

- **光パケットスイッチプロトタイプを開発**
— 超テラビットルータ開発に向けた基盤技術 —

- 平成14年7月19日

独立行政法人通信総合研究所(CRL)は、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のプロトタイプ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。CRLでは引き続きパケットスイッチの大規模化を目指します。

<背景>

インターネットの通信トラフィックが増加の一途をたどる現在、波長多重技術によって光ファイバを用いた情報の伝送路は着実に高速になっています。それに伴って、ハブ(ルータ)では処理能力の増加が必須になりますが、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。

<今回の成果>

CRLでは、パケットの処理能力を飛躍的に改善する装置の開発を重要な研究テーマと位置付け、光回路や光素子を用いてパケットの宛先を高速に求める技術を開発してまいりました。今回、さらに同時に到着するパケットの衝突を避ける光バッファを備えた2入力2出力光パケットスイッチのプロトタイプ化に成功しました。本プロトタイプは、2入力2出力光パケットスイッチ、回線ごと毎秒100億パケット相当の宛先検索能力、回線速度10Gbit/s、出力バッファ構成、バッファ数2、固定長パケット同期到着処理、先着順パケット処理などの機能を有しており、その特徴は、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。
4. 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。これらの3機能を組合せた光パケットスイッチはこれまで実現されていませんでした。

<今後の展開>

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て、10Gbpsにとどまらず40Gbpsや160Gbpsのパケットを転送する光バッファを備えたパケットスイッチ技術を開発するとともに、IPパケットのような長さの異なるパケットを処理する技術や、入出力数が大きな超テラビット級光パケットスイッチを開発し、基幹フォトニックネットワークの超高速・大容量化に貢献してまいります。

なお、関連研究を7月28日から31日までボストンで開催されるSPIE ITCOM2002(講演番号:4872-22)にて発表いたします。また、本プロトタイプを8月2日、3日のCRL所内一般公開において、公開いたします。

<連絡先>

超高速フォトニックネットワークグループ 和田尚也 TEL:042-327-6371
ネットワークアーキテクチャグループ 原井洋明 TEL:042-327-5418

<用語説明>

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が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)クロスコネクト。

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。

<補足説明資料>

インターネットの通信トラヒックが増加の一途をたどる現在、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)を越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3)。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4)。

CRLでは、波長スイッチ技術ではなく、ルータと同じくパケットをスイッチする手法を使って、パケットの処理能力を飛躍的に改善する装置の開発を重要な研究テーマと位置付け、光回路や光素子を用いてパケットの宛先を高速に求める技術を開発してまいりました。本研究開発は、光符号分割多重通信方式(OCDM)に用いる光符号をパケットの宛先として用い、光領域で宛先検索する技術開発を、超高速フォトニックネットワークグループ(旧・光通信技術研究室)が北山研一大阪大学教授と共同で開発に成功した時から継続しています。今回、さらに、同時に到着するパケットの衝突を避ける光バッファを備えた2×2光パケットスイッチのプロトタイプ化に成功しました。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	9.95328 Gbps	装置は40Gbpsまで対応
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	1×2 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。宛先検索速度の制限(特にメモリアクセス速度)がありますので、パケットを高速にすると、すべてを処理しきれなくなります。一方、CRLの光宛先検索では、メモリへのアクセス、および、電子処理を行いません。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1)、短時間で光パケットの転送経路を求められます。求められた経路に、光スイッチを制御してパケットを送りますが、もう一つの入力光ファイバから到着したパケットが同時に同じ出力光ファイバに向かうことがあります。衝突を回避するために、光バッファとその管理装置(図2)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、パケットを光バッファのどこに格納すればよいか、バッファ管理装置が適切に判断し、実際に制御信号を送ってパケットを光バッファに格納します。光バッファにパケットを格納するために光電気変換をしませんので、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。これまでに、実験室での原理確認実験では80Gbps以上（電子処理では不可能なデータレート）のパケット転送に成功しています。

