

ECOC2008 速報 [光ネットワーク関連]

甲斐 雄高 (富士通研究所)

会議名 : The 34th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)

開催期間 : 2008 年 9 月 21 日 - 25 日

開催場所 : Brussels Expo (Brussels, ベルギー)

*****要 約*****

今回の ECOC では、次世代変調方式、デジタルコヒーレント、OFDM 関連の伝送技術をメインに、シリコンフォトニクス系の光デバイス技術、WDM-PON 関連のアクセス技術、そして 100Gbps/ch 超級 DWDM 伝送技術から全光信号処理技術に至る幅広い分野での発表が行われた。光ネットワーク関連の主なトピックスとしては、1. 多様化するフォトニックネットワークの実現に向けたコントロールプレーン制御技術 (ASON/GMPLS)、2. 広帯域でトランスペアレントなサービスの実現に向けた無線 (モバイル) と光ネットワークの融合 (Radio over Fiber)、3. 広域 Grid 網への光バースト応用と光パケット関連技術、が議論された。

1. はじめに

ECOC2008 における光ネットワーク関連の発表は、ワークショップ、一般講演 (チュートリアル含む)、シンポジウムの各セッションにおいて、実システム運用に近いフィールドトライアルから、光バーストスイッチ、パケットスイッチなどの次々世代技術と様々な内容で行われた。本稿では、光ネットワーク関連分野の発表を、1. コントロールプレーン技術 (ASON/GMPLS)、2. 無線 (モバイル) と光ネットワークの融合、3. 広域グリッド網への光バーストスイッチングの応用と光パケット関連技術、の 3 つに大きく分類し、その内容と技術動向についてまとめる。

2. 光ネットワーク関連発表、技術動向

2. 1 多様化するフォトニックネットワークのニーズに応えるコントロールプレーン制御 (ASON/GMPLS) 技術とパフォーマンスモニタ技術

現在のフォトニックネットワークは WSS (Wavelength Selective Switch) ベースの ROADM (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexing) を用いた 10~40 Gbps/ch でのリングさらにはメッシュネットワークが Metro、Long Haul とともに主流となっており、WSS としては液晶タイプ、MEMS タイプとも 1×9 ポート規模で波長間隔が 100GHz または 50GHz グリッド対応の製品がすでに市場に投入されている。そのような状況の中、新しい WSS デバイスの提案等は少なく、キャリアや装置ベンダーの注目は、① Multi-degree 化によるネットワークのフルフレキシビリティ化、②障害発生時など波長パスや再生中継器 (Regenerator) の動的制御、集中監視による OPEX, CAPEX の削減、に移っている。このような背景から、

コントロールプレーンを含め、様々なネットワーク障害に対応でき、かつネットワークのトータルリソースを最適化することを目的として、ASON (Automatic Switched Optical Network)、GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) が積極的に採用されており、議論の中心もそこに移っている。

その潮流を裏付けるように、Workshop.6 (ROADM in NG Optical Transport Networks)での JDSU の報告によれば、JDSU はサイズ、機能別に現在 3 種類の WSS を開発している。しかし WSS は年率 10~20% の割合で価格が下落し、出荷までのリードタイムも以前は 10 週間以上だったものが、最近では 2~4 週になっている。2007 年~2012 年の ROADM 市場も 14 億ドル程度と予測しており、「ROI (投資収益率) が悪いため、フォームファクタを絞ることが大事」と WSS 市場の厳しさを主張していた。

コントロールプレーンの標準化も ASON/GMPLS について ITU-T、IETF、OIF を中心に積極的に議論されている。最近では packet switching が可能な Layer-2 PBB-TE や MPLS-TP、さらには All optical switching を制御する OTN all optical switching など次々世代のトランスポート標準化が議論され始めてる (Th.1.E.1)。以上のような背景から、より柔軟で機敏でリソース効率の高いネットワークの構築が求められており、コントロールプレーン制御技術が各セッションで活発に議論されていた。

