

- 光パケットスイッチプロトタイプを世界初デモ展示

- 平成15年3月20日

独立行政法人通信総合研究所(理事長:飯田尚志 CRL)は、昨年7月に世界で初めて開発に成功した光宛先検索及び光バッファ機能を備えた光パケットスイッチプロトタイプを米国アトランタ市にて開催される光通信に関する世界最大の国際会議(OFC2003、会期3月23-28日)に出展し、世界初のデモンストレーションを行います。

また同プロトタイプを用いて、世界最高の入出力速度(1ポート当り毎秒40ギガビット)での光パケット転送実験に成功し、その研究成果を上記国際会議で発表します。

<背景>

波長多重技術によって、光ファイバを用いた情報通信ネットワークの伝送路は着実に高速になっています。しかし、複雑な転送処理が必要になるスイッチ部(ノード)では、電子処理によるパケットの宛先検索や光・電気信号変換がボトルネックになります。3年前よりCRLではパケットの処理能力を飛躍的に向上する装置の開発を重要な研究テーマと位置付け、光ネットワーク上のパケットを光信号のまま高速転送する光パケットスイッチングの研究を進めてきました。これまでに、平面光導波路(PLC)、ファイバ回折格子(FBG)、角度多重ホログラム(AMSH)などを光処理デバイスとして用いた光宛先検索技術を開発してきました。さらに昨年7月にはこれら光宛先検索技術に加え、同時に到着するパケットの衝突を避ける為の光バッファと光バッファを制御するスケジューラを備えた光パケットスイッチプロトタイプの開発に成功しました。光バッファを備え、パケットの宛先を光処理で求めるパケットスイッチプロトタイプの開発は世界初です。

<今回の成果>

今回、米国アトランタ市にて開催される光通信に関する世界最大の国際会議(Optical Fiber Communication Conference & Exposition: OFC2003、学会期間3月23-28日、展示期間3月25-27日)において、開発した光パケットスイッチプロトタイプのデモンストレーションを行います。今回のデモンストレーションのために環境変化に影響されず、光宛先検索機能と光バッファ機能をより安定に動作させるための改良を行いました。これにより、実験室外の一般の環境下での動作が可能になりました。また同プロトタイプに光時分割多重(OTDM)技術を導入することにより、1入出力ポート当り毎秒40ギガビットでの光宛先検索と光バッファリングを伴った、光パケット転送実験に成功し、結果を上記国際会議で発表します。毎秒40ギガビットの入出力インタフェース速度はパケットスイッチシステムの中で最速です。

<今後の発展>

今回のプロトタイプは、拡張性に優れた超高速パケットスイッチネットワーク実現に向けた第一歩です。今後は入出力ポート数増加、1ポート当りのデータレート増加、光バッファサイズの増大、パケット間ガードタイムの減少などの改良を行い、さらに高スループットのパケットスイッチ実現を目指します。さらにネットワークの拡張性を高めるために、光ラベル(宛先)数の増加、パケット送受信機における電氣的帯域幅の増加、ルーティングテーブル書き換え速度の高速化などが重要な課題であり、今後はこれらの技術的課題の研究も行っていく予定です。

<連絡先>

情報通信部門 研究主幹
久保田文人 TEL:042-327-7500

波長多重技術によって光ファイバが一度に送れる通信量は着実に増え、ファイバ1本あたり1Tbps(毎秒1兆ビット)を超す信号を送ることが可能になっています。それに伴って、基幹ネットワークで複数の光ファイバのハブとなるルータでは処理能力の増加が必須ですが、半導体メモリへのアクセス、電子処理によるパケットの宛先検索や、光・電気信号変換がボトルネックになります。現在商用になっているルータでは、数億パケット(ビット換算で数百Gbps; 毎秒数千億ビット)程度を転送するにすぎません。近年、波長スイッチ(波長ルーティングともよばれます)技術とそれを活かすGMPLSプロトコルが成熟し、パケットの処理や光・電気変換を行わず、大容量の信号を通すハブが構成できるようになりつつあります。しかし、波長スイッチ技術は回線交換原理に基づくもので、データを送るためには、流れる通信量がどんなに少なくとも、高速のデータを流せる回線を設定せねばなりません。したがって、波長を浪費する、すなわち、最大速度よりもほとんどデータを流していない状況は起こりうることで、波長スイッチ技術はネットワークが混雑していない状況で有効な方法です。ところが、波長多重度や光ファイバは無限にはありませんので、トラヒックが増加しつづければ、波長スイッチ技術では期待したとおりのトラヒックを送れないことが考えられます(図1)。経路制御を上手に行って波長の浪費を防ぐことはできますが、根本的な解決にはなっていません(図2)。

