率的な光技術を用いた IP パケットの伝送・交換を実現可能にする。

第4章では、「Service Virtualization for Border Model based MLSN Architecture(境界モデルを適用した MLSN システムにおけるサービスの仮想化)」として、任意のポリシーならびに任意のレイヤにおけるサービス網の仮想化を実現するアーキテクチャの提案を行っている。各仮想化網は、境界モデルに基づき相互接続を行うことも可能であるとともに、従来の VPN(Virtual Private Network)のように各仮想化網ごとに独立なネットワークをマルチレイヤ IP/Optical 統合網上に定義することも可能とするアーキテクチャを提案している。伝送・交換ノードの制御には GMPLS 技術を適用し、任意のプロトコルならびに任意のレイヤ(L2VPN や L3VPN など)のポリシーを伝送パスの定義に反映することを、LR(Logical Router)、VR(Virtual Router)および VRF(Virtual Router Function)を定義することで可能にした。

第5章では、「Path Computation Element (PCE) for Multi-Layer Traffic Engineering in Border Model Based MLSN (境界モデルを適用した MLSN 網)におけるトラフィックエンジニアリングを可能にするためのパス計算アルゴリズム」として、AS 間およびエリア間にまたがった MPLS パスの計算アルゴリズムの提案を行っている。特に、AS 間や ISP 間の接続においては、サービス提供信頼性の向上のためにマルチホームによる相互接続環境におけるパス管理が、通信資源の浪費をすることなく実現されなければならない。

第6章では、「Realization of Multi-Domain and Multi-Layer Traffic Engineering in Border Model Based MLSN Using PCE (PCE を用いた境界モデル MLSN 網におけるマルチドメイン・マルチレイヤトラフィックエンジニアリングの実現)」として、さまざまなサービス(ピア・ツー・ピア アプリケーションやマルチメディアストリーミングなど)における、提案トラフィックエンジニアリングアーキテクチャの評価を、既存アーキテクチャと比較し、その有効性を示している。

第7章では、「Deployment of the Proposed Research Work in Real World Networks(提案アーキテクチャの実ネットワークにおける具体的な展開)」として、本研究において提案した「境界モデルに基づいた MLSN アーキテクチャ」を適用した研究開発ネットワーク(R&D Networks)の具体例を示し、提案アーキテクチャの実践性と有効性を示すとともに、既存ネットワークへのスムーズな導入の実現性を証明した。

第8章では、「Conclusion(結論)」として、本論文での議論の総括と、今後の課題を述べている。

以上のように、本論文は、(1) IP/Optical 統合システムに対してアーキテクチャ的な観点からの分析を行い実ネットワークにおいて必要な実現的で実用的な「境界モデル」に基づいたアーキテクチャフレームワークを提案、(2)上記の提案に基づき任意のプロトコルと任意のポリシーに対応可能なサービス仮想化に必要なコンポーネントの提案、(3)運用ポリシーの異なるエリアおよびドメイン間での MPLS パスの設定管理アーキテクチャの提案を行い、さらに、(4) このアーキテクチャに基づいた研究開発ネットワークでの実展開を行い、インターネット(IP)技術と光伝送交換(DWDM)技術の有機的な統合を実ネットワークへの実践・展開まで実現することに成功しており、電子情報通信分野および情報理工学分野に対する貢献は少なくない。

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。