ROADM ベースのメッシュネットワークにおいて効果的な RWA (Routing and Wavelength Assignment) を実現するため、GMPLS 制御において、Routing を行う OSPF-TE と Wavelength Assignment を行う RSVP-TE だけの制御よりもさらにネットワークリソース効率の高い PCE (Path Computation Element) ベースのアルゴリズムを適用した報告が複数行われた (Th.1.E.3, Th.1.E.4)。また、独自の次世代 NMS (Network Management System) プロトタイプを構築した結果が KDDI から報告された。PCE を装置配備前のデザインツールとして利用し、NMS と連携させてネットワークトポロジを最適管理し、Provisioning は GMPLS を拡張した G.694 ラベルで管理し、各ノードに OPM (Optical Performance Monitor) を配備して光パス (リンク) の OSNR を管理する構成を持つ。OSNR が最適となるパスを選択し、provisioning する様子が報告された (We.1.B.1)。NTT からは GMPLS もしくは独自の TE (Traffic Engineering) アルゴリズムを用いて Layer-1 での BoD (Bandwidth on Demand) サービスを学術ネットワーク SINET3 において実証した結果が報告された (Th.1.E.5, We.3.A.2)。

また、ネットワークの大規模化やフレキシビリティ化、伝送速度の高速化に伴い、信号品質の監視も重要な課題となっており、performance monitoring に関する発表も数件見られた。従来のパワーや波長を OCM (Optical Channel Monitor) でモニタするだけではなく、変調信号の多様化に伴って OSNR や Q 値を正確に測定する技術や CD、PMD 等のパラメータを測定する技術が重要となってきた。そのような中、43Gbps でアイ開口を計測する LSI を開発し、アイ開口率から DGD を $\pm 2\text{ps}$ 、PMD を $\pm 3\text{ps}$ の誤差で予測する報告が NEC から行われた (We.1.D.3, P.4.06)。KDDI からは EA (Electro-Absorption) 変調器での XAM (Cross-Absorption Modulation) 効果を利用した Q 値モニタが報告され (We.1.D.5)、その有効性を示すためにテストベッドを構築し実証した結果が PDP で報告された (Th.3.F.5)。また NTT からは、特殊な光フィルタ等を使用せず、帯域幅 3nm、パルス幅 0.8ps の高速光サンプリングパルスを用いてデジタル信号処理を行うことで、WDM 信号 (今回は 2ch) の一括モニタを可能とする報告があった (We.1.D.4)。

2. 2 無線 (モバイル) と光ネットワークの融合 (RoF: Radio over Fiber)

Apple 社 i-phone に代表される複合携帯端末が世界的に急速に普及しつつあり、携帯端末で YouTube のようなビデオブロードキャストを始めとした広帯域サービスが提供され始めている。そのような背景から、無線

(Radio) と光ネットワークが今後さらにスムーズにかつ相性良く接続される必要があり、近年盛んに光ファイバ無線 (RoF) 議論されている。今回もそのためのシンポジウムが2つ、一般セッションが2つ行われた。シンポジウムでは、まず最初に FTTH Council Europe から「無線と光ネットワークの融合のためには、アクセス網のさらなる発展が重要」であることが指摘され、世界各地での FTTH 状況が報告された (Mo.3.A.1)。韓国、香港、日本、北米と比較しても欧州の FTTH 普及率は低く、欧州全体でようやく 100 万回線に到達した状況である。その 80%がスウェーデン、イタリア、ノルウェー、オランダの4カ国で占められており、現状は普及しているとは言い難い。しかし来年以降急速に発展し、2012年には1,500万回線に到達すると予測している。仏テレコムからは FTTH (G-PON) を利用し、アナログ伝送、デジタル伝送それぞれの方式において無線基地局をアクセス網に収容するシステムについての報告があった (Mo.3.A.2)。仏テレコムの 3G 基地局は平均 1.6km、最大 11 km の分布で設置されており、G-PON OLT (Optical Line Terminal)が配備される距離とマッチしているお、G-PON システムを利用する仕組みや波長配置について報告があった。さらにアクセス網の次世代規格を見据えて、長距離版 G-PON や NGPON1 (下り 10 G、上り 2.5 G (最小))、10G EPON(下り 10G、上り 10G or 1G)に収容するための検討も進めており、無線 3G/3.5G 規格の UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) や HSPA (High Speed Packet Access)、さらにその先の 4G 規格である LTE/SAE(Long Term Evolution/System Architecture Evolution)や WiMAX を取り込むための検討の様子が報告された。