CRLでは昨年7月に、光宛先検索機能(図3)と光バッファ機能(図4)を備えた光パケットスイッチプロトタイプを開発しました。今回は、米国アトランタ市にて開催される、光通信に関する世界最大の国際会議&展示会(Optical Fiber Communication Conference & Exposition: OFC2003、学会期間3月23-28日、展示期間3月25-27日)において、開発した光パケットスイッチプロトタイプを動態展示いたします。今回の動態展示に際しては、パケットヘッダとして用いる光符号ラベルを変更するなどして、多少の環境変化に影響されず、光宛先検索機能と光バッファ機能を、より安定に動作させるための改良に成功しました。これにより、実験室外の一般の環境下での動作が可能になりました。また同プロトタイプに、光時分割多重(OTDM)技術を導入することにより、1入出力ポート当り毎秒40ギガビットでの、光宛先検索と光バッファリングを伴った、光パケット転送実験に成功し、結果を上記国際会議で公開(3月28日、No. FS7)します。毎秒40ギガビットの入出力インタフェース速度は、これまでに開発された光パケットスイッチシステムの中で最速です。

本プロトタイプの特徴は、以下のとおりです。

1. 光宛先検索処理: 並列に配置した光導波回路を用いて、電子処理に頼らず光パケットの転送経路を求められます。ルータや従来の光パケットスイッチのように電子処理速度の制限はなく、光の伝搬遅延時間で処理し、1秒間に100億パケットの宛先を処理します。
2. 光バッファ: 複数の光スイッチと光ファイバで構成する装置で、入ってきたパケットを出す時間を変えることができるので、同時に入ってきたパケットの衝突を避けられます。パケットの光電気変換は不要で、パケットが高速になるほど有効です。
3. 先着順パケット処理: 先着したパケットを先にスイッチから出し、かつ、同着したパケットを衝突させない処理を行います。必要に応じて、衝突をさけるためにパケットを廃棄することもできます。

1.2.3.の統合: これらを組合せることで、衝突を避けながら、パケットを光のまま転送することが可能です。プロトタイプの構成は以下のとおりです。

アーキテクチャ	出力バッファ型光パケットスイッチ	
入力回線数	2	
出力回線数	2	実装は1
バッファ数(最大遅延時間)	2パケット(1024ナノ秒)	
内部転送速度	40 Gbps	
宛先検索能力	毎秒回線あたり100億パケット	
宛先検索方式	PLCによる8チップBPSK光符号の光相関処理	非同期到着に対応
光スイッチ構成	1x2 分配選択型	SOAゲートスイッチを使用
バッファ管理方式	ラウンドロビン、FIFO	512ns周期のクロックに同期して到着するパケットを処理
光バッファ構成	1 x 2 LiNbO3スイッチの直列接続x2	バッファあふれ時は棄却

2×2光パケットスイッチプロトタイプ(図5、図6)は、パケットの通り道(光スイッチ、光バッファ)を光化するだけでなく、光宛先検索技術を導入し、先着順パケット処理を行うバッファ管理機能を備えた、世界ではじめての光パケットスイッチです。従来、光パケットスイッチのプロトタイプは国内外にありましたが、それらはパケットの通り道は光化されていますが、宛先検索を電子処理に頼るものでした。CRLの光宛先検索では、並列に配置した光導波回路に宛先の光符号を通過させ、導波回路から出力される光相関信号を用いて経路を求めるという手法をとり(図3)、電子処理を行わないため、短時間で光パケットの転送経路を求められます。また衝突を回避するために、光バッファとその管理装置(図4)を開発し、プロトタイプに組み込みました。規則性なく到着するパケットが衝突しないよう、バッファ管理装置が適切に判断し、制御信号を送ってパケットを光バッファに格納します。光電気変換を伴わない光バッファを導入するメリットは、パケットが高速になるほど大きくなります。

