

### OFC/NFOEC ショート速報 [光ネットワーク]

岡本 聡 (慶應義塾大学)

会議名 : Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and National Fiber Optic Engineers Conference 2011

開催期間 : 2010年3月6日-11日

開催場所 : Los Angeles Convention Center (Los Angeles, CA, 米国)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

OFC/NFOEC 2011 では“ルーティング”が光ネットワーク関連で大きなウエイトを占めるキーワードとして取り上げられていた。Energy Efficient、Comutercom (Datacenter Network)、Flexible Network、Impairments Aware Routing といったルーティングを取り扱うセッションが多数設けられた上、ポストデッドラインにおいて、Path Computation Element (PCE) Emulator という、経路計算のためのソフトウェア技術の論文が採択される画期的な出来事があった。

\*\*\*\*\*

#### 1. はじめに

OFC/NFOEC は、光通信に関する最大級の国際会議であり、デバイスからネットワーク、広帯域アプリケーションまで講演内容は多岐に渡る。本報告では、筆者がプログラム委員を務めた Optical Network Applications and Services を中心として、コアネットワーク技術、Comutercom (データセンタ向けネットワーク技術)、PCE (経路計算サブシステム) 技術の動向について報告する。

#### 2. 技術動向

光ネットワーク関連では、トラヒックの増加にどう対応するのかをメインテーマに、“エネルギー効率の高いグリーンネットワーク”、“100Gbps 伝送対応のネットワーク”、“フレキシブル・ダイナミックな(全光) ネットワーキング”、データセンタ内部及びデータセンタ間接続の光ネットワーク技術が議論された。

##### 2. 1 Energy Efficient Networks

ウィンザー大より、スケジューリングを前提としてパスの保持時間が既知な場合のルーティングによる最適パス収容を線形計画法(ILP: Integer Liner Programming)を用いて解く手法が提案された。

メルボルン大より、IP ルータ、SDH クロスコネク、WDM クロスコネクのビット当たりのスイッチングエネルギーの違いに着目したマルチレイヤスイッチングノードに対するマルチレイヤトラフィック制御が効果的であることが報告された。

シスコより、3R 中継器と 1R 中継器で構成される Translucent 光ネットワークを、同等の BER 特性を確保した条件下で全光 2R 中継器と 1R 中継器で構成することによって 40Gb/s 波長・パス長 160km-3200km の場合 70%以上の消費電力削減が可能となることが報告された。

全体的に最適化問題を ILP で解く手法が多用(流行)されており、計算時間よりも最適性優先の報告が主流である。ダイナミックなトラフィック変動に対する追従性が今後の課題としてクローズアップされてくるものと考えられる。

## 2. 2 コアネットワークとデータセンターネットワーク技術

アルカテルルーセントより、High performance IT Infrastructure on demand をスケーラブルかつオンデマンドに実現するために、クラウドコンピューティングとキャリアが提供する仮想網サービス（波長パスサービス）を統合した Generalized Service Provider (GSP)構想が提案された。GSP においては、クラウド事業者が提供するデータセンタリソースと、キャリアが提供する Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS)制御された波長スイッチング網とを連携運用させる Cloud Networking Service Manager をどのように標準化を含めて構築していくかが課題であり、実現には数年間が必要と考える。

カタルーニャ大より、EU DICONET テストベッド上で GMPLS を利用した集中制御型伝送品質考慮光パス動的リストレージョンが報告された。14 ノード 23 リンクのネットワーク上で、FPGA 上に構築した伝送品質推定エンジンを用いて、集中制御ながら高優先パス平均 1.36 s、低優先パス平均 4.7 s のリストレージョン時間を実現している。集中制御の利点は低ブロッキング率であり、分散制御に比べて速度的に劣る部分を FPGA でアクセラレータを構成しカバーしている。スケーラビリティに課題が残っている。

エセックス大より、Finisar 社製の市販グリッドレス波長選択スイッチ(WSS)を利用したエラスティックネットワーク構成が提案された。最低スペクトル帯域幅 12.5GHz でプログラマブル帯域幅可変(1GHz 精度)な WSS を帯域可変フィルタとして利用し、3D-MEMS 光スイッチと組合せて構築したグリッドレス全光クロスコネクトノードを経由しての伝送実験結果が報告された。実験では、350 GHz 帯域幅の 170.8 Gb/s RZ 信号、ITU グリッドより 25 GHz オフセットさせた 42.7 Gb/s NRZ 信号×4、200 GHz 帯域幅内に 42.7 Gb/s RZ 信号×3 を混在させ、任意の波長バンドでの所望のポートへのスイッチングを実現していた。

NICT より、高効率非線形ファイバと 4 光波混合を組合せて、複数バンドへの信号コピーを実現させ、JGN2plus 上で全光マルチキャストを実現したことが報告された。光カプラを用いたマルチキャストと異なり、マルチキャスト+波長変換機能を実現していることに大きな特徴がある。