また、一般講演においては、mm-Wave (ミリ波) を生成し RoF 伝送する関連発表が相次いだ。通常のヘテロダイン方式ではなく、SBS (誘導ブリルアン散乱) で生じた 5 次側波帯 (sideband) と搬送波の重畳でヘテロダイン検波することで、32 GHz (線幅 300Hz 以下) のミリ波を生成し、それを搬送波として SMF 50.45km で 1 Gb/s 伝送した報告 (Tu.3.F.2) や 60 GHz 双方向で SMF 25 km を 2.5 Gb/s 伝送した報告 (Tu.3.F.5)、同じく 60 GHz ではあるが、経路の途中に Local Exchange を想定して信号再生中継器 (アップコンバータ) を配置し、DCF なしで SMF 125km 伝送した結果 (Tu.3.F.3) などが報告された。

2. 3 広域グリッド網への光バーストスイッチング (OBS) の応用、光パケット (OPS) 関連技術

動的なフォトニックネットワークのアプリとして、広域グリッド網が注目されており、ここ数年 ECOC でも、GMPLS 技術と連携してグリッド網を意識したネットワーク制御についての報告が行われている。今回も各国での国家プロジェクトの成果を中心に発表が行われ、その進展について Workshop が 1 件、一般セッションが 1 件行われた。Workshop No.2 ではグリッドサービスを提供するためのツール標準化動向について i2CAT から報告があった。GEANT や NREN s など各国のリサーチネットワークを利用して盛んに研究が行われており、GNS (Grid Network Service) のためのコントロールプレーンとして G²MPLS (GMPLS の拡張セット) が提案され、現在 IETF、OIF、ITU-T 等で標準化の議論が進められている。ただし、トランスポート層はマルチサービスプラットフォーム化や超高速伝送対応の方へ向かっているため、標準化が間に合うのかが課題であるとのコメントがあったことを付け加えておく。一般セッションにおいては、Essex 大学から超高精細 (UHD) メディアサービス向けには長時間かつ広帯域な接続が可能な波長スイッチ (波長パス) サービスが最適であり、UHD メディアアプリ向けには、長時間のリソース確保が必要ないため OBS が最適であり、UHD 非圧縮映像のマルチビュービデオのような 100 Gb/s を超える大容量でかつ各映像の同期が必要な伝送用途には、通常の TDM が最適である、との指摘があり、用途に応じたサービスを提供するための Framework として IaaS (Infrastructure as a Service Framework) の提案が行われた (Th.1.C.1)。また NTT

からはG-lambdaプロジェクトのその後の進捗についての報告があり、波長パスとパケットパスの両方を用いて計算機リソースを最適に制御することで、Multi-LayerでのLambda-gridを提供した成果について報告があった (Tu.1.C.2)。KDDIと東大グループからは、数年前から取り組んでいるNEDOプロジェクトの成果として、OBSエッジノードとコアノードのプロトタイプ機をNICTのJGN2でフィールドトライアルを行い、40Gbpsバースト信号をSMF 92 km伝送した結果が報告された (Tu.1.C.5)。