本プロトタイプでは、パケットを低速の電気信号に変換しません。したがって、パケットのデータ速度を40Gbps、160Gbpsと増やしても、光信号を処理するための装置規模は、本プロトタイプで用いた10Gbpsのパケットの場合とさほど変わりません。一方、電気信号でパケットを処理するには信号を低速にしますので、処理が複雑かつ大規模になってきます。また、光宛先検索でもデータ速度が負担になることはありません。バッファ管理は電子処理に頼っていますが、メモリを用いるルータと比べて非常に簡単な処理にしていますので高速動作が期待できます。

今回のプロトタイプは、拡張性に優れた超高速パケットスイッチネットワーク実現に向けた第一歩です。今後はパケットを光信号のまま転送するメリットを活かしつつ、(1)入出力ポート数増加、(2)1ポート当りのデータレート増加、(3)光バッファサイズの増大、(4)パケット間ガードタイムの減少などを行い、さらに高スループットかつ高機能なパケットスイッチ実現を目指します。これら(1)から(4)を可能にするには、それぞれ(1)大規模かつ高速な光スイッチ、(2)OTDMもしくはDWDM技術の更なる進展、(3)高速かつ低損失の光スイッチと光遅延線、(4)より高速なバッファスケジューリングアルゴリズムが必要になります。さらにネットワークの拡張性を高めるために、光ラベル数の増加、パケット送受信機における電氣的帯域幅の増加、ルーティングテーブル書き換え速度の高速化などが重要な課題です。今後はこれらの技術的課題の研究も行っていきます。

