

OFC/NFOEC2008 ショート速報[基幹伝送]

米永一茂 (日本電信電話株式会社)

会議名 : The 2008 Optical Fiber Communication Conference and Exposition and 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, 米国)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

偏波多重、光 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)、多値変調等の技術を用いて周波数利用効率を高めた光伝送に関する報告が目立った。8 値変調技術やデジタル信号処理技術を駆使して周波数利用効率の向上を図っており、114Gbit/s 信号を 25GHz 間隔で波長多重した周波数利用効率 4.2bit/s/Hz のトップデータが報告された。また、コヒーレント検波+デジタル信号処理受信に関しては、これまでの実験ではデジタル信号処理部分はオフライン処理であったが、46Gbit/s でのリアルタイム処理を用いた実験が初めて報告された。

\*\*\*\*\*

1. はじめに

2005 年から OFC(The Optical Fiber Communication Conference)と NFOEC(The National Fiber Optic Engineers Conference)の共同開催である OFC/NFOEC は、毎年 2 月もしくは 3 月に米国で開催される光通信技術に関する国際会議であり、毎年 9 月に欧州で開催される ECOC(European Conference on Optical Communication)と並んでこの分野において最大規模を誇る。今年は 2 月 24 日~2 月 28 日に米国サンディエゴで開催され、昨年より 1000 人ほど少ない約 12000 人の参加者を集めた。投稿論文数は、一般論文が 1147 件で昨年より 18%増、ポストデッドライン (PD) 論文が 114 件で昨年とほぼ同じであり、採択数は、一般論文が 643 件 (口頭発表 410 件、ポスター233 件)、PD 論文が 35 件であった。採択率は、一般論文 56%、PD 論文 31%である。本稿では主に基幹光伝送関連のトピックスに関して報告する。

2. 光 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)伝送

光 OFDM 伝送は、波長分散・偏波分散耐力の飛躍的向上、周波数利用効率の向上の観点から近年非常に注目を集めている分野である。今回、2 つのレギュラーセッションが設けられ、また、ポストデッドラインセッションでは基幹伝送関連の 9 件の発表のうち 3 件が光 OFDM 関連であった。光 OFDM は、大別すると電気周波数領域で合成する方法と光周波数領域で合成する方法がある。今回、偏波多重との併用ではあるが電気領域合成による光 OFDM で初めて 100Gbit/s を超える実験がポストデッドラインセッションで KDDI 研究所から報告された(PDP2)。偏波多重と各サブキャリアに 8 値 QAM( Quadrature Amplitude Modulation) 変調により 121.9Gbit/s(OFDM オーバヘッド含む)信号の占有帯域を 22.8GHz に圧縮し、50GHz 間隔で波長多重している。また、光ファイバ中のマルチパス (偏波モード分散及び波長分散) をデジタル信号処理で補償することによりガードインターバルを除去できるコヒーレント光 OFDM 伝送が NTT から報告された

(PDP8)。ガードインターバルを除去することにより周波数利用効率を高め、88.8Gbit/s 信号の占有帯域を33GHz に圧縮することにより、50GHz 間隔の波長多重で ROADM(Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer)ノードを18段通過させている。光 OFDM 伝送では各サブキャリアの間隔が通常の WDM と比べて極めて狭いため、光ファイバの非線形効果、特に四光波混合の影響が懸念されている。コヒーレント光 OFDM システムにおける四光波混合による制限とその緩和策の効果のシミュレーションによる評価が Technische Universitaet Munchen から報告された(JWA58)。無線伝送で使われている PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)抑圧技術が光 OFDM においてもある程度有効であることが示された。今後、光 OFDM 伝送における光非線形効果の影響を実験的にも評価していく必要がある。

### 3. 多値変復調方式

多値変復調方式に関しては、Advanced Modulation Format(OMI)と DQPSK(OMQ)というセッションが設けられ、多くの聴衆を集めていた。DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying)は、専門のセッションが設けられたことから光変復調方式としてすっかり定着した感がある。一方で、周波数利用効率の更なる向上に向けて8値変復調に関する報告がいくつか見られた。ポストデッドラインセッションでは、偏波多重と8値PSKによる114Gbit/s信号を25GHz間隔で多重した周波数利用効率4.2bit/s/Hzのトップデータが AT&T と NEC Laboratories America から報告された(PDP1)。これまでのトップデータは3.2bit/s/Hzである。受信機にはコヒーレント検波+デジタル信号処理を採用し、光学的分散補償なしで640kmのSMF(Single Mode Fiber)伝送を実現している。その他に8値変調としては、30Gbit/s Staggered-APSK(Amplitude and Phase Shift Keying)が日立から(OMI3)、30Gbit/s RZ-8値PSKの2800kmSMF伝送が HHI から(OMI5)それぞれ報告された。前者は、従来の8値APSKに比べて信号点間距離を大きく設計できることによる1.5dBの感度向上、後者は、デジタル・コヒーレント受信とデジタル分散補償を用いることにより光学的分散補償を用いない伝送の報告である。また、100G伝送に向けた6値PSK変調方式の提案と実証が NEC から報告された(OMI6)。5ビットを2シンボルにマッピングするというユニークなコンセプトであり、40Gbit/sのデバイスを用いて100Gbit/sシステムを実現することを狙っている。昨年のOFC/NFOECで報告された64値変調や32値変調に関する報告は今回は見られなかったが、偏波多重や光OFDMとの組み合わせにより高密度多重化が着実に進んでいる印象を受けた。

