



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	フォトリックアグリゲーションによる高速光アクセスネットワークの省電力化・高機能化の研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	妹尾, 由美子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12643号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65762
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yumiko_Senoo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 妹尾 由美子

学 位 論 文 題 名

フォトニックアグリゲーションによる高速光アクセスネットワークの省電力化・高機能化の研究
(Study on the power saving and the high functionality of high-speed optical access network
employing photonic aggregation)

PON(Passive optical network) を用いた FTTH(Fiber to the home) サービスは、高いスループットと経済性から、ブロードバンドサービスを提供するために、多くの国で導入されている。現状の一般的なアクセスネットワークアーキテクチャは、TDM-PON(Time division multiplexing-Passive optical network) と L2SW(Layer-2 switch) を用いた、光段と電気段による 2 段階の集線構成を用いており、この 2 段階の集線構成により大規模ユーザのトラフィックを 1 本の集線リンク (回線) に収容し、経済化を達成している。

また、日本では、FTTH サービスが提供され始めてから約 15 年が経過し、広帯域化以外に省電力化への社会的要求も高まっている。そこで、PON の広帯域化と省電力化に向けた研究が進められている。しかしながら、現状の PON と L2SW を用いた 2 段階の集線構成によるアクセスネットワークアーキテクチャでは、L2SW の広帯域化と省電力化を同時に達成することが難しい。さらに、現状のアーキテクチャでは、PON 区間のユーザ側装置 (ONU: Optical network unit) と局側装置 (OLT: Optical line terminal) の接続経路は固定であるため、異なる PON 間で負荷分散を行いユーザ間公平性を向上させることができないという課題がある。

これらの課題に対し、本研究では、フォトニックアグリゲーションの適用により、L2SW を用いた集線を不要化するとともに、ユーザ単位で PON 区間の経路切替を可能とする高速光アクセスネットワークを提案する。更に、フォトニックアグリゲーションによる高速光アクセスネットワークを実現するための主要技術として、集線光ノード構成技術・動的負荷分散技術・高速波長切替技術を検討した。

第 1 章では、本研究の背景及び狙いを明らかにし、本研究の意義および目的を示す。まず初めに、研究背景として、ブロードバンドサービスの普及とアクセスシステムの光化、PON システムの原理、PON システムの標準化動向、そして、現状の一般的なアクセスネットワークアーキテクチャについて説明する。次に、将来アクセスネットワークの要求条件と課題をまとめ、本研究の目的を述べる。

第 2 章では、高速光アクセスネットワークのアーキテクチャを網羅的に検討し、これらの中から、省電力性・ユーザ間公平性の 2 つの観点で最適なアーキテクチャとして、PON 区間の多分岐化により L2SW を不要化し (光集線)、更に、TDM-PON に波長多重技術を採用して波長と経路を 1 対 1 に対応させ、ユーザ毎に割当波長を選択することで、PON 区間の経路切替を可能とする (光スイッチング) ようなアーキテクチャを提案する。このようなアーキテクチャとすることで、L2SW の削減により省電力性を高め、また、PON 区間の経路を切り替えることで帯域を共有するユーザの組み合わせを変更することによりユーザ間公平性を高めることができる。さらに、アクセスネットワークにおけるトラフィック予測を行い、その結果から、フォトニックアグリゲーションによる

高速光アクセスネットワークの構成を検討する。2030 年において 512 ユーザを集線する集線リンクのトラフィックは、混雑リンクにおいて、上り、及び、下りで、それぞれ、154 Mbps、及び、2.04 Gbps と予測されるため、ラインレート 10G 級の PON システムへフォトニックアグリゲーションを適用することで、広帯域化要求に十分応えることができることを確認した。これを踏まえ、第 3 章以降は、ラインレート 10G 級の PON システムへフォトニックアグリゲーションを適用する検討を行った。

第 3 章では、フォトニックアグリゲーションによる高速光アクセスネットワークにおいて、集線機能(光集線と光スイッチング)を実現可能、且つ、省電力効果が最大となる集線光ノード (PA: Photonic aggregator) の構成を提案している。PA は、従来構成と同等の集線・波長振分機能を代替できる光デバイス(光スプリッタ、周回性 AWG) の組み合わせと、従来構成と同等のカバーエリアを確保するために必要となる光増幅器の個数が最小となるように光増幅器の挿入場所を検討することで決定する。提案技術を用いることで、PA の集線比を 64 とした場合に、集線部分にかかる消費電力を 30% 削減可能である。これは、提案した PA 構成を適用することで、光増幅器の追加による消費電力の増加よりも、L2SW の削減と OLT 数の低減による消費電力の削減が、十分大きくなるためである。

第 4 章では、複数の OLT 間のトラフィック負荷を分散する動的負荷分散技術を提案し、提案手法を用いた場合の負荷の均一性、切替頻度、平均遅延を実験により評価した結果を示した。複数 OLT 間のトラフィック負荷を分散するために、ONU に接続先 OLT を割当てる動的負荷分散 (DLB: Dynamic load balancing) アルゴリズムを提案した。本アルゴリズムを用いることで、1 回の波長切替で複数 OLT 間のトラフィック負荷の偏りを最も改善できるため、負荷を分散するための波長切替数を少なくすることができる。提案する DLB アルゴリズムを用いることで、従来手法であるラウンドロビンアルゴリズムに比べて 25 分の 1 の波長切替数で、512 台の ONU のトラフィック負荷を 4 台の OLT 間でリアルタイムに分散できること、加えて、平均遅延にほとんど影響を与えずに負荷分散できるという実験結果を示した。

第 5 章では、サービス無瞬断での経路切り替えを実現する高速波長切替手順を提案し、切替時間を実験により評価する。まず初めに、フレームロスなしの波長切替に必要なバッファサイズを抑制するために、波長切替時間を動的負荷分散 (DBA: Dynamic bandwidth allocation) 周期無依存の短時間とする波長切替シーケンスを提案する。提案シーケンスでは、ONU 内の波長可変光送受信器の波長切替時間に基づいて決定した一定時間経過後に、波長切替が完了したとみなしてバッファリングを解除するため、波長切替遅延を DBA 周期無依存の短時間とすることができた。続いて、DBA 周期が 4 ms の場合、提案シーケンスを用いた場合は、従来シーケンスを用いた場合に比べて、上り、及び、下りの波長切替時間を、それぞれ、2 分の 1、及び、7 分の 1 に削減できるという実験結果を示した。

以上の検討より、フォトニックアグリゲーションの適用により、L2SW を用いた集線を不要化するとともに、ユーザ単位で PON 区間の経路切替を可能とする高速光アクセスネットワークアーキテクチャを提案し、その主要技術である、集線光ノード構成技術・動的負荷分散技術・高速波長切替技術の実現可能性を明らかにした。日本のブロードバンドサービスを支える光アクセスネットワークに対して、本論文でまとめたフォトニックアグリゲーションは、広帯域化・省電力化・ユーザ間公平性の向上を実現する技術として期待されるものである。