

高分解周波数軸上の振幅／位相解析によるテラビット信号再生技術の研究開発（092104001）

Development of Terabit-signal Synthesizing and Analyzing Based on Electric Field Analysis on High-resolution optical frequency axis

研究代表者

塩田 達俊 長岡技術科学大学工学部電気系
Tatsutoshi Shioda Nagaoka University of Technology

研究分担者

なし

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

テラビット任意光波形をシングルショットで観測できるシステムを開発する。初年度は、200MHz 程度の低速応答デバイスで振幅・位相スペクトル計測の実証試験を行い基本技術の確立をはかる。さらに、振幅・位相計測技術を応用し 2 年目までに光パケットを構成する 10G ビット信号の観測する手法を確立し、3 年目に集積デバイスを試作・評価して実用性を検討する。最終的には、640Gbps（原理的には 1THz 以上）の高速光信号を再生する。

Abstract

Optical system has been developed for measuring arbitral optical waveform of Terabit signals by single-shot measurement. In the first year, the basic system of the measurement system has been established by measuring the amplitude and phase spectra with low-cost optical devices of the rate of 200 MHz. Furthermore, the technology was applied to 10 Gbit/s signals detection by the second-year. The operation principle has been confirmed with newly developed integrated optical circuit as color-less optical synthesizer. After all, ultra-fast optical signals of 640 Gbps have been generated.

1. まえがき

近年の光情報通信分野における伝送の大容量化に応じた高速な光信号伝送技術を実現するために、時間 - 周波数変換を利用して周波数軸上で振幅/位相スペクトルを計測して実時間波形を制御することで高速に光信号を送送す技術が有効であると考えられる。そこで、2 波長同時ヘテロダイン検波法を提案して位相スペクトルの計測を実証した。具体的には、検出回路の応答速度に捉われない波形観測を実現するために、中間までに遮断周波数 200 MHz の光受信器による 500 GHz に匹敵する光信号波形の観測を実証した。この時は参照光を強度変調信号としたが、光周波数コムのような広帯域の信号を利用し、検出側にアレイ導波路格子 (AWG) を導入して、並列処理を可能にする多波長同時ヘテロダイン検波法を新たに構築して、より高速な光波形計測が可能とした。AWG と光振幅・位相変調器が光導波路基板に集積された光シンセサイザの構築と、光周波数コムによる並列電界計測により、2Tbps 信号を制御した。

2. 研究内容及び成果

提案手法による波形計測において、光シンセサイザを導入して複数の異なるパケット信号を 2 Tbps 4 bit のデジタル信号波形にて任意に切り替えて生成できることを示した。

図 1 に実験系を示す。信号光には DFB レーザーの出力を種光源として、25 GHz の RF 信号で駆動した光コム発生器 (OFCG) に入射して、25 GHz 間隔の光周波数コムを得た。さらに、AWG1 (FSR 400 GHz) の周期性を利用して、400 GHz 間隔の光コムを抽出した。これを光シンセサイザに入力して、強度・位相をそれぞれ変調した。ここで、光シンセサイザ内部の AWG2 は FSR 375 GHz、チャンネル間隔 25 GHz で

あり、400 GHz の光コムの各モードはそれぞれ別のチャンネルに展開され、モード毎に独立した強度・位相変調が可能となる。強度変調の深さは、強度スペクトルをスペクトラムアナライザで観測しながら設定した。一方、位相変調の深さは、25 GHz 間隔の光コムを参照光として、多波長同時ヘテロダイン検波法の出力をモニターしながら設定した。ここで、信号の種光源と 200 MHz だけ周波数の異なるレーザー光を光源とした参照光を信号光と合波し、AWG3 により隣接 2 モードを抽出して提案手法に適用した。提案手法では、合波した信号光と参照光を PD に入射して、ヘテロダイン検波し、ビート信号を発生した。その後、発生したビート信号を 200 MHz のローパスフィルタに通し、不要な信号を除去した後に乗算して、生じる信号の DC 成分を観測することで実験的に実現される。光の振幅・位相スペクトルは、4 bit 信号の矩形波を計算器上でフーリエ変換することにより得られる振幅・位相スペクトルとなる様に、光シンセサイザを制御することで調整した。各モードの振幅・位相スペクトルのモニターは、それぞれスペクトラムアナライザと二波長同時ヘテロダイン検波法により行った。今回の実験において波形の生成・計測は 4 種類の 4 bit デジタル信号波形 “1000”、“1100”、“1010”、“1110” を用いて実証した。

