

OFC/NFOEC2008 ショート速報[光ネットワーク関連]

氏名 木下 進 (富士通研究所)

会議名： The Optical Fiber Communication Conference and Exposition/ The National Fiber Optic Engineers Conference

開催期間：2008年2月24日-28日

開催場所：San Diego Convention Center (San Diego, CA, USA)

*****要 約*****

今回の OFC/NFOEC では、より高速な伝送速度(40Gb/s, 100Gb/s)、位相変調、多値変調、偏波多重など様々なフォーマットの光信号の収容が求められる中で、WSS などの光スイッチコアをベースとした光ネットワークを構成し、これに GMPLS 制御を導入して効率良く波長パスを生成し、光波長ルーティングを活用していくことが今後の光ネットワークのトレンドであることが確認された。さらに、トラフィックの一層の伸張を考えると、光ノードの実装ポート数がボトルネックとなることが予想され、複数の波長を束ねた Waveband という単位でルーティングを行いこれを解消する研究開発も注目される。

1. はじめに

光ネットワークは、ブロードバンドサービスによって急増するトラフィックを収容する基幹インフラとして世界的な規模で導入が進められているが、ROADM(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)ベースの光ネットワークは、光波長ルーティング(又は、Optical Bypass)を有効に活用することで、中継ノードから O/E/O を削除してコストを削減すると同時に、伝送速度や、変調フォーマットに依存せず、また、GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching)制御を実装して、柔軟でリソースの使用効率の高いネットワークが構築可能であり注目されている。この技術は、ネットワーク容量の増大に比例して電力消費が増加することを抑制する技術でもあり、今回は、地球温暖化防止などの観点からも重要性が指摘された。本報告では、このような OFC/NFOEC における光ネットワーク関連のトピック、技術動向について述べる。

2. 光波長ルーティングを活用した光ネットワーク

データパケットを転送する光ネットワークについて、コストと電力消費の観点から議論する報告(OMG1)が Melbourne 大学からあった。報告では、アクセス・ルーター、コア・ルーター間の接続が O/E/O を介して接続される Packet-Switched Point-to-Point WDM Network と、コア・ルーターが置かれるサイトには OXC(Optical Cross-Connect)、ROADM といった光ノードを設置して、アクセス・ルーターとコア・ルーター間、および、コア・ルーター間は、光波長ルーティングが可能な Optical IP Network、および、波長を束ねた Waveband という単位でルーティングを行う Waveband IP Network について比較を行っている。この報告では、電気的なルーターのボトルネックは、今後、一般に指摘されている電子回路のスピードではなく、電力消費になると指摘している。Waveband IP Network は、光ノードの実装ポート数のボトルネックを解消し、ユーザ当たりの Access Rate が 200Mb/s を超える領域ではコスト的にも有利となると報告しており、

ポート数規模が大きくなる大容量光ノードに有効と考えられる。光レイヤで Waveband と Wavelength という二つの異なる粒度でスイッチングを行う Hierarchical Optical Path Network において、従来の Wavelength のみの場合と比較して、Waveband でのプロテクションを行うことの有効性を示した名古屋大学からの報告(OTThI4)、さらには、ファイバ単位での切替えも含め三つの異なる粒度でスイッチングを行う光ネットワークの設計に関する報告(JWA84)が、Georgia State 大学他からあった。

光パケットスイッチ・ネットワークにおいて、転送するデータサイズが大きくなるのに応じて波長を固定してペイロードを長くするのではなく、ペイロード長は上限値を設けて固定し、データサイズに応じて波長数を増減し、波長の束の packets として転送する報告(OTThA3)も NICT 他からあった。

3. 光スイッチコア

光ネットワークは、ROADM をベースとした Reconfigurable Optical Network 化が進められているが、JDSU から、その光スイッチコアである WSS(Wavelength Selective Switch)のスイッチング・エンジンとして、MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)、Liquid Crystal、Phased-Array Beam Steering についてレビューがあった (OWC1)。いずれの方式も回折格子などの波長分散媒質は別にあり、これにより波長多重信号を分波し、また、逆に各波長を合波して波長多重信号にまとめる。

一次元配列された (1D) MEMS ミラー方式では、一つの MEMS ミラーが一つの波長をスイッチし、光信号のレベル調整機能は、ミラーの反射角度に Offset を与えてポートへの結合効率を変えることにより実現する。Liquid Crystal 方式では、Liquid Crystal の偏波制御機能を用い Liquid Crystal セルが 1 入力・2 出力の光スイッチとして機能するので、これを N 段にカスケード接続して 2^N ポートのいずれかにスイッチする。Phased-Array Beam Steering 方式は、回折格子等で波長多重信号が一次元状の光ビームとして分波された状態において、個々の信号波長が、非常に小さな、かつ、多数の Pixel に入射されるようにして、それぞれの Pixel で光の位相を変えて光を干渉させ、その波長をスイッチする。Phased-Array Beam Steering 方式で効率良くスイッチするには、一つの波長の光ビームに対して Pixel 数として 50 以上が必要となる (即ち、Pixel は 2D アレイ状に配列される)。LCoS (Liquid Crystal on Silicon) Device はこの原理を利用したもので、 $\sim 10\mu\text{m}$ 角の Pixel が Si 基板上に形成される。ただし、Liquid Crystal の偏波依存性を打ち消すために Polarization Diversity が必要になるなど光学系は複雑になる。PLZT ((Pb,La)(Zr,Ti)O₃)も 2D アレイ状に形成すれば Electro-Optic Effect を用いて Phased-Array Beam Steering が実現でき、Liquid Crystal と比べると偏波依存性が無いのがメリットになると報告している。

