

OFC/NFOEC2010 ショート速報[基幹伝送]

斧原聖史 (三菱電機)

会議名 : The 2010 Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference

開催期間 : 2010年3月21日-25日

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

*****要約*****
 3月に米国サンディエゴにて開催された OFC/NFOEC 2010 について、基幹系伝送システム関連のトピックスを紹介する。基幹系伝送システムでは、昨年12月に100Gb/sシステムの商用化が始まり、学会の興味は既に beyond 100Gb/s に向いている。ポストデッドラインペーパーでは、デジタル・コヒーレント技術による100Gb/sの伝送実験結果が多数報告され、今後の更なる大容量化の期待を予感させるものであった。

1. はじめに

OFC/NFOEC 2010 は、3月21日から25日にかけて米国サンディエゴにて開催された。今年は学会・展示会を合わせた参加者数が9,700人で、500社以上の企業・団体から展示があった。基幹系伝送システム関連においては、主にデジタル・コヒーレント技術、光 OFDM 技術、電気信号処理技術に対する高い期待感が依然としてあり、会場を賑わせていた。

2. トピックス

2.1 デジタル・コヒーレント受信技術

大容量伝送実験については、NTT未来ねっと研究所とNTTフォトニクス研究所が、デジタル・コヒーレント技術を用いた偏波多重16-QAM信号 (Quadrature Amplitude Modulation) の69.1Tb/s、240km オフライン伝送を報告した (PDPB7)。チャンネル間隔は25GHzで171Gb/sの信号をCバンドと拡張Lバンドを用いて432チャンネル多重している。また、AT&T研究所、NEC米国研、OFSが共同で、偏波多重36-QAM信号の64Tb/s、320km オフライン伝送を報告した (PDPB9)。プライコライザと、ポストイコライザを使用して107Gb/sの信号を640チャンネル多重している。Tycoは、96チャンネルの100Gb/s信号を総延長10,608kmの海底ケーブルを用いてオフライン伝送した (PDPB10)。周波数利用効率は3bit/s/Hzである。

100Gb/sの実フィールドリアルタイム実証試験では、AT&T研究所、Opnext、Ciscoが単一波長の偏波多重QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 変調にてフロリダとルイジアナを往復する126.5Gb/s、1800km伝送を報告した (PDPD1)。本報告で使用された伝送装置は展示も行われており、多くの注目を集めた。Verizon、NEC、NEC米国研、Juniper、Finisarは、100Gb/sのIPパケットを、単一波長の偏波多重QPSK変調によって1520km伝送した (PDPD4)。こちらは、80kmリングを19周回するものである。前者の報告とともに、デジタル信号処理部は複数のFPGAを用いて実装されており、LSIへの実装が期待される。

展示会場では、Ciena社が昨年発表した100Gb/sのスループットを実現するデジタル・コヒーレント方

式の送受信装置が展示されていた。2波長の 50Gb/s 信号を用いているものであるが、装置としての完成度が高いとの声が多かったようだ。

2. 2 光 OFDM

光 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)を用いたリアルタイム伝送も報告が相次いだ。メルボルン大学は、サブバンド帯域が 3.33Gb/s となる 110Gb/s の OFDM 信号のシングルモードファイバ 600km 伝送を報告した (OMS2)。清華大は、200GS/s の光サンプリングを行って OFDM 信号の 50Gb/s、20km 伝送を報告した (OWO5)。ベル研は、OFDM 信号のサブバンドを Add・Drop する可変ビットレートの ROADM (Reconfigurable Add Drop Multiplexing) 機能の実験を報告した (OTuM7)。KDDI 研究所からは、OFDM で用いられる D/A コンバータのビット分解能に関する検討と、32-QAM の信号を伝送する際でも 5 ビットの分解能で十分であるとの実験結果が報告された (JThA4)。

2. 3 誤り訂正技術

光信号の多値化が進むにつれ、シンボル間距離が短くなることによる所要 OSNR(Optical Signal-to-Noise Ratio)の改善も技術課題の一つとなっている。誤り訂正技術に係る課題を解決する有効な手段として期待されている。NEC からは、光通信向けとしては世界最高性能を誇るネット符号化利得 11.3dB(@1E-15)の誤り訂正符号が発表された (OThL2)。提案された誤り訂正符号は内符号に擬似巡回型低密度パリティ検査 (QC-LDPC)符号と外符号に Reed-Solomon 符号を適用したもので、QC-LDPC 符号には、さらに単一パリティ検査符号(SPC)を接続している。三菱電機からは、内符号に QC-LDPC 符号と外符号に ITU-T G.975.1 で規定されている Enhanced FEC (Forward Error Correction)を接続することで、ネット符号化利得 10.8dB(@1E-15)の性能を有する誤り訂正符号が発表された (OThL3)。両者ともに、誤り訂正の冗長度は 20.5%であるが、100Gb/s スループットのリアルタイム伝送は行われておらず、回路の実装が課題となっている。

