

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

**A Study on Energy-Efficient Network
Architecture for Future Photonic
Networks**

May 2012

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

Hidetoshi TAKESHITA

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	竹下 秀俊
主 論 文 題 目： A Study on Energy-Efficient Network Architecture for Future Photonic Networks (将来のフォトニックネットワークに関するエネルギー効率の高いネットワークアーキテクチャに関する研究)				
(内容の要旨) インターネットの発展に伴い、ネットワークの消費電力の増大と省電力化の遅れ、Client-to-Datacenter (C2D)トラフィック増大によるデータセンタアクセス時の待ち時間の悪化、及び往復遅延時間(RTT)と遅延時間の揺らぎ増大による Quality of Service(QoS)悪化が大きな問題となっており、将来のフォトニックネットワークではこれらの問題に対する抜本的な改善が求められている。消費電力の増大問題は、多数の自律システム(AS)から構成されるフラットで冗長なネットワーク構成配下でのトラヒックの増大に起因し、省電力化の遅れは大きなトラヒック変動があるにも関わらず初期に設備された物理トポロジーのままでの固定的な運用に起因している。データセンタアクセス時の待ち時間の悪化は、インターネットが増大する中央集中型 C2D トラヒックに対応したネットワーク構造に合致していないことに起因している。QoS の悪化問題は、フラットで冗長なネットワーク構成配下での通信時に経由する発信側と着信側間のルータ段数の増加に起因している。 第1章では、上記3つのインターネットの問題（消費電力、データセンタアクセス時の待ち時間の悪化、QoS の悪化）の背景と、解決に向けた既存研究での対応状況と問題点を明確化し、本研究の目的、概要、位置づけを明らかにする。 第2章では、増大する中央集中型 C2D トラヒックに合致したシンプルな1ホップ光アグリゲーションネットワークを提案し、既存ネットワークから提案ネットワークへの円滑な移行を考慮したインターフェース規定点を提案し、消費電力を既存ネットワーク比 1/20～1/30 に削減でき、ホップ数最小のネットワーク(提案アグリゲーションネットワーク内は1ホップ)を実現できることを示す。更に、アグリゲーションを光タイムスロットで実現した場合、コンピュータシミュレーションにより QoS(パケット遅延 1ms 以下、パケットロス 0.06%以下)を満たすことを検証する。 第3章では、トラヒック変動に対応した動的なエネルギー最適ネットワークトポロジー制御を実現する方式（リンクトラヒックのモニタ、エネルギー最適トポロジーの導出、導出結果によるトポロジー再構成）について示す。更に、プロトタイプのレイヤ2スイッチ（リンクのトラヒックをモニタでき、リンクとスイッチの電源のオン/電源オフを制御できる。）を用いて、ダイナミックなエネルギー最適ネットワークトポロジー制御方法について実験検証する。実験システムの構成では、広範なトラヒック変動に対しポートの32%の電源をオフにでき、ネットワークのトポロジー再構成時間がノード当たりの最大リンク数に依存することから、上記動的なエネルギー最適ネットワークトポロジー制御方式が大規模ネットワークへ適用可能であることを検証する。 第4章では、ダイナミックにエネルギー最適ネットワークトポロジーを高速に計算するリコンフィギュラブルプロセッサ DAPDNA を用いた並列計算エンジンについて論じ、当該計算エンジンが、従来方式と比較して約10～20倍高速であることを実験により検証する。 最後に5章では、本論文の研究の結論を述べる。				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

<p style="text-align: center;">School School of Science for Open and Environmental Systems</p>	<p style="text-align: center;">Student Identification Number 80947834</p>	<p style="text-align: center;">SURNAME, First name Takeshita, Hidetoshi</p>
<p>Title A Study on Energy-Efficient Network Architecture for Future Photonic Networks</p>		
<p>Abstract</p> <p>According to the development the Internet, it raises several problems such as power consumption problem including increase of power consumption and delay of power saving, latency degradation problem caused by increase of Client-to-Datacenter (C2D) traffic, and Quality of Service (QoS) degradation problem caused by increase of Round Trip Time (RTT) and delay jitter, etc. Future photonic network is required to solve these problems drastically. The power consumption problem is caused by the increase of Internet traffic under redundant flat network structure with a large number of interconnected Autonomous Systems (ASs), and the delay in power saving is caused by that today's Internet is operated statistically over a fixed physical network topology, even though Internet traffic clearly exhibits large fluctuations. The latency degradation problem is mainly caused by that the Internet network structure does not suit traffic centralization corresponding to the increase of C2D traffic. The QoS degradation problem is caused by the large number of hops, which is the number of routers between source node and destination node under Internet redundant network structure.</p> <p>Chapter 1 describes the background about three serious problems (power consumption, latency degradation, and QoS degradation), describes about previous researches to clarify previous approaches and problems, clarifies the purpose of this dissertation and position, and summarizes this dissertation.</p> <p>Chapter 2 proposes 1 hop optical aggregation network suitable for traffic centralization, proposes the smooth migration interface point from the existing Internet to proposed network. The evaluation results shows that proposed network reduces power consumption to 1/20 – 1/30 compared to today's Internet, and verifies to satisfy the QoS requirements (delay less than 1ms, and packet loss less than 0.06%) by computer simulation in case of optical slots aggregation.</p> <p>Chapter 3 describes a dynamic energy-optimal network topology control method; first the traffic on every path rout is monitored, and the data are used in calculating an energy optimal topology, finally the network topology is reconfigured by controlling the power-off/on states of links/nodes. This sequence is automatically repeated to maintain the energy-optimal topology. The experimental results utilizing prototype layer-2 switches (those can monitor link traffic and control power-off/on state of Links and switches) shows that the proposed scheme can reduce the number of ports by 32% for a wide range of traffic loads, and applicable to large-scale networks.</p> <p>Chapter 5 discusses parallel calculation engine utilizing reconfigurable processor DAPDNA which enables first calculation for energy-optimal network topology. The evaluation results show the proposed engine is 10-20 times faster than existing method.</p> <p>Chapter 5 draws this dissertation to its conclusion with a useful summary of the advances raised herein.</p>		