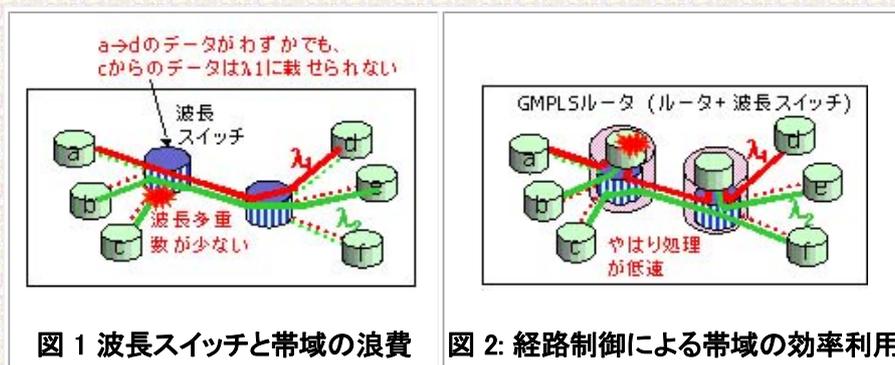


図1 波長スイッチと帯域の浪費

図2: 経路制御による帯域の効率利用

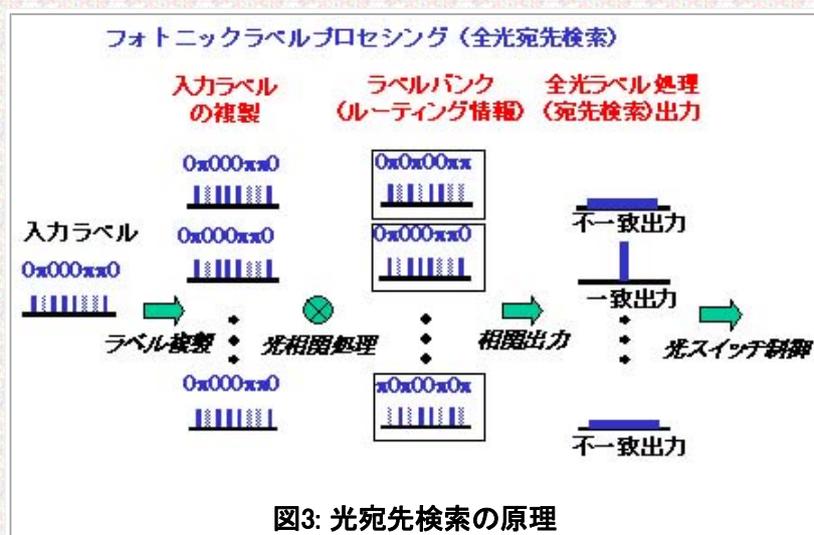
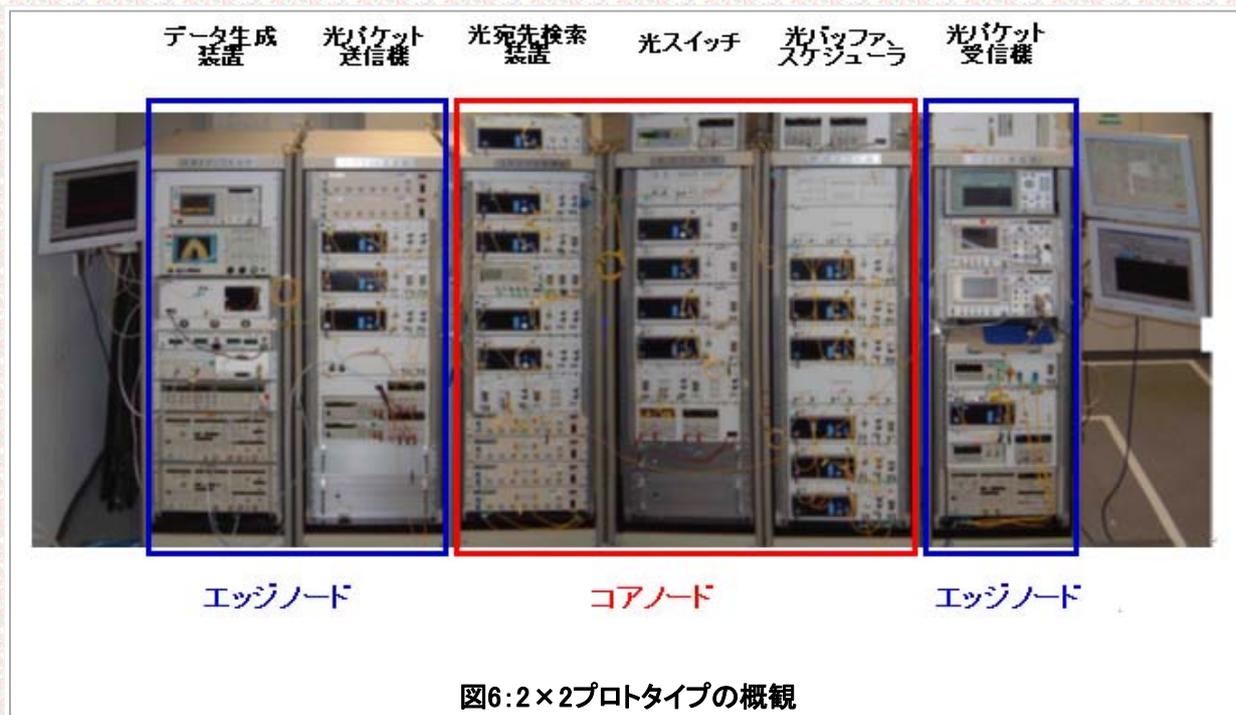
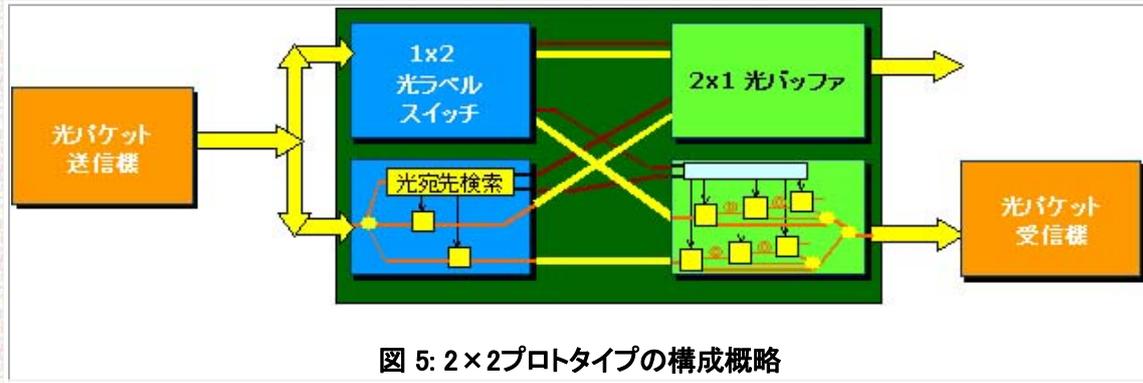
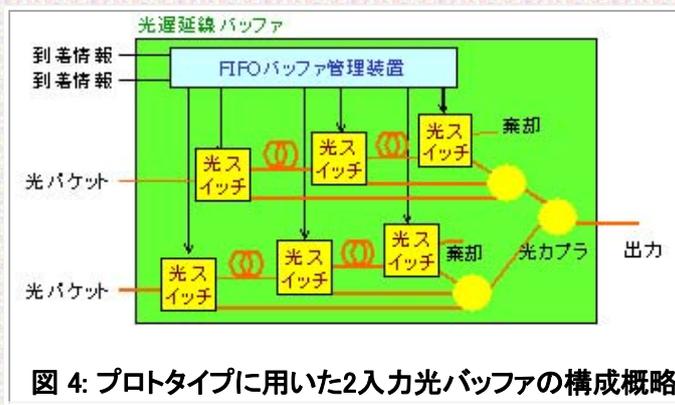


