

平成 11 年度入学（学生番号 99522306） 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻（知能機械システム講座）

学位論文公聴会（平成 14 年 8 月 28 日実施）

氏 名 新井 菜穂子（ARAI Nahoko）

論文題目 光周波数シフト型ノード構成とフォットニックネットワークへの適用法に関する研究

英訳題目 Study on Optical Transport Network Configuration Using Optical Frequency Shifter and the Scalability Evaluation for WDM Networks

- **Abstract**

Wavelength Division Multiplexing (WDM) technology is very fascinating not only as large capacity transmission technology but also for compatibility with wavelength routing node-processing technology. Major two functions of a router are routing control and packet transmission. Multiprotocol Label Switching (MPLS) aims at realization of an efficient network by separating these two processing. At MPLS, the path control is performed according to label information, and reduction of the processing delay in a node is realized by  $\lambda$  cut-through  $\pi$  processing of IP layer in transmission.

We have proposed an efficient hop count indication method similar to Time To Live (TTL) using optical frequency shifter in optical networks and an effective wavelength converter method using optical frequency shifter for the burst mode Generalized MPLS (GMPLS) nodes. They have such features as bit rate independence and optical signal transparency. The method could be applicable in the trunk networks and the Metropolitan Area Networks (MAN). Scalability of these networks is evaluated considering accumulated optical amplifiers noise.

In the hop count indication applications, MAN with 58 nodes is feasible when bit rate is 2.7 Gbit/s, repeater spacing 50 km. It is also possible to detect the number of hops without affecting the signal itself, as the change of wavelength of an optical carrier is very small. Therefore, the hop state of a network is known at the end-to-end nodes, even if it does not receive other operating information.

It turned out that 100 optical wavelength channels are realized at 900 km (3 nodes) path length in trunk networks and 300 km (5 nodes) in MANs, when bit rate is 2.7 Gbit/s, repeater spacing 60 km. The proposed wavelength converter methods using optical frequency shifters are very effective as they have simple configurations, and it will be promising in the future when wideband and low loss optical frequency shifter becomes available.

---

## 論文内容要旨（和文）

インターネットの発展とともに超高速、大容量の伝送が求められている。現在の IP ネットワークでは、中継ルータにおける電気による処理能力の限界が議論されている。これを解決するために、本質的に超高速性に優れたフォトニックネットワークの研究開発が行われている。超大容量の波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexer: WDM) と、(OADM: Optical Add/Drop Multiplexer) やクロスコネクタ (OXC: Optical Cross Connect) などの光技術を導入して中継ノードで光信号を電気信号に変換することなく任意の波長を光のまま自由に分岐・挿入、ルーチング (スイッチ) 等の処理を行うものである。このようにフォトニックネットワークのノード構成技術に関して本研究では、IP ルーティングにおける TTL と類似の機能を有するホップ数計数法と、光周波数シフタを用いた有効な波長変換方式を提案する。

従来の IP over SDH (Synchronous Digital Hierarchy) に基づくネットワークでは、IP レイヤと SDH レイヤとそれぞれのレイヤごとに独立にネットワークを管理しなければならなかった。この管理の負担軽減のためと、トラヒックエンジニアリングを実現するために、ネットワークをマルチレイヤで管理する技術として MPLS (Multiprotocol Label Switching) が多く利用されるようになって来た。Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) は、ラベルとして波長や SDH のタイムスロットなども扱えるように、光レイヤや、その他様々なハードウェアに依存しない汎用のネットワーク運用に MPLS を拡張したシグナリングプロトコルである。MPLS および GMPLS の特徴は、(1) レイヤに依存しない多様な回線に適用可能、(2) トラヒックの経路を運用者のポリシーに従って指定できるなど、トラヒックエンジニアリングが容易、(3) IP レイヤでの処理を省く (カットスルー) ことによって転送効率が向上する、すなわち中継ノードにおいて電気処理による IP アドレスの経路表検索作業が省略可能になるなどである。

マルチレイヤを一括して管理運用する技術である MPLS および GMPLS では各レイヤ間でのネットワーク情報の同期を取る必要がある。本研究では、マルチレイヤでのネットワーク情報同期のために、光周波数シフタを用いて光レイヤで、IP ルーティングにおける TTL と類似の機能を提供する有効なホップ数計数法 (hopcount indication) を提案した。信号対雑音比 (signal to noise ratio: SNR) の計算式に基づく計算の結果、ビットレート 2.7Gbit/s、中継距離 50 km の Optical Transport Network (OTN) においては 58 ノードまで中規模ネットワークに適用可能であることがわかった。本方式によれば、オペレーティング情報の交換をしなくとも、エンド・ツー・エンドでネットワークのホップ状態がわかる。

WDM において、波長の割当て方法には仮想波長パス (Virtual Wavelength Path: VWP) 方式と波長パス (Wavelength Path: WP) 方式があるが、VWP はリンクごとにオプティカルパスの波長変換が可能のため、固定波長割り当てである WP 方式よりも網内での波長利用効率が高い。このようなフォトニックネットワークにおいて波長変換は鍵となる技術である。既存の波長変換の技術には O/E/O

(optic-electronic-optic) 変換によるもの、半導体光増幅器 (semiconductor optical amplifier: SOA) を使うもの、四光波混合 (four wave mixing: FWM) などの方法がある。それに対して本研究では、光周波数シフタを用いた波長変換法を提案する。本方式の利点は低クロストークで、変換するそれぞれの波長ごとに別々の信号方式を用いる必要がなく、単純な構成で実現可能なことである。現在では acousto-optic (AO) タイプの光周波数シフタのシフト値は数百 MHz 程度であるが、将来波長パスとして利用可能な数 GHz 以上シフト可能な光周波数シフタの開発が期待される。

パス長と変換可能チャンネル数は光ファイバ損失と波長変換時の損失に依存するため、本論文では SNR

解析に基づいてフォトニックネットワークのスケラビリティについての議論を行い、中規模ネットワークにおける提案方式の有効性について確認した。その結果、中継距離 60 km、光周波数シフトの損失を 10 dB とした 2.7 Gbit/s の次世代の光伝送網として、100 チャンネルの光波長チャンネルを有するトランクネットワークでは 900km (3 ノード)、MAN では 300 km (5 ノード) まで到達可能であることがわかった。更に、べき乗構成の光周波数シフトを提案し、より効率的な波長変換が可能であることを示した。

このように、ホップ数計数と波長変換という全く別々の目的を持つ課題に対して、従来あまり注目されていなかった光周波数シフトというデバイスを用いた同じ原理で実現する方法を示した。提案した方法は、光信号の情報ビットに影響を与えず、トランスペアレンシーを保つことができ、しかも、単純な構成で実現可能である。

以上、本研究は光周波数シフトの有効な新しい利用法を示し、フォトニックネットワークへの大きな可能性を示した。

---

平成 14 年度「山形大学大学院理工学研究科博士後期課程学位論文公聴会」風景 (新井菜穂子)

論文題目：光周波数シフト型ノード構成とフォトニックネットワークへの適用法に関する研究



学位論文(課程博士)公聴会で熱心に論文発表する新井菜穂子氏の公聴会風景

実施日：平成 14 年 8 月 28 日 (15 時～17 時)

会場：工学部電子情報工学系 (I 教室)

論文審査委員：

主査 赤塚孝雄教授

副査 中川清司教授

副査 平中幸雄教授

副査 小山清人教授