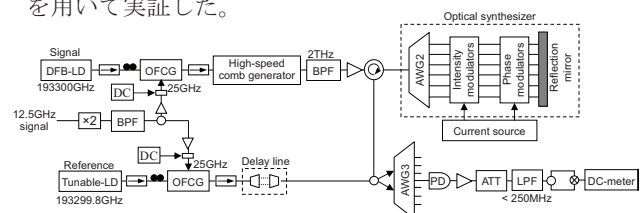


図 1. 光シンセサイザによる高速波形の制御と提案した計測システム。

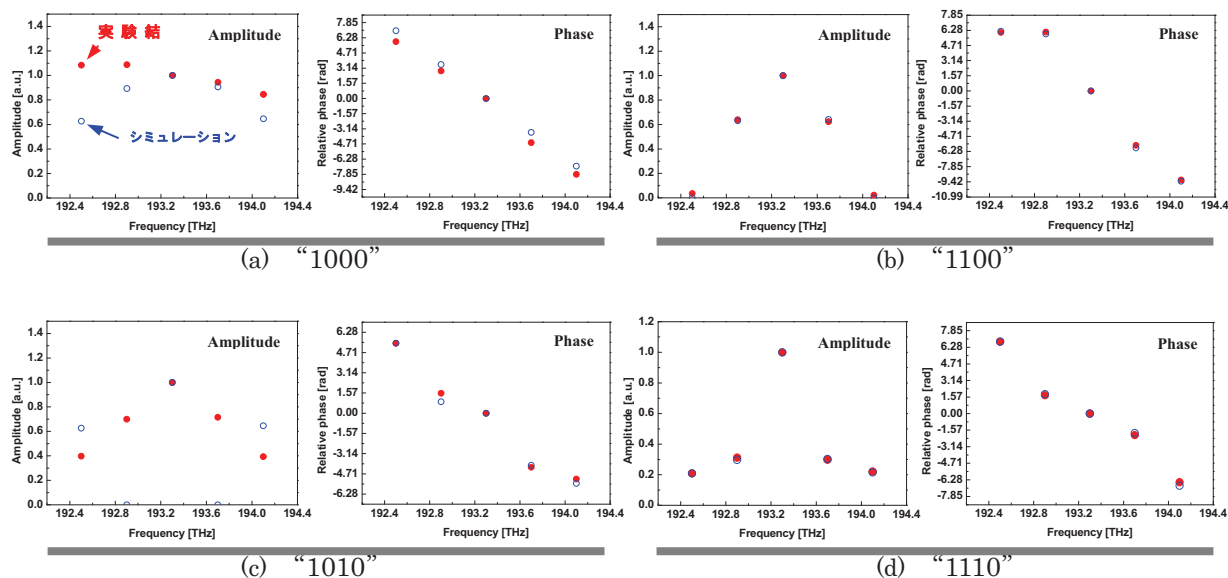


図2. 2Tbit/sの波形を、(a) “1000”、(b) “1100”、(c) “1010”、(d) “1110” と切り替えて測定した振幅・位相スペクトル。