2. 4 電気信号処理による波形歪補償技術

光ファイバの波長分散などによる受信信号の波形歪みを電気信号処理により補償する技術は、数万 ps/nm を超える非常に大きな波長分散量を補償できることから期待が高まっている。富士通研究所は、アンチエイリアシングとバイアス制御を用いた 1 Sample/Symbol の波長分散技術について報告した (OThT4)。本技術により、25,000ps/nm の 112Gb/s 偏波多重 QPSK 信号をわずか 0.7dB の Q ペナルティで補償することが可能となる。日立製作所は、30Gb/s の 8DPSK 信号と 8QAM 信号の波長分散と 1次 PMD (Polarization Mode Dispersion)を補償する技術を報告した (OWV6)。本技術により、8QAM 信号の波長分散と 1次 PMD の 1dB トレランスをそれぞれ 70%と 25%改善することができる。三菱電機は、6bit の分解能を有する D/A コンバータを実装した 43Gb/s DQPSK 信号用の予等化 LSI を報告した (PDPB6)。本 LSI は 0.18 μ s SiGe-BiCMOS を用いており、既存の 10Gb/s ROADM システムに 40Gb/s 信号を伝送する際に課題となる ROADM ノードのフィルタによるスペクトル狭窄化を補償することが可能となる。

2. 5 100Gb/s トランスポートと 1Tb/s トランスポートに向けて

ディジタル・コヒーレント受信技術や、光 OFDM 技術を駆使した 100Gb/s の研究開発が着実に進捗して

おり、学会の興味は既に beyond 100Gb/s に向いている。ワークショップでは、“Electric 100GbE and Its Transport over OTN (OSuB)” や、“1Tb/s Transport – Why, When and How (OMA)” というタイトルで 100Gb/s トランスポートシステムの最新状況と Beyond 100Gb/s に関する議論が進められた。OSuB では、NTT 未来ねっと研究所から IEEE と ITU-T の標準化の最新状況が報告された。特に並列インタフェースのデスクュー機構となる Multi-Lane Distribution の重要性を強調した。Lawrence Berkeley Lab. は、米国エネルギー省が運営するエネルギー科学ネットワーク (ESnet) を紹介した。ESnet を 100Gb/s で結ぶ計画に 66.8M ドルの資金がついているとのこと。Verizon は、これまでに実施した 100Gb/s のフィールド伝送実験を紹介した。パリとフランクフルトを結ぶ 893km の光ファイバを用いた試験であり、30 回線の 10Gb/s のサービスを昨年 12 月に開始したことを紹介した。1Tb/s トランスポートに向けたワークショップでは、560Gb/s のデュアルキャリア偏波多重 16-QAM 信号を用いて、400km 伝送に挑戦した報告や、400GBASE-LR16 といった 400GbE の提案もあり、1Tb/s のサービスについては 2013 年には実現するという意見があれば、1 Tb/s のトランスポンダの実現には、2,000W の電力が必要であり、400Gb/s の実現であっても 22nm プロセスの CMOS が必須となることから 2020 年くらいになるのではないかといった意見もあった。また、技術面においては、変調方式、誤り訂正技術、低雑音光アンプ、中継器間隔の短距離化、低損失ファイバの開発など、実現に向けてクリアしなければならない問題はまだまだ多い。2011 年は OFC ではなく、EFC (Electronic Fiber Conference) と呼ばれるだろうと言うスライドも飛び出し、超高速光伝送における電気信号処理技術への期待感がさらに高まっている。

3. Charles Kao シンポジウム

「ファイバ内光伝達に関する画期的業績」が評価され 2009 年のノーベル物理学賞を受賞したチャールズ・K・カオ (Charles K. Kao) 氏の功績を称えたシンポジウムが開催された。夕方の 18 時～20 時の開催であったにもかかわらず会場は満席状態で、また途中で席を立つ者もほとんど見られない程内容も充実しており、ビデオを教科書として使いたいと評価する方々もいる程であった。シンポジウムは、サザンプトン大学の Payne 教授の挨拶に始まり、カオ氏の奥様が氏の生い立ちなどを紹介した。その後、元 Corning の Dr. Shultz が損失 20dB/km ながら世界で初めて通信用光ファイバの開発に成功した苦労話や、元 AT&T の Dr. MacChesney が内付気相堆積 (MCVD) 法による光ファイバの製造に成功し、損失を 1.1dB/km へ劇的に改善したトピックを紹介した。日本からは、元 NTT 宮下氏が気相軸付け (VAD) 法による光ファイバの製造や、理論限界となる損失 0.20dB/km の達成裏話などを紹介した。各人のスライドでは当時取得した特許のコピーなどが紹介されるなど、改めて光ファイバ黎明期における技術者たちの興奮状態が垣間見られ、非常に興味深いものであった。

4. おわりに

OFC/NFOEC2010 の発表のうち、基幹系伝送システム関連技術に関するトピックスについて紹介した。100Gb/s トランスポートシステムは、研究段階から実用化のフェーズに移行しつつある。電気信号処理の今後の課題は、400Gb/s、1Tb/s といった超高速伝送を実現するための回路実装技術、ならびに消費電力対策である。我々が 1Tb/s 級システムを手にするためには、これのみならず、低雑音光アンプや低損失ファイバの開発など、光技術で克服しなければならない課題が数多くあることを忘れてはならない。今後の本国際学会が EFC と呼ばれることのなきよう、本来の光技術が電気信号処理技術と共に進展することに期待したい。