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。つまり、本プロトタイプで用いた技術は、より高速の超テラビット級ルータ、ネットワークを実現するための基盤技術として期待できます。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て、40Gbpsや160Gbpsのパケットを転送する、光バッファを備えたパケットスイッチ技術を開発するとともに、IPパケットのような長さの異なるパケットを処理する技術を開発し、超テラビット級光パケットスイッチおよびルータの開発、基幹フォトニックネットワークの超高速・大容量化に貢献してまいります。

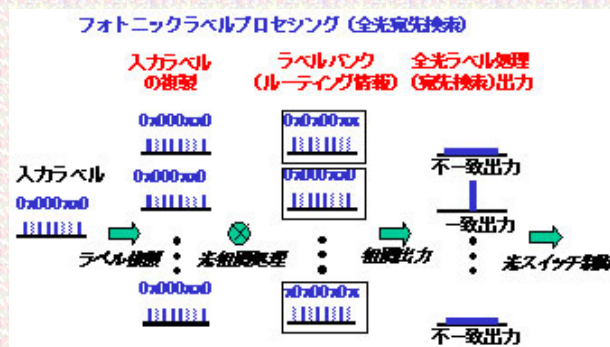


図 1: 光宛先検索の原理

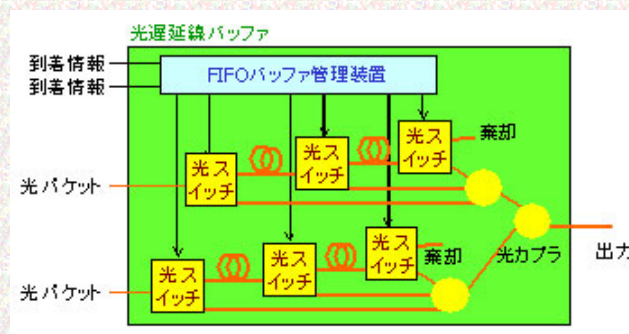


図 2: プロトタイプに用いた2入力光バッファの構成概略

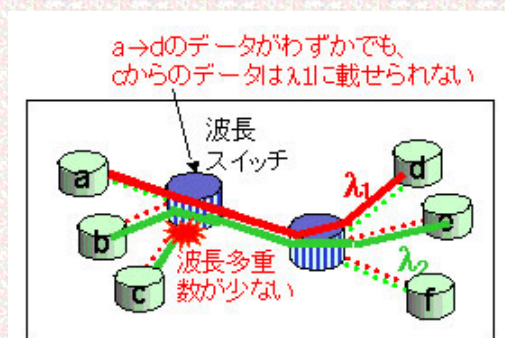


図 3 波長スイッチと帯域の浪費

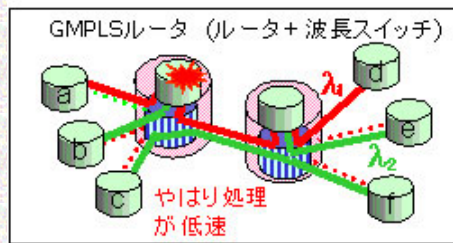


図 4: 経路制御による帯域の効率利用

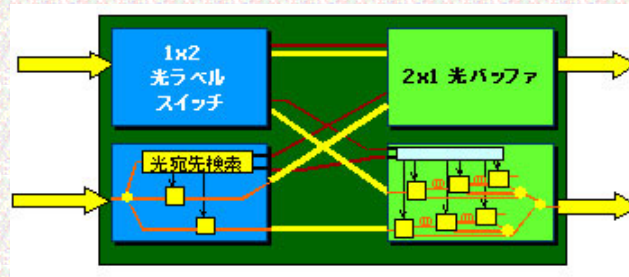


図 5: 2x2プロトタイプ構成概略



図6: 2x2プロトタイプの概観