

## ECOC2008 ショート速報[基幹伝送関連]

森田 逸郎 (KDDI 研究所)

会議名：34th European Conference and Exhibition on Optical Communication

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\*\*\*\*\*

9月にベルギー・ブリュッセルで開催された ECOC2008 について、主に基幹系システム向けの光伝送技術に関して報告する。今年の光伝送技術関連の発表では、デジタル信号処理を用いたコヒーレント受信（デジタル・コヒーレント受信）を中心に、デジタル信号処理を用いた方式に関する発表が多数を占め、現在の研究トレンドとなっていることが強く感じられた。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

9月21日から25日にかけて、第34回目となる ECOC (European Conference on Optical Communication) がベルギーのブリュッセルで開催された。発表された参加者数は約 1200 人であり、昨年とほぼ同程度の多数の参加者を集めた。投稿論文数は、一般論文で 811 件、最新の研究成果が発表されるポストデッドライン論文で 71 件と、昨年（一般論文：737 件、PD 論文：63 件）よりわずかに増加した。国別の参加者数では、首位の日本は 230 人と他国を圧倒し（2位の米国は 120 人、その後、ドイツ 110 人、開催国のベルギー 90 人と続く）、本会議に対するあいかわらずの日本の貢献度の大きさを示した。今回の ECOC では、会議全体では省電力（グリーン）がトピックスとなっており、関連したシンポジウムが企画された他、省資源化のため昨年までの印刷された論文集の配布が廃止され、USB メモリ、CD-ROM による電子データの配布のみとなった。ちなみに、配布されたカバンの色も黄緑色であり（参加者の評判はあまり良くなかったようであるが...）、この色も「グリーン」を意識したとのことであった。本稿では主に基幹系向けの光伝送技術関連のトピックスに関して報告する。

## 2. デジタル信号処理を用いた光変復調方式

基幹系をターゲットとする長距離伝送方式の研究の主流は、デジタル信号処理を用いた方法へシフトしている。学会全体の長距離伝送関連の論文の中で、デジタル信号処理を用いずに送受信器をすべてリアルタイムで動作させた論文は 15 件程度に留まり、オフライン処理を用いた論文がその大半を占めた。ポストデッドライン・セッションで発表された伝送関係の論文は全てオフライン処理によるものであり、この傾向を顕著に示している。

デジタル信号処理を用いた方式の代表はデジタル・コヒーレント受信であり、“Coherent Receivers”：2セッション、“Coherent Transmission”：1セッションの計3セッションが設けられた。これらのセッションでは、東大・菊池教授による Tutorial 講演 (Th.2.A.1) を含め、数多くの論文が発表された。発表の中には、信号処理のアルゴリズムに関連した発表も多数見られ (Mo.3.D.2、Mo.4.D.1 等)、少し前の ECOC と

は発表論文の種類が異なるようにも感じられた。また、“Coherent Receivers”セッションでは、富士通のグループからの論文の数が多いのが目立った。

デジタル・コヒーレント受信の適用のメリットの1つは変調方式の多値化が可能となることであり、これによるシンボル速度の低減により、100Gbit/s 伝送のような高速光信号伝送での各種伝送制限要因に対する耐力向上、および、周波数利用効率の向上が得られている。変調方式の多値化の検討は進展し、従来の QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、8PSK から 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)以上へ多値化した報告も増えた。Alcatel-Lucent のグループからは、偏波多重を併用した 16QAM 伝送による 25GHz 間隔の 100Gbit/s x 10WDM、315km 伝送実験も報告された (Th.3.E.5)。本実験では、16QAM による 100Gbit/s 伝送の初めての報告であり、4.0bit/s/Hz の周波数利用効率を得られている。

