

**ECOC2009 ショート速報[基幹伝送]**

谷村 崇仁 (富士通研究所)

会議名 : 35th European Conference and Exhibition on Optical Communication

開催期間 : 2009年9月20日-24日

開催場所 : Austria Center Vienna (Vienna, オーストリア)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*  
9月にオーストリア・ウィーンで開催された ECOC2009 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。昨年に引き続き、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た。なかでも、光伝送に特有のファイバ非線型性の克服、高速信号処理のリアルタイム実装技術などが注目を集めていた。またポストデッドライン論文で 200Gb/s 級の報告があり、100Gb/s を超える伝送技術への挑戦が始まっていることが感じられた。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

9月20日から24日にかけて、第35回目となる ECOC (European Conference on Optical Communication) がオーストリアのウィーンで開催された。発表された参加者数は 1031 人で、投稿論文数は一般論文で 716 件 (口頭発表採択率 32%、ポスター発表採択率 20%)、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 67 件 (採択率 33%) であった。世界同時リセッションの影響か、昨年に比べ参加者数・論文投稿数とも 1-2 割の減少に見舞われたようである。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. Coherent evolution

今回の Plenary Speaker の一人である Andrew Chraplyvy によれば、デジタル信号処理をもちいたコヒーレント受信は 40/100Gb/s 以上の基幹伝送におけるキーテクノロジーであるという。その言葉通り、ここ数年の潮流を引き継いだ今回の ECOC もデジタルコヒーレント技術に関する発表が相次いだ。ただ基本的な 40G/100Gb/s 伝送を実現する技術については、だいぶ成熟が進んだとの感触である。研究トピックスとしては、実用化のための詳細技術の研究、より光伝送に適したデジタル信号処理方式などの研究、多値変調・マルチキャリア伝送などの先を見据えた研究などへ分化した印象がある。いずれにせよデジタルコヒーレント技術の流れは、次回 ECOC へも引き継がれると思われる。

## 3. デジタル信号処理技術のリアルタイム実装

今回の ECOC では、"Real-time Coherent Receivers"のセッションのほかに、"Real-time Digital Signal Processing for Optical Transceivers"と題して2つのシンポジウムが開催された。またワークショップとして、"DSP&FEC: Towards the Shannon Limit"がおこなわれた。どれも通路にあふれるほどの聴衆が集まり、

熱気に包まれていた。シンポジウムでは Nortel の Kim Roberts 氏の講演(4.4.1)を皮切りに、次々と発表が行われた。デジタル信号処理を ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 化する前段階として、FPGA (Field Programmable Gate Array) へ実装し、デジタル信号処理の動作をリアルタイムで確認する試みが注目を集めていた(4.4.3 Avalon, 5.4.1 三菱電機, 5.4.2 Cambridge/London 大, 5.4.3 Paderborn 大, 5.4.4 Alcatel-Lucent, 6.6.2 Erlangen 大)。このセッションはさながら電気系の学会に迷い込んだようで、光伝送技術が新しい局面に入ったことを実感させるものであった。またワークショップ(WS1: DSP&FEC: Towards the Shannon Limit)では、軟判定 FEC の実装 (三菱電機)、56GSa/s ADC の実現 (FME)、ASIC 実現のための各種課題の報告 (富士通) などの講演がなされ、実用化への意識が強く感じられた。

ポストデットラインセッションでは、2件のリアルタイム実装関連論文が発表された (PD2.1 Bell Lab, PD2.4 London 大)。伝送関連の8件のポストデットライン論文の中の2件ということで、注目度の高さがうかがえる。両者とも OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 送信機に必要なデジタル信号処理を FPGA に実装し、伝送を確認したものである。

#### 4. デジタルコヒーレント技術・実用へ向けて

デジタルコヒーレント技術の実システムへの適用を見据え、詳細な検討に関する報告がおこなわれていた。デジタルコヒーレント受信では波長分散・偏波モード分散耐力が飛躍的に向上したため、それにあわせ波形歪に強いクロック再生が必要になってきている。これについて、Nokia (7.3.4), VPI (7.3.5) から報告がなされた。また、コヒーレント光フロントエンドのスキューによるペナルティの低減(7.3.2 富士通)、QAM 信号の等化復調特性上昇 (7.3.3 Paderborn 大)、デジタル信号処理実装時の回路規模に関する検討 (7.3.6 Nokia) などが報告された。