光パケットスイッチに関しては一般セッションは設けられず、Interconnection 関連セッション内で議論された (光フリップフロップ等の全光信号処理技術については We.2.C All Optical Processing 内で議論されたが、筆者の発表と重なったため、聴講できなかった)。アテネ国立工科大グループからは SOA-MZI (Semiconductor Optical Amplifier – Mach-Zehnder Interferometer) を集積化して CIP 社にて製作した 10 個のゲートアレイと 2 個のフリップフロップを用いて、10 Gbps 光パケット信号の衝突回避回路を構成した結果が報告された。8 個のゲートアレイを通過後、1dB のパワーペナルティで衝突回避を実証した (We.2.D.2)。UCSB からは、2.65m (12.8 ns) のディレイラインをシリコン導波路で形成し、さらに 2×2 SOA ゲートスイッチを集積化した光バッファ (メモリ) を作成し、2 入力での衝突回避をシステムレベルで実証した結果が報告された (We.2.D.3)。また同じ UCSB から、シリコン導波路で形成した複数のディレイラインと SOA ゲートスイッチの組み合わせで、遅延量 (長さ) の異なる 4 つのディレイラインを選択できるシンクロナイザを製作した結果が報告された。0~9.52 ns まで 4 段階で光パケット遅延量を可変可能である。しかし、9.52 ns 遅延時には 10.8dB の損失となり、40Gbps RZ 信号に対して 2 dB 以上のパワーペナルティが生じていた (Th.2.C.5)。今後、このようなシンクロナイザのラベル処理やパケット同期処理への適用が期待される。富士通からは 9 個の SOA ゲートスイッチを集積化した 8 入力 1 出力の光選択スイッチモジュールを 8 個用いてサブシステムを構成し、2.5 ns スイッチング、10 Gbps 光パケット伝送で 1 dB ペナルティを実証した結果が報告された (We.2.D.4)。

3. おわりに

近年の流れに沿って、デジタルコヒーレントや多値変調方式などの次世代伝送方式の議論で賑わう中、光ネットワーク関連は華やかさには欠けるが、着実に足場を固める発表が相次いだ印象を受けた。

コントロールプレーンの標準化は今後も引き続き議論され、Packet switching や All optical switching までも取り込み、ネットワークリソースの最適化、帯域オンデマンドサービス、キャリアグレードの障害復旧機能のスムーズな提供、より迅速な provisioning、光信号品質の統合的監視が可能となることを期待する。UHDTV 信号等の超高精細映像データや科学技術計算データ等はセキュリティの確保が重要で、どのレイヤーでそれを保障するのか、また多様化をみせるネットワーク構成や高速化するトラフィックへの対応など、今後コントロールプレーンにおいて解決すべき課題は多いが、ASON/GMPLS を中心に機能拡張の議論が進められており、より高速で信頼性のあるネットワークサービスが安価に提供される環境が整いつつある。その一方で、OBS/OPS 関連発表が減少している傾向が顕著に表れていた。OBS/OPS は衝突回避や波長変換機能が必要なため、既存の ROADM ベースネットワークよりも消費電力やコストがかかるという検討結果も一部報告されている。本稿では触れなかったが、地球温暖化防止の観点から、光ネットワークにおける Energy Footprint をいかに削減するかの議論がシンポジウムで行われた (Tu.3.A, Tu.3.B)。その中で、衝突回避機能付 OBS/OPS ルータは現在の同一処理能力を持つ電気ベースのルータよりも 3 割ほど消費電力が多く、10 年後の電気ルータと光ルータの消費電力を予測した場合でもほぼ同じ (電気ルータ : 210 pJ、光ルータ : 220

pJ) で、OPS は必ずしも魅力のある選択肢ではない (Optical Packet Switching is not a compelling alternative.) ことが示された (Tu.3.A.2)。そのような報告もある中、チュートリアルとして名古屋大学から、波長を束ねて一つの Waveband (波長群) として捉え、Waveband と Wavelength という異なる粒度でスイッチングを行うことが可能な Hierarchical Optical Path Network 技術が紹介された (We.3.A.1)。今後の光ルータ実現のためには、光スイッチや光バッファ (メモリ) 等のデバイスのより一層の進展、消費電力やコストが ROADM ベースネットワークや電気ルータを利用するよりも削減できるという明快なアプリやソリューションの提供が重要であると感じた。一方、光ファイバ無線 (RoF) は、現在の国内ネットワーク事情を反映してか、RoF 関連セッションにおける日本からの発表が 1 件のみと寂しい印象を受けたが、今後大きな進展が期待される。今回の ECOC でも WDM-PON や Extended Reach PON などアクセス系のセッションが複数行われていた。国内では次世代アクセス方式として 10G E-PON が最有力であるが、欧州などではアクセス網の本格的普及はこれからという情勢で、今後 RoF の議論の進展とともに、価格次第ではあるが、帯域、セキュリティ、拡張性の観点から WDM-PON の重要性が見直されてくる可能性もあり、今後の RoF とアクセス網の関係がどのように展開していくか諦視する必要がある。