AT&T より、データレイヤと光ネットワークレイヤの間にはグルーミングレイヤが必須であり、40 Gb/s WDM 伝送上に提供していた STS-1 レベルでのグルーミング機能を、100Gb/s WDM 伝送上で 1GbE レベルでのグルーミング機能に展開していくことが要求され、OTN (Optical Transport Network) がこのグルーミングレイヤに導入されるべきであることが主張された。また、ネットワークが転送遅延を自動測定し、マルチドメイン・マルチベンダ・マルチレイヤでの遅延最適化機能、Zero-touch プロビジョニングによりネットワーク自体をデータベース化することで、顧客が転送遅延時間指定でのルーティング要求を出すことを可能とすることが次世代サービス提供に不可欠であることが報告された。

NTT より、ROADM/ODU クロスコネクトにおける動的なサービス継続を可能とする ODU パスの収容波長変更手法が提案された。実際に、1×9 WSS と、1×43 WSS でカラーレス ROADM を構成し、複数の OTU3 (43 Gb/s)に対して動的に ODU2 パス(10 Gb/s)の無損失収容変更を実現したことが報告されていた。動的な収容変更によりネットワークリソースの 15-20%削減が可能となる。1×43 WSS のアピールが主目的の様様。

## 2. 3 PCE (Path Computation Element) 技術

清華大より、総計 1000 ノード規模の SDH (Synchronous Digital Hierarchy) ドメインと OTN ドメインのマルチレイヤ・マルチドメインネットワークに対する網管理システムと PCE 連携システムが報告された。PCE での経路計算後に網管理システムから各ドメインの部分パス設定を並列に実行させることで、3 ドメイン (ノード数 10) 構成の実験網で、各ドメイン内で 1+1 プロテクションを行う経路計算とパス設定の時間が 530 ms と十分高速であることが示されていた。1000 ノードで本当に動作可能なのは明示されな

った。

サンターナ大より、複数ドメインから構成されるネットワークでの最適経路計算におけるドメイン選択問題を解決するための手法として軽量階層化 PCE 手法が提案され。親 PCE は、ドメイン内部を集約表現した上位ネットワークにおいてドメイン選択を行い、子 PCE が各ドメイン内の経路計算を行う。シミュレーションでは、パス設定ブロック率が全体を単一ドメインで構成した場合よりも低くなるという直感に反する結果が得られ議論を呼んでいた。

## 2. 4 その他

### 1) ワークショップ OMA Exascale Computing: Where Optics Meets Electronics

ファイバ 1 本で 100Tb/s が実現可能となった現在、データセンタ内部及びデータセンタ間でのデータ交換量が増大し、データセンタネットワーク及び High Performance Computing (HPC)用システム間接続ネットワークの容量が Exa b/s に達しようとしている。現在の Peta b/s クラスのネットワークをそのまま単純にスケールアップしただけでは消費電力がボトルネックとなるため光処理の導入が求められている。

NASA からは、アプリケーションも瞬時的なバーストトラフィックを出さないように設計及び記述することが必須、かつ、ネットワークは未使用時には電力オフできるようにすることが求められるとの報告があった。

HP からは、次世代システムは 10 万~100 万ノードが、帯域 2,000 GB/s~250GB/s をサポートする平均 4 ホップ程度のネットワークで接続されるとして、100 万×2,000 GB/s× 4 × 8 = 6.4 Exa b/s のネットワークを消費電力 30 MW、4.7 pJ/bit の効率で処理することが必要との報告があった。また、現在のルータチップは、スイッチングコアの周囲にシリパラ変換と I/O が配置されているためスケラビリティが無い、これを光スイッチを利用したインターコネクション技術を利用して根本的に見直すことが必要であることが報告された。

UCDAVIS からは、リングレーザ・リングフィルタと AWG を組み合わせたパケットスイッチが提案され、2048×2048 スイッチ (AWG512 ポート) が実現可能レベルにあることが報告された。

### 2) ポストデッドライン

ドイツの Technische Universität Carolo-Wilhelmima zu Braunschweig より、Java 言語で記述された PCE エミュレータを Linux PC に実装しオープンソフトウェアとして公開すること、エミュレータにおける性能評価の報告がなされた。PCE は、GMPLS の枠組みにおける光/パケットネットワークの集中制御による管理ドメイン内の制約的経路計算サーバー、経路計算のためのデータベース管理システム、クライアント及び他 PCE からの経路計算要求の通信プロトコル PCEP (Path Computation Element communication Protocol)通信管理エージェント、経路計算要求を管理するセッションハンドラより構成されるソフトウェアシステムである。これまで、PCEP の実装や相互接続に関する発表は行われていたが、システムとしての PCE 全体を実装したのは世界で初との評価を受け、プログラム委員会でも激論の末 OFC/NFOEC では異例のハードウェア (データプレーン) 無きポストデッドライン採択となった。

## 3. おわりに

増大するトラフィックに対して、光ネットワークによるグリーンかつフレキシブルで経済的なコアネットワーク及びデータセンタ内ネットワークの構築が求められている。1 ファイバ 100 Tb/s 伝送が可能となった今、総容量 Exa b/s のネットワークをどのように設計・構築・運用・制御・管理を行っていくのか、ハードウェア及びソフトウェア両面からの検討が必要である。OFC/NFOEC におけるソフトウェアの比重はますます高まっていくであろう。