

**ECOC 2010 ショート速報 [基幹伝送]**

森田逸郎 (KDDI 研究所)

会議名 : 36<sup>th</sup> European Conference and Exhibition on Optical Communications (ECOC)

開催期間 : 2010 年 9 月 18 日 - 23 日

開催場所 : Lingotto Congress and Exhibition Centre (トリノ、イタリア)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

第 36 回となる ECOC がイタリアのトリノで開催された。基幹系伝送システムを対象とした超高速・大容量伝送技術関連については、最近では一般化したデジタル・コヒーレント受信技術をベースとした伝送システムの高性能化の検討が数多く報告され、100G システム、および、その次の超 100G システムに向けて活発に議論された。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

第 36 回の ECOC は、2010 年 9 月 19 日から 23 日にイタリアのトリノで開催された。今年の参加者数は 1111 名であり、昨年をやや上回った。国別の参加者は、日本 (200 名)、米国 (172 名)、ドイツ (135 名)、イタリア (105 名)、イギリス (75 名) と続いており、日本からの参加者の割合が高い。一般論文は、口頭発表 245 件、ポスター発表 131 件であり (ポスター発表を含めた採択率 : 51%)、その内、日本の研究機関からの論文数は、それぞれ、67 件、21 件となっている。ポストデッドライン論文についても、採択論文 18 件 (採択率 : 27%) の内 7 件が日本からの論文であり、本会議における日本の貢献度の高さがうかがえる。

本報告では、主に基幹系伝送システムを対象とした超高速・大容量伝送技術に関連する発表の概要を紹介する。

## 2. 技術動向

## 2. 1 デジタル・コヒーレント受信技術

デジタル・コヒーレント受信方式の一般化と共に、各種アルゴリズムを用いた伝送制限要因の補償技術について盛んに検討されている。Tyco (TE SubCom) は、OFC2010 で発表した MAP (Maximum a posteriori probability) アルゴリズムを用いて帯域制限による信号品質劣化を抑圧する方式の詳細について招待講演で発表した。本手法は、帯域制限による信号劣化にはパターン依存性があることを利用するものであり、50% の帯域制限を行った場合、OSNR が大きい条件ではシャノン限界のほぼ 2 倍の周波数利用効率が得られると説明した。そのため、QPSK を用いても 16QAM と同等の周波数利用効率が得られることになり、その優劣は、多値度の向上による送信系の複雑さの向上度と、MAP アルゴリズムの導入による受信機での DSP の複雑さの向上度の比較により決まると述べた。ポストデッドライン論文でも、本方式を用いた 100Gbit/s 信号の太平洋横断距離の伝送実験が報告されており、長距離伝送における周波数利用効率向上方式として、本方式の今後の進展が注目される。

また、デジタル・コヒーレント受信については、これまでリアルタイムオシロスコープを用いたオフライ

ン処理での評価がほとんどであったが、FPGA を用いた評価も行われ始めている。NEC は、100G フィールド試験で用いた FPGA ベースのリアルタイム 112Gbit/s 偏波多重 QPSK トランスポンダの詳細を報告した。一方、富士通は、FPGA ベースの 112Gbit/s 偏波多重 QPSK レシーバを用いて、PMD と PDL の両方があがる場合の信号特性への影響を評価し、PMD と PDL の平均値が、それぞれ 31.2ps、1.3dB の場合でも、安定な信号受信が可能であることを示した。

## 2. 2 長距離伝送技術

久しぶりに海底ケーブルシステム関連のセッションが復活し、デジタル・コヒーレント受信技術を用いた 100Gbit/s 信号の大洋横断級の長距離伝送が報告された。Politecnico di Torino のグループは、100Gbit/s の偏波多重 QPSK ベースのスーパーチャネル伝送において、サブキャリア信号を狭帯域な光フィルタにより帯域制限した後に、シンボル速度と同程度の周波数間隔で多重した 8000km 以上の伝送実験を報告した。サブキャリア間の周波数間隔は OFDM の条件と近いが、シンボル速度と完全に一致させる必要はなく、サブキャリアの周波数スペクトルが完全にはオーバーラップしないのが OFDM との差異となる。同グループは本方式を“Nyquist WDM”と呼んでおり、ポストデッドライン論文として発表された TE Subcom の 100Gbit/s 長距離伝送実験も同様のスキームと主張している。本報告では、サブキャリア間の周波数間隔を 1 倍から 1.1 倍に拡大することにより特性改善が得られている。その定義の詳細は不明であるが、数年前に 40Gbit/s 信号の高密度伝送の検討が集中的に行われた際に、40Gbit/s の強度変調信号や差動位相変調 (DPSK) 信号 (シンボル速度: 40GBaud) を波長インターリーブ等により帯域制限し、50GHz 間隔で波長多重する検討が行われていたのも同様のスキームと呼べるかもしれない。Politecnico di Torino の実験では、伝送路として、EDFA と後方励起ラマン増幅のハイブリッド増幅を用いているが、アルカテルルーセントは、EDFA 増幅のみを用いた 100Gbit/s 偏波多重 QPSK 信号の 9000km 伝送を報告した。本実験では、伝送路として実効断面積拡大ファイバを用い、中継器間隔を 50km まで縮小することで、EDFA 中継による 100Gbit/s 信号の 9,000km 伝送を実現している。しかし、TE Subcom のポストデッドライン論文で得られている周波数利用効率が 3.6bit/s/Hz であるのに対し、本報告では 2bit/s/Hz にとどまっている。

