

A Thesis for the Degree of Ph.D. in Engineering

**Energy-efficient Reliable Optical
Metro/Access Integrated Network Using
Virtualization Technology**

January 2016

**Graduate School of Science and Technology
Keio University**

Takehiro SATO

主 論 文 要 旨

報告番号	Ⓐ 乙 第	号	氏 名	佐藤 丈博
主 論 文 題 目： Energy-efficient Reliable Optical Metro/Access Integrated Network Using Virtualization Technology (仮想化技術を用いた省エネルギー・高信頼な光メトロ／アクセス統合型ネットワーク)				
(内容の要旨) 有線／無線通信におけるブロードバンドサービス加入者数の増加、映像配信等のアプリケーションの普及により、ネットワークトラフィックは増加を続けている。これに伴い、ネットワーク機器の総消費電力量は年率 12% の速度で増加しており、そのうち 60～80% をアクセスネットワークが占めると推計されている。アクセスネットワークでは、複数の加入者で設備を共有することにより安価にブロードバンドアクセスを実現する Passive Optical Network (PON) が一般家庭向けに普及している。仮想専用線やモバイルフロントホールといった事業系サービスを既存の光アクセスネットワーク上で提供する研究も行われており、費用対効果を考慮した高信頼性の確保が必須となる。 上記の背景より、次世代光アクセスネットワークでは、大容量化・低コスト化に加えて省電力性・高信頼性・マルチサービス収容が必要である。これらの要求を同時に達成するため、光アクセスネットワークの規模を現在のメトロネットワークの領域まで拡張する、光メトロ／アクセス統合型ネットワークの検討が行われている。本ネットワークでは局側装置あたりの収容加入者数を増加させることにより、トラフィックの集約効率を高めるとともに電気スイッチ等の装置数を削減し、省電力化の達成を目指す。また、予備系装置を多数の加入者で共有することにより、低コストでの耐障害性の向上が期待される。我々が提案する Elastic Lambda Aggregation Network (ELAN) では、各サービスの収容に必要な機能を提供するプログラマブルな局側装置や加入者側装置、および経路や割当帯域を柔軟に変更可能な光ネットワークにより、マルチサービス収容の実現を検討している。 本論文では、ELAN においてネットワーク仮想化技術を活用し、さらなる省電力性および高信頼性を達成する手法を提案する。各サービスの収容に必要な機能をトラフィックの変動に応じて少数の局側装置に集約し選択的スリープを行うことにより、局舎における消費電力の削減を実現する。また、大規模障害の発生時に 1 台の局側装置が収容する加入者群を時間的に切り替えることにより、加入者に対して最低限の接続性を確保する。 本論文は以下のように構成される。第 1 章では現在の光ネットワークにおける課題を整理し、本論文の目的を明確化する。第 2 章では関連する光ネットワーク技術、省電力化および高信頼化の手法を示す。第 3 章では省電力化について提案を行う。局側装置の選択的スリープを実現するために、各サービスの提供に必要な機能を局側装置間でマイグレーションする手法を提案する。また、稼働する局側装置数が最小となる機能配置方法を求める問題を整数線形計画法によりモデル化する。計算機シミュレーションにより、スリープ可能な局側装置の数が平均 16.7%、最大 35.8% 向上することを示す。第 4 章では高信頼化について提案を行う。プロテクションおよび収容加入者群の時間的切り替えが可能な物理ネットワークの構成手法として、マッハツェンダ型 2×2 光スイッチを用いた光スイッチネットワークを提案する。さらに、1 台の局側装置から通常時を超える数の加入者側装置を収容する通信方式を提案する。本通信方式では、通信間隔の増大による影響を軽減するため、トラフィックシェーピング等の機能を提供するプロキシを生成する。プロトタイプシステムを用いた実測により、プロキシによる UDP パケット損失率および TCP スループットの改善効果を示す。最後に、第 5 章において論文全体の結論を述べる。				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School School of Science for Open and Environmental Systems	Student Identification Number	SURNAME, First name SATO, Takehiro
Title Energy-efficient Reliable Optical Metro/Access Integrated Network Using Virtualization Technology		
Abstract <p>The amount of worldwide network traffic continues to increase due to the growth in wired/wireless broadband subscribers and the popularization of bandwidth-hungry applications such as video streaming. This increase in network traffic is raising the power consumption of network equipment by as much as 12 percent per year. Several researches have estimated that about 60-80% of the power consumption is consumed in the access network area. In the present access networks, Passive Optical Network (PON) systems are widely deployed for residential users. PON systems provide broadband access service at low cost by sharing an Optical Line Terminal (OLT) and a trunk fiber by subscribers. Non-residential services such as virtual private lines and mobile fronthauls are also about to be provided over existing optical access networks. Therefore, a technique for high reliability with moderate cost is necessary.</p> <p>From these backgrounds, the next-generation optical access networks require supporting not only capacity enhancement and cost efficiency, but also energy efficiency, high reliability, and multi-service accommodation. To support aforementioned requirements at the same time, the optical metro/access integrated network has been studied. The optical metro/access integrated network expands the coverage of the present access networks to the metropolitan area network. By increasing the number of subscribers per OLT, the optical metro/access integrated network aggregates subscribers' traffic efficiently and achieves low power consumption by reducing the amount of electrical switches. This network is also expected to improve disaster tolerance at low cost since backup equipment can be shared by a lot of subscribers. We have proposed the Elastic Lambda Aggregation Network (EλAN) that accommodates multiple services by using programmable equipment and reconfigurable Optical Distribution Network (ODN).</p> <p>This dissertation proposes techniques for more energy efficiency and high reliability by exploiting network virtualization technology in EλAN. The power consumption in central offices decreases by aggregating network functions into a limited number of OLTs and making unused OLTs sleep according to the traffic fluctuation. In case of massive failures, a single OLT keeps connectivity of excessive subscribers by switching connecting subscriber groups by TDMA.</p> <p>This dissertation is organized as follows. Chapter 1 describes the problem in the present optical access networks and clarifies the target of this dissertation. Chapter 2 introduces related optical network technologies and existing techniques for energy saving and high reliability. Chapter 3 focuses on the energy saving. To realize selective OLT sleep in the multi-service environment, the migration of network functions between OLTs is proposed. The optimization problem that obtains the placement of functions that minimizes the number of running OLTs is modeled as an Integer Linear Programming (ILP) problem. Numerical results show that the number of sleeping OLTs increases 16.7% on average and 35.8% at a maximum. Chapter 4 focuses on the high reliability. A network topology based on Mach-Zehnder 2\times2 optical waveguide switches is proposed as a part of EλAN ODN. The proposed topology provides protection and TDMA-based subscriber accommodation. After that, a communication method that accommodates excessive subscribers is proposed. To alleviate the effect of large communication intervals of subscribers, a proxy that provides several functions such as traffic shaping is generated. Improvements in UDP packet loss rate and TCP throughput by the proxy are measured by implementation experiments. Chapter 5 concludes this dissertation.</p>		