さらには、光スペクトラムアナライザと類似な機能を有する光チャネルモニターを内蔵させた WSS について Optium Australia からの報告(OWC3)があり、NTT Photonics Labs より、LCoS を用いて波長毎に波長分散をチューナブルに補償できるようにした分散補償器の報告もあり(OWP4)、進展の様子が伺える。

展示会場では、WSS を従来比で半分のサイズにして、“Mini” WSS と称し“Single Slot”での装置実装を特長にしたもの、あるいは、“Nano” WSS と称して、“Mini” WSS の光学系回りとデジタル回路部を分離し、ユニットに纏める際に光増幅器や光チャネルモニターなどと一緒に、より自由に実装できる点を付加価値にした展示も見られた。

4. GMPLS 制御ほか

GMPLS 制御を用いた光ネットワークの論文、実証実験も多数報告された。KDDI R&D Labs より、ネッ

トワーク内の全てのリンクの入出力に市販の光チャンネルモニターを設置し、これと EDFA に内蔵された光パワーモニタを用いて OPM(Optical Performance Monitor)を構成し、このネットワークに GMPLS 制御を適用した All-Optical Network の Field Trial について報告 (OTuA3) があった。OPM により波長、各波長の信号パワー、および、波長パスの OSNR(Optical Signal-to-Noise Ratio)をモニタする。Field Trial に用いられた光ノードは 100GHz 波長間隔用 WSS を光スイッチコアとして用いた WXC(Wavelength Cross-Connect)ノードであり、この3つの WXC ノードは、フィールドに敷設された SMF (Single Mode Fiber) 100km の双方向光ファイバリンク 2本と SMF 80km の実験用の双方向光ファイバリンク 1本で接続されている。この系に GMPLS 制御を介して 31 の双方向 LSP(Label Switched Path)を設定した。この LSP には、43Gb/s RZ-DQPSK 信号、10Gb/s の OTU-2 信号、CW(Continuous Wavelength)光の3種類がある。GMPLS 制御により OPM のモニタをトリガとして End-to-End の LSP Rerouting の実験も行っている。Restoration Time は 150ms であった。リンク・ベースの OPM システムは障害点の特定に有効であることも確認された。また、GMPLS を適用した Gigabit Wide Area Ethernet の報告(OThB5)が慶応大学からあり、拡張ラベルフォーマットを用いて、4種の Layer-2 LSP (Ethernet Private Line, Ethernet Virtual Private Line)をセットアップする実験結果が示された。

光バーストスイッチ・ネットワークに関しては、Postdeadline Paper で Application-Aware Asynchronous SIP-Enabled Optical Burst Switched Network のテストベッドに関する Essex 大学他の論文(PDP34)が報告された。テストベッドはエッジ・ルーターとコア・ルーターで構成され、OBS(Optical Burst Switching)のコントロールにはデータとは別波長が割当てられており、このコントロールチャンネルを通して行われる。SIP(Session Initiation Protocol)シグナリングは IP ネットワークを用いる通常の SIP プロトコルと異なり、このネットワークでは SIP メッセージを BCH (Burst Control Header)内に収容して JIT(Just-In-Time)プロトコルでシグナリングしている。このテストベッドの OBS ルーターは 8x8 MEMS マトリクス・スイッチを光スイッチコアとしており、そのスイッチング速度は 10ms 以内である。この OBS テストベッド上での VoD(Video on Demand) Application における UDP (User Datagram Protocol) Packet の遅延は 95%が 30ms 以内で、最大でも 80ms を少し超える程度であり、許容範囲にある結果が示された。ジッターも全てのトラフィックについて 1.8ms 未満で十分に許容範囲にあり、また、パケットロスも生じなかった。

5. おわりに

トラフィックの増大とともに光ネットワークには大容量化が求められ、40Gb/s、100Gb/s といった超高速信号の波長多重伝送技術・実験が活発に議論されている。40Gb/s を超える伝送速度では従来の NRZ フォーマットに替わり、位相変調、多値変調、偏波多重など様々な信号フォーマット、多重方式が提案されており、このような状況で中継ノードに O/E/O を用いることは、ネットワークから柔軟性を奪い、高コストとなり、かつ、電力消費の増大を招く。このようなことから、WSS などの光スイッチコアを搭載した ROADM、WXC ベースの光ネットワークを構成し、GMPLS 制御を用いて効率良く波長パスを生成し、光波長ルーティングを活用することは益々重要になると考えられる。また、今後、一層トラフィックが伸張すると、光ノードのポート数がボトルネックとなることが予想され、波長を束ねた Waveband により解決する研究開発も期待される。