## 2. 3 超 100G 伝送技術

高速伝送に関連して、“Techno-Economic Aspects and Scenario for Deployment of 100 Gb/s Coherent Systems”と“Towards 1000 Gbps”と題した 2 つのシンポジウムが設けられた。これらのシンポジウムでは、100G の次の 400G/1T を視野に入れた議論も行われたが、現状の 100G システムの適用範囲は限定されており、まだまだ 100G 伝送技術についても検討すべき課題は多いとの意見もあった。

レギュラーセッションでは、100G システム用に一般的に検討されている偏波多重 QPSK から、偏波多重 16QAM へと多値度を向上することで 200Gbit/s 級への高速化を図った報告が複数あった。NTT は、サンプリング速度を 24GSample/s まで高速化したデジタル/アナログ変換器 (DAC) を用いて 171Gbit/s の偏波多重 16QAM 信号を生成し、6.4bit/s/Hz の周波数利用効率で 1440km 伝送を行った。Eindhoven 大学のグループは、パルスパターン発生器から出力されるバイナリ信号出力を分岐し、減衰器でレベル調整を行った 28Gbaud の 4 レベル信号で IQ 変調器を駆動して 224Gbit/s の偏波多重 RZ-QAM 信号を生成し、その 1,500km 伝送を報告した。HHI は、28GSample/s の高速 DAC と FPGA を用いた 224Gbit/s 偏波多重 16QAM のリアルタイム信号生成について報告した。この送信機を用いた伝送実験を行い、8WDM 伝送での 480km

伝送を実施した。一方、光時分割多重 (OTDM) を用いた超高速光伝送技術も進展している。東北大学は、単一偏波 DQPSK 信号による単一チャンネル 1.28Tbit/s、525km 伝送を報告した。時間領域での高速光フーリエ変換を用いることにより、信号特性の改善が得られている。Chalmers 大学は、OTDM 伝送では初となる、QPSK よりも多値度が高い変調信号を用いた伝送実験を報告した。シンボル速度が 160GBaud の偏波多重差動 8PSK 信号を用い、単一チャンネル 870Gbit/s 信号の 110km 伝送を行った。

### 3. ポストデッドライン論文

ポストデッドラインセッションは 3 セッションが並行して行われたが、その中のセッション 2 で基幹系システムをターゲットとした超高速・大容量伝送関連の 6 件がまとめて発表された。

Tyco (TE SubCom) は、OFC2010 のポストデッドライン論文で発表した MAP アルゴリズムを用いて QPSK 信号を大きく帯域制限した際の信号劣化を抑圧する方式を用いると共に、チャンネル間隔をシンボル速度と一致させることで、太平洋横断距離伝送において 3.6bit/s/Hz の周波数利用効率を達成した実験を報告した。本実験では、太平洋横断距離伝送における最高周波数利用効率を更新すると共に、周波数利用効率・距離積の記録も更新し、33000km・bit/s/Hz が得られている。

アルカテルルーセントのベル研のグループは、80GSample/s のサンプリング速度と 32.5GHz の帯域を有するリアルタイムオシロスコープのプロトタイプを用いた 2 件の高速伝送実験を報告した。単一キャリアの 16QAM 信号を用いた伝送実験では、シンボル速度を 56Gbaud まで向上して 400Gbit/s 信号伝送を行った。一方、マルチトーン (10 トーン) を用いたスーパーチャンネル伝送では、32QAM でサブキャリア変調した OFDM で各トーンを変調することにより、606Gbit/s 信号を生成し、単一のデジタル・コヒーレント受信機により一括受信した。このプロトタイプが使用できる期間は 3 日間しかなく、2 つの実験に 1.5 日ずつ割り当てて実験したそうである。

東北大学は、多値度をさらに向上し、偏波多重 512QAM 信号の 150km 伝送実験を報告した。54Gbit/s 信号をわずか 4.1GHz の帯域で伝送している。多値度の向上に伴う所要光信号対雑音比向上の対策として、伝送路としては、オールラマン増幅した実効断面積拡大ファイバを用いている。

NTT は、100G システム用に一般的に検討されている 28Gbaud の偏波多重 QPSK から、シンボル速度を 10.3Gbaud に低減すると共に、多値度を 64QAM へ向上した 100Gbit/s 伝送実験を報告した。多値度を 64QAM へと向上することにより、チャンネル速度が 100Gbit/s 以上の高速 WDM 伝送では最高となる 9.0bit/s/Hz 周波数利用効率を達成している。

KDDI 研は、直接受信光 OFDM 伝送の伝送速度を 200Gbit/s 級へ高速化した実験を報告した。周波数軸上で光 OFDM 信号の両側に光搬送波を挿入して伝送することで、受信機に光ハイブリッドやローカル光を必要としない直接受信方式での 200Gbit/s 級伝送に成功している。

### 4. おわりに

今回の ECOC の基幹伝送システム関連では、驚くような新規技術の発表は見られなかったが、100G システムや、その次の超 100G システムに向けた検討は着実に進んでいる。特に、100G 信号の長距離伝送に関しては、複数の太平洋横断級伝送実験が報告されており、大きく進展した印象を受けた。今後もデジタル・コヒーレント受信技術をベースとした更なる高性能化は継続すると考えられ、その動向が注目される。次回の ECOC2011 は、2011 年 9 月 18~22 日にスイスのジュネーブで開催される。