一方、最近、注目されている光 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) に関する報告も多数あった。会議の初日には、本方式に関連するワークショップ “Multi-Tone Transmission Techniques for Optical Networks”が開催され、技術の概要からアプリケーション、実現技術まで幅広い議論が行われた。日曜日の午前中の開催にも関わらず、本ワークショップには 100 人以上の参加者が集まり、その関心の高さがうかがわれた。光 OFDM 信号の生成方法には、大きく 2つの方法がある。1つは、無線通信方式と同様に、逆フーリエ変換(IFFT)等のデジタル信号処理により、デジタル的に OFDM 信号生成を行う方法であり、もう一方は、並列型の光変調器を用いて発生させたサブキャリア信号をアナログ的に合波して OFDM 信号生成する方法であり、後者はコヒーレント WDM と呼ばれる。KDDI 研究所の著者らのグループは、前者の方法により発生させた 50.5Gbit/s 偏波多重光 OFDM 信号を 9GHz 間隔で波長多重して、分散補償ファイバを一切用いずに 640km の標準シングルモードファイバ伝送が可能であることを示した (Th.3.E.4)。本実験では、各サブキャリアを 16QAM 変調して信号帯域の低減をはかり、高速信号を用いた WDM 伝送実験で最高となる 5.6bit/s/Hz の周波数利用効率が達成されている。一方、NTT のグループは、後者の方法で生成した 2 サブキャリア光 OFDM による、大容量伝送実験を報告した (Th.3.E.1)。本報告では、サブキャリアを分離するための波長インターバと 2 台の QPSK 変調器を内蔵した集積型の光変調器を用いて、100Gbit/s 光 OFDM 信号を生成している。また、受信器ではデジタル・コヒーレント受信の後、フーリエ変換(FFT)を用いて周波数領域での分散補償を行っている。伝送路では、EDFA/ラマン・ハイブリッド増幅に高次ラマン増幅も導入して一層の低雑音化を進め、総伝送容量 13.4Tbit/s の伝送実験で 3600km 以上の長距離伝送に成功している。

### 3. 長距離・大容量伝送実験

前述した最高周波数利用効率伝送実験、100Gbit/s 最長伝送距離伝送実験の他にも、デジタル・コヒーレント受信を用いて、従来の長距離・大容量伝送の記録を更新する発表があった。NEC アメリカ、AT&T のグループからは、半年前の OFC/NFOEC2008 での報告に引き続き、偏波多重 RZ-8PSK を用いた 100Gbit/s 伝送実験の報告があった (Th.3.E.3)。今回の報告では、前回報告された周波数利用効率が 4.2bi/s/Hz の高周波数利用効率実験を拡張し、32nm (4 THz) 程度の C バンドをフルに使用して、総伝送容量 17Tbit/s の 660km 伝送実験を行った。得られた伝送容量は C バンドのみを用いた伝送実験で最高となっている。また、Alcatel-Lucent のグループからは、大洋横断ケーブル向けの 40Gbit/s の長距離伝送の報告があった (Th.3.E.3)。本報告では、大洋横断距離の超長距離伝送のための変調方式として多値化しない BPSK (Binary Phase Shift Keying) を用い、偏波多重を併用することでシンボル速度を 21.5GSymbol/s に低減

している。受信側では、デジタル・コヒーレント受信により、偏波分離および分散補償を行っている。受信側のみでの分散補償を行うことにより、単一種類の低損失・低非線形光ファイバだけで伝送路を構成することが可能となり、信号伝送中の非線形光学効果の影響の低減を図っている。これらの技術を用いることにより、81チャンネルの40Gbit/s信号を50GHz間隔で多重し、0.8bit/s/Hzの周波数利用効率で11520kmの長距離伝送が達成されている。本論文では、長距離伝送の特性指標として周波数利用効率と伝送距離の積を用いることを提案しており、得られた結果は、従来の周波数利用効率・距離積を40%程度増加するものであると主張している。

#### 4. おわりに

今回のECOCでは、デジタル・コヒーレント受信に代表されるデジタル信号処理をベースとした技術が研究の主流となっていることを再認識した。これらの技術の今後の進展について注目したい。次回のECOC2009は、2009年9月20日～24日にオーストリアのウィーンで開催される予定である。