

■ 光学工房

フォトニックネットワークに向けた波長変換技術(1)

ネットワークの概略

波長変換技術とは、光の色を変える技術です。最近では、光メモリーやレーザー描画装置などに活用可能なレーザーデバイスの開発に向けて、波長変換技術による紫外、青、緑のレーザー光源の開発、およびそれを用いたレーザー情報処理装置の開発が盛んに行われています。光通信の分野においても波長変換は重要な役割があり、将来のフォトニックネットワーク実現に向けて重要な位置付けにあります。今回と次回にわたり、フォトニックネットワークで要求される波長変換器の機能、パラメトリック波長変換についての研究動向等について紹介します。

1. フォトニックネットワークへの変遷

1970年に石英ガラスによる低損失光ファイバーの通信分野への適用性について実証され、急速にファイバー当たりの信号伝送速度が拡大してきました。これには、光ファイバーの潜在的な広帯域性と、インターネットトラフィックの急激な伸びが背景にあり、現在では一般家庭向けにファイバーを敷設するサービスも立ち上がっています。このニーズを支える上で、光信号を効率よく目的の対地へ送るネットワーク技術の向上が急務とされています。信号の伝達を行う際、一連の信号は一定の長さで区切ったパケットと呼ばれる送信単位が用いられます(図1(a)参照)。パケットには対地を識別する経路識別子(パケットヘッダー)が与えてあり、中継ノードはこれを読み取り、パケットの経路判定を行います。到着するパケットは光信号からヘッダー情報を読み取るために電気信号に変換されてバッファリングされ、ヘッダー情報より出力経路を切り替えた後に再度光信号に変換して送信されます。しかし、この方法では、中継局(ノード)を通過する通信容量が増大するに従い大規模なバッファが必要になり装置規模が拡大・複雑になるとともに、通信速度は波長変換回路の電気処理速度により制限されます。またバッファリングに伴う転送遅延も問題とされています。

近年検討されているフォトニックネットワーク¹⁾とは、一波長に連続した信号を乗せた波長パスを管理単位とし、経路切り替えならびに波長多重分離を行うネットワークです(図1(b)参照)。パケットヘッダーに相当する経路情報を波長に置き換え、ネッ

トワーク内では波長単位での経路切り替えを行います。これにより、通過信号の中身を見ることなく経路切り替えが可能になり(カットスルー効果)、高速な電気回路が不要となり、装置規模が縮小・簡易化でき、大容量かつ低遅延の情報伝送が可能となります。近年では、1ファイバーに複数の波長で多重化された信号を扱うWDM(wavelength division multiplexing)伝送技術と、波長パスの経路切替を行う光クロスコネクタ(OXC)技術とを組み合わせ、大容量通信を実現するフォトニックネットワーク構築に向けた研究が行われており、総容量2.56 Tbit/s(1 Tbit/s:1秒間に1兆ビット)の信号処理能力を有するフォトニックルーターの報告もされています²⁾。

2. 波長変換の必要性

図2にOXCの構成を示します。OXCでは、WDM信号を波長ごとに分波した後、光スイッチに入力し、出力ファイバーへ振り分け、波長により波長パスの経路切り替えを行います。送信-目的対地まで一波長で波長パスが設定できればよいのですが、