図3: 光宛先検索の原理



パケット交換:

伝送路を複数のユーザ間で共有するための手法。ユーザ間で通信するデータのある長さに分割し宛先情報をつけたそれぞれをパケットと呼ぶ。ハブ(ノード)ではパケットの宛先を読んで宛先検索および中継を行う。インターネットはパケット交換を用いたネットワークの代表例。

宛先検索:

パケット交換ネットワークのハブにおいて、到着したパケットに埋め込まれた宛先(受信端末番号など)情報を読み取り、どの回線にパケットを出力すればよいかを求める手続き。

ルータ:

インターネットのハブ

IPパケット:

インターネットで用いられるパケット。IPデータグラム。インターネットでは、40バイト、500バイト、1500バイトのIPパケットが多く流れている。

光パケットスイッチ:

光パケットのデータ部分を電気変換なく中継し、同方向に向かうパケットが同時に届いた時には、衝突を防ぐためにバッファに蓄えるハブ。既存のパケットスイッチでは宛先部分が電気信号に変換された後、宛先が照合され、パケットの転送経路が求められている。また、バッファは半導体メモリで構成されているため、データを電気信号に変えて格納する必要がある。

光符号ラベル:

ここでは、0または180度の位相を持つ光パルスを時間軸上に並べて構成した符号。

光相関演算:

ある特定の光符号ラベルが入力された場合のみ出力信号をONにする演算。光学装置で実現可能(図1)。

光バッファ:

光スイッチと光ファイバをつかって、パケットを蓄える装置(図2)。光ファイバ遅延線バッファ。進行型なのでファイバ長で決められた時間後に信号は出てくる。半導体メモリと異なり、任意の時間での取り出しができない。

先着順パケット処理:

先に到着したパケットから処理されること。FIFO (first-in-first-out)。

Gbps:

伝送速度の単位(ギガビット毎秒)。1Gbpsは1秒間に10億ビット(加入電話回線の16,000倍、携帯電話の10万倍の速度)の情報を送っていることを示す。

波長スイッチ:

光波を波長単位できりだし、波長ごとに異なる方路に振分ける装置(図3)。波長ルータ。光(波長)クロスコネクタ。

IP/GMPLS over WDM:

インターネットの大容量化のためにWDM伝送技術を用い高速化のためにIPルータで中継するデータの一部を光ノードで中継する手法(図4)。GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching)は波長スイッチを用いた高速光ネットワークを制御するためにIETF(Internet Engineering Task Force; <http://www.ietf.org/>)で標準化作業中のプロトコル。

平面光導波路(PLC):

Planner Lightwave Circuits。主に石英系材料でできた、集積型平面導波路。

ファイバ回折格子(FBG):

Fiber Bragg Grating。特定の波長帯の光波を反射し、その他の波長帯の光波を通過させるフィルタを持つファイバ。

角度多重ホログラム(AMSH):

Angular Multiplexed Spectral Hologram。角度の異なる参照光により多重記録されたホログラム。