### 4. デジタル・コヒーレント受信

コヒーレント検波+デジタル信号処理受信は、これまでオフライン処理の実験が行われていたが、今回初めて46Gbit/sのリアルタイム動作が AT&T と Nortel により報告された(PDP9)。リアルタイムデジタル信号処理により、瞬間DGD(Differential Group Delay)値127psの高PMDファイバ800kmの伝送に成功している。NortelのO'Sullivan氏によるチュートリアル講演(NWC3)では、46Gbit/sリアルタイム動作のデジタル・コヒーレント受信機と2波OFDMの組み合わせで100Gbit/s級動作が報告された。また、受信機の帯域を超える高速信号を受信するためのデジタル・コヒーレント受信技術が東京大学(PDP6)及びメルボルン大学(PDP7)から報告された。前者のグループは、信号データに同期したパルス状の局部発振光源を用いて640Gbit/sの偏波多重OTDM QPSK信号をコヒーレント検波すると同時に時分割分離を行っている。後者のグループは、107Gbit/s光OFDM信号を直交性を保ったまま5つのサブ帯域に分割して、それぞれのサブ帯域を別々のデジタル・コヒーレント受信する方式を提案している。デジタル・コヒーレント受信方式

は、偏波ダイバーシティを前提としており受信機内のデジタル信号処理で偏波分離が可能であるため、偏波多重を採用することが前提となっている。偏波多重系では伝送中の偏波の効果、特に PDL(Polarization Dependent Loss)の影響が懸念されており、その影響を評価した報告も見られた(OThU5, OThU6)。今回、デジタル・コヒーレント受信方式は、リアルタイム動作と受信帯域制限の克服という新たな進展があったが、特にリアルタイム処理については必須の技術であり技術的な進展を注意深く見極めていく必要がある。

#### 5. 電氣的信号等化技術

電氣的信号等化技術では、MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation)に関して多くの報告があった。ポストデッドラインセッションで、16-state MLSEによる波長分散トレランス、DGDトレランスの向上が CoreOptics から報告された(PDP13)。10.7Gbit/s でのシミュレーションと実験結果によれば、5dB以上の OSNR ペナルティを許容すれば波長分散トレランスの大幅な拡大が期待できるが、1~2dB 程度の OSNR ペナルティでは分散トレランス拡大効果は限定的である。また、0.5 ビット遅延マツハ・ツェンダ型光遅延干渉計と 4-state MLSE を用いて、4000ps/nm の波長分散トレランスをもつ 10.7Gbit/s DPSK 受信機が Eindhoven University of Technology、Nokia Siemens Networks、Federal Armed Forces University Munich から報告された(OWT3)。光デュオバイナリと同等の分散トレランスを保ったまま、2.5dB 程度の OSNR トレランスを改善できており、10Gbit/s での長距離伝送技術として注目される。43Gbit/s 信号の光フィルタリングペナルティを FFE(Feed Forward Equalizer)+DFE(Decision Feedback Equalizer)を用いて低減する実験が Alcatel-Lucent(ドイツ)から報告された(OThO6)。報告によると 43Gbit/s 光デュオバイナリ信号では、FFE+DFE を用いることにより光フィルタ帯域を 26GHz まで狭窄化可能である。また、光キャリア間位相同期と電氣的予等化を用いて四光波混合(FWM)によるチャンネル間クロストークを効果的に低減する実験が NTT から報告された(OTuO5)。光キャリア間位相同期だけで電氣的予等化を用いない場合に比べて約 8dB の OSNR ペナルティ改善が得られている。

#### 4. おわりに

デジタル信号処理技術は、光 OFDM、偏波多重、多値変調、分散補償などを小型・低コストで実現できる可能性を秘めており、それにより光通信の世界が一変する可能性がある。これまではオフラインで実験が行われていたが、今回、初めて 40Gbit/s クラスのリアルタイム動作が報告された。今後の現実化に向けた技術の進展に期待したい。次回は、2009年3月22日~3月26日に米国サンディエゴで開催される予定である。