また”WS5: 100Gb/s-How, Where, When?”では、100G を実用システムに適用する際の課題が、さまざまな視点から議論された。Nokia からの”Long-haul 100G transmission: the system vendor challenge”と題された講演の中では、特に標準化を核とした”100G Ecosystem”の構築が重要とうたわれた。また同ワークショップ(WS5)では”100G in Data-center Interconnects: When, Where?”と題して Google からも講演があり、アプリケーションに近い層からの需要と要求が示された。

#### 5. ファイバ非線型性の打開

40/100Gb/s 長距離伝送における波長分散・偏波モード分散耐力は、デジタルコヒーレント技術により飛躍的に上昇することが知られている。OFC/NFOEC 2009 から、このような線形波形歪の補償に加え、伝送ファイバの非線形性による歪をデジタル信号処理を用いて等化する技術に注目が集まっている。今回の Andrew Chraplyvy 氏による基調講演でも、無線とは異なる光ファイバの特性として非線型性がフォーカスされていた。これら非線型補償について、London 大からデジタル非線型補償信号処理を 42.7/85.4Gb/s DP-QPSK 信号に適用し伝送距離の延伸に成功した実験が報告されている (9.4.4)。富士通からは、OFC/NFOEC 2009 で報告された 112Gb/s DP-QPSK 信号に対するデジタル非線型補償信号処理の実験を発展させた、非線型補償をおこなう場合の最適システムについての検討が発表された (9.4.5)。NTT からは、非線型補償を NGI-OFDM 信号に適用し伝送距離延長に成功したとの報告があった (9.4.6)。また北京大学から、Volterra フィルタを利用した非線型補償を実証したとの報告があった (9.4.7)。

## 6. 光サンプリングとの融合

東京大学から、デジタルコヒーレント技術と光 OTDM を組み合わせることで 640Gb/s の DP-QPSK 信号を 1,073km 伝送させることに成功したとの報告があった(PD2.8)。また同様に、パルス局発光と 90 度ハイブリッドおよびデジタル信号処理をもちいることで、WDM 信号の同時測定を可能にしたとの報告があった(PD2.3 NTT)。

## 7. 100G を超えて

100Gb/s 越を見据え、周波数利用効率(SE)向上のための多値変調技術が研究されている。従来の QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)、8PSK は影を潜め、16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)以上の報告が主流である (8.4.2 Bell Lab, 8.4.4 HHI, 8.4.6 東大, 10.3.5 AT&T)。

またポストデットラインセッションにて、NTT から DP-64QAM を用いた 240Gb/s 信号の送受信 (PD2.2)、Bell Lab から DP-QPSK を用いた 224Gb/s 信号の 2,500km 伝送 (PD2.7) が報告された。これらは光 OTDM (PD2.8 東大)などの光信号処理を用いずに初めて 100Gb/s 級のラインレートを超えたもので、基幹伝送研究の新たな可能性を感じさせるものである。ただ、基調講演やワークショップなどで指摘されているように、レーザー線幅、ADC のサンプリングレート・ENOB、受信感度、非線型耐力など、100Gb/s を超え 400Gb/s 級に至るまでの道には、まだ多くの解決されるべき課題が残されている。

## 8. 伝送容量距離積および周波数利用効率距離積記録

Bell Lab からポストデットラインセッションにて 2 つの新しい世界記録が報告された。ひとつは 155 波の 100Gb/s DP-QPSK 信号を 7,200km 伝送させ、伝送容量距離積の世界記録を 112Petabit/s.km へ塗り替えた論文 (PD2.5) である。もうひとつは、1.2Tb/s の No-Guard-Interval-OFDM 信号を 7,200km 伝送させ、周波数利用効率距離積の記録を 27,000km.b/s/Hz に塗り替えた (PD2.6) ものである。なお両報告とも、伝送路に実効断面積の大きなファイバを用いることで、非線型効果を抑制している。

## 9. おわりに

今回の ECOC では、デジタルコヒーレント技術を基盤とした 40/100Gb/s 伝送が、引き続き研究の主流となっていることを再認識した。ここ数年の ECOC では、各研究機関がデジタルコヒーレント技術・多値変調・OFDM などの技術を動員し、伝送容量・伝送距離・周波数利用効率などの世界新記録を次々と発表することが恒例となっていたが、今回の ECOC ではいわゆる”Hero Experiment”の発表が Bell Lab からの 2 件にとどまり、デジタルコヒーレント技術の内部でトピックスの細分化が始まっているとの印象も受けた。一方でラインレートが 100G を越える報告もあり、次段階への模索が始まっていることも感じられた。次回の ECOC でどのような展開を見せるのか、これらの技術の今後の進展に注目したい。なお次回の ECOC2010 は、2010 年 9 月 19 日～23 日にイタリアのトリノで開催される予定である。