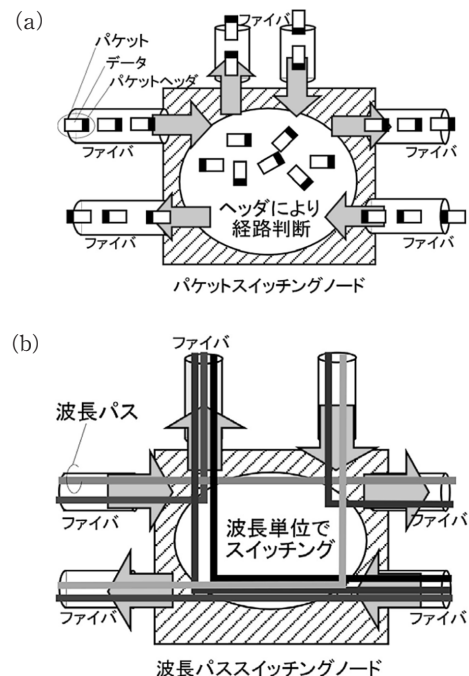


図1 (a) パケットスイッチングノードと (b) 波長パススイッチングノードの概略。

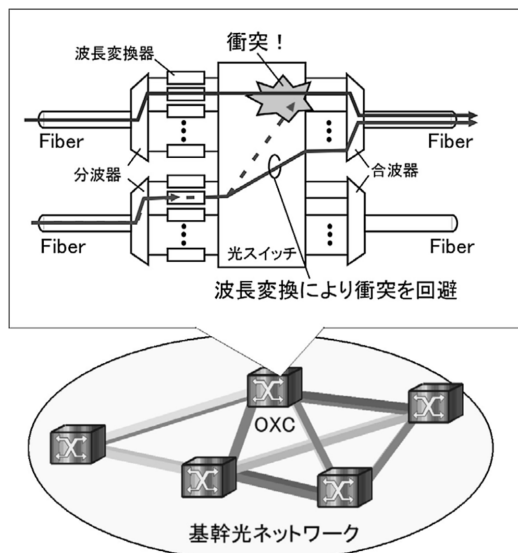


図2 OXCの構成と波長変換による衝突回避機能。

波長リソースは有限であるため、ネットワーク内で同一の波長をもった複数の波長パスが存在することになります。すると図2のように同一ファイバーに波長パスを多重する際に、同じ波長同士の衝突が生じる場合があります。波長パスの波長を適当な波長に変換する波長変換機能があれば、この衝突を回避することが可能になります。将来のネットワークの大規模化を想定しつつ波長パス運用性の簡易化・信頼性の向上のために、積極的に波長変換機能を導入することが望まれています。

現在、波長変換には、光信号を一度電気に変換して、所望の波長で信号を送りなおす光・電気・光変換による方法がとられています。しかし、情報の転送速度は波長変換器の電気処理速度で制限されてしまいます。さらに、多様な変調方式（例えば光位相を用いるCS-RZ³⁾等）や複数波長パスをまとめて波長変換する機能が要求されることも、今後想定する必要があります。そこで、解決手段のひとつとして、光非線形媒質によるパラメトリック波長変換について検討が行われています。

3. パラメトリック波長変換

パラメトリック波長変換は、入力信号光と励起光（無変調連続光）間の光周波数領域でのミキシングにより新たに発生する光を波長変換光とする方法で

す。このパラメトリック波長変換により、以下の機能と効果が期待されています。

- ビットレート、変調方式無依存化：電気デバイス
の処理限界を克服
- 複数波長を任意波長へ変換：複数波長パスで構成
する波長群パスの運用によりノード規模（光ス
イッチ規模）削減効果を実現⁴⁾

これまで光通信において、光ファイバー⁵⁾、半導体光増幅器⁶⁾等による波長変換が盛んに行われてきました。最近では、 $\chi^{(2)}$ 媒質での高効率な波長変換が可能となり、擬似位相整合ニオブ酸リチウム(QPM-LN)光導波路による波長変換が注目されています^{7,8)}。

今回はフォトニックネットワークでの波長変換の必要性についてご紹介しました。次回は、パラメトリック波長変換の中で近年注目されているQPM-LNによる波長変換を紹介する予定です。

(NTT未来ねっと研究所 山浦 純)

文 献

- 1) 佐藤健一編著：広帯域光ネットワーク技術—フォトニックネットワーク—（電子情報通信学会，コロナ社，2003）。
- 2) K. Shimano, *et al.*: “MPLambdaS demonstration employing photonic routers (256×256 OLSPS) to integrate optical and IP networks,” *National Fiber Optic Engineers Conference 2001, Technical Proceedings* (2001) pp. 5-13.
- 3) A. Hirano, *et al.*: “A novel mode-splitting detection scheme in 43-Gb/s CS- and DCS-RZ signal transmission,” *J. Lightwave Technol.*, **20** (2002) 2029-2034.
- 4) 山浦 純ほか：“波長群パスネットワークと一括波長変換技術の検討”，電子情報通信学会技術研究報告，**PN2003-17** (2003)，41-46.
- 5) S. Watanabe, *et al.*: “All-optical signal processing using highly-nonlinear optical fibers,” *IEICE Trans. Commun.*, **E83-B** (2001) 1179-1189.
- 6) D. Hsu, *et al.*: “High-efficiency wide-band SOA-based wavelength converters by using dual-pumped four-wave mixing and an assist beam,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, **16** (2004) 1903-1905.
- 7) 栖原敏明ほか：“周期状分極反転を用いた波長変換デバイスと光通信応用”，レーザー研究，**32** (2004) 154-159.
- 8) Y. Nishida, *et al.*: “Efficient parametric wavelength conversion using direct-bonded QPM-Zn-doped LiNbO₃ ridge waveguide,” *CLEO2004, CFAI, Vol. 2* (May, 2004) pp. 755-756.