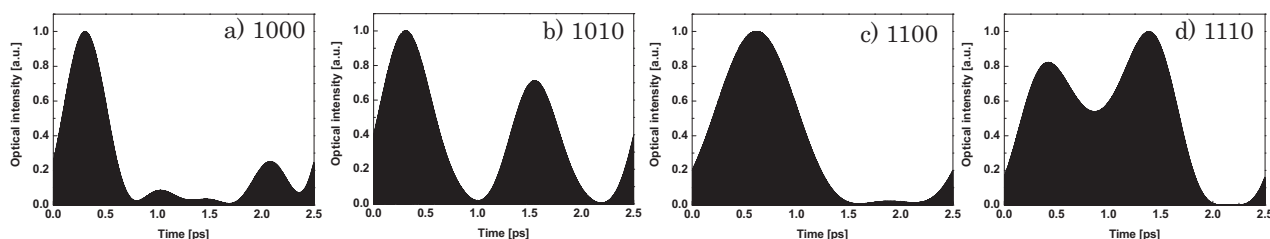


図3. (a) “1000”、(b) “1100”、(c) “1010”、(d) “1110” と切り替えて測定した2Tbit/sの波形。

光シンセサイザにより、調整した振幅・位相スペクトルを計測した結果およびフーリエ変換により計算上で導いたスペクトルを図2 (a)から(d)に示す。それぞれ、“1000”、“1100”、“1010”、“1110”の波形を測定した結果である。振幅スペクトルの一部に見られる計測と計算のずれは、光周波数コムの特長をそのまま利用したことが原因である。今後は光シンセサイザに内蔵された振幅変調器を精度よく駆動することで、容易に改善することが可能である。また、位相スペクトルの誤差は5%程度であった。これは、二波長同時ヘテロダイン検波法の受信器の分岐信号炉の安定化と、振幅情報の同時計測による光周波数コム光源が有する微小な振幅揺らぎの影響の除去により計測精度が飛躍的に向上することが期待される。また、図2の振幅・位相スペクトルを用いて、式(4)により、時間領域で合成した波形を図3に示す。図3の通り、4種類のパケットパターンの2 Tbps 4 bit 波形が観測され、提案手法による2 Tbps 4 bit 光信号波形の生成と計測を実証した。

3. むすび

並列処理を可能にする多波長同時ヘテロダイン検波法を構築して、テラビット高速信号波形制御法を実現した。

【誌上発表リスト】

- [1]Tatsutoshi Shioda and Toshiaki Yamazaki, “Ultrafast Optical Frequency Comb Synthesizer and Analyzer,” Opt. Lett., 37 (17) pp. 3642-3644 (2012.8.28).
- [2]Toshiaki Yamazaki, Mitsuru Kuzuwata, and Tatsutoshi Shioda, "Spectral Waveform Measurement of 2 THz Optical Frequency Comb by Dual

Heterodyne Mixing Method," J. Opt. Soc. Am. B 29, (7), pp.1707-1711 (2012.6.20).

- [3]Tatsutoshi Shioda, and Toshiaki Yamazaki, “Proposal of Dual-Heterodyne-Mixing Method and Application to High-speed Waveform Measurement Using Low-speed Equipments,” Opt. Commun., 28 pp.4733-4740 (2010.8.18).

【申請特許リスト】

- [1]塩田達俊、変調装置、日本、2010年4月1日。
- [2]塩田達俊、情報読み出し装置、米国、欧州、韓国、日本、2010年3月31日。
- [3]塩田達俊、相対位相検出器及び相対位相検出方法、米国、欧州、韓国、日本、2010年3月29日。

【受賞リスト】

- [1] 塩田達俊、コニカミノルタ画像科学奨励賞、(X-Z 軸)断層画像デジタルカメラ&ムービーの実現へ向けた新規光学システムの開発と基礎検討”、2011年3月7日。
- [2] 塩田達俊、インテリジェント・コスモス奨励賞、“二波長同時ヘテロダイン検波法の開発”、2010年5月17日。
- [3] 塩田達俊、日本液晶学会学会奨励賞、“Orientation of Liquid Crystal Molecules Evaporated onto Rubbed and Photoaligned Polymer Surfaces”、2006年9月14日。

【報道発表リスト】

- [1] “低コスト高速通信考案 - 高周波信号の処理に新装置 - 既存機器の利用可能／3D 動画伝送に応用も”、読売新聞&Yomiuri Online、2010年6月30日。

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://optel.nagaokaut.ac.jp>