

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656090

研究課題名（和文） 光通信への応用を目的とした超広帯域光電界測定装置に関する研究

研究課題名（英文） Study on Ultra-wideband Measurements of Optical Electric Fields for Optical Fiber Communications

研究代表者

菊池 和朗 (KIKUCHI KAZURO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：50134458

研究成果の概要（和文）：

単一波長の 10Gsymbol/s QPSK 変調信号について、帯域を分割してスペクトルデータを取得し、これを合成する手法の原理検証を行った。帯域を 2 分割し、位相ダイバーシティ・ホモダイン光回路および同期した 2 周波数の LO を用いて、各帯域の複素振幅の時間波形を並列に取得する。次に、これらの時間波形をフーリエ変換することにより、全帯域の複素振幅のスペクトルを周波数軸上で接続する。これをフーリエ逆変換することにより、QPSK 信号の時間波形を再構築することに成功した。帯域を分割する時のフィルタのスロープ特性によっては、再生された信号波形が劣化する。このような帯域分割フィルタの不完全性がある場合でも、信号等化回路により、波形の劣化を補償できることが示された。

研究成果の概要（英文）：

We have studied the method for measuring the optical electric field of single-channel 10-Gsymbol/s QPSK signals, where we first obtain spectral amplitudes and phases by separating the signal bandwidth and then reconstruct them in the time domain.

We measure signal complex amplitudes within the separated bandwidths in parallel using two phase-diversity homodyne receivers, where two LOs are phase-locked. Next, these temporal waveforms are converted into the frequency domain, where two spectral waveforms are continuously connected. Then, such signal is successfully converted into the time domain and the QPSK signal is reconstructed. Waveform distortion of the reconstructed signal is generated from insufficient filtering characteristics, but can be compensated for by using signal equalization techniques.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	0	2,200,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	300,000	3,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測機器

1. 研究開始当初の背景

これまで光ファイバ通信システムでは、光強度のみが変調パラメータとして利用されてきた。しかしごく最近になって、光位相を用いる光位相変調 (PSK) 方式の実用化が進展しつつある。一方、波長多重光伝送システムの高密度化が進められ、25GHz の周波数間隔が標準化されている。このような超高密度波長多重システムでは、各チャンネルはもはや独立ではなく、隣接チャンネル間の非線形相互作用が無視できない。さらに超高速伝送技術も順調に進展しており、一波長あたりのビットレート 40Gbit/s がすでに実用化され、100Gbit/s も研究段階にある。

このような状況下で、高性能化する光伝送システムの評価を行うために、100GHz 帯域の光電界を計測する装置を開発することが喫緊の課題となってきた。本研究では、申請者が研究を行ってきたデジタルコヒーレント光受信器の機能を大幅に拡大し、超広帯域光電界幅測定装置を開発することを目指す。

2. 研究の目的

現在実用化されている光ファイバ通信システムでは、光強度のみが変調パラメータとして利用されているにすぎない。しかし最近、光ファイバ通信システムの究極的な性能限界を追求するために、情報を搬送する光電界の持つ振幅および位相情報を駆使する技術の開発が進みつつある。本研究課題では、申請者がこれまで研究を行ってきたデジタルコヒーレント光受信器の機能を大幅に拡大し、100GHz 帯域の光電界を測定する装置を開発する。これを用いて、高密度波長多重信号および単一波長超高速変調信号の光電界

を解析し、位相情報を活用した新しい光伝送システムを設計するための基本データを取得することを目指す。

3. 研究の方法

周波数領域で信号を並列化する場合、信号を複数のサブバンドに分割して並列処理することが有効である。図 1 に信号をサブバンド分割する過程を示している。サブバンド分割を行うために、L0 光に複数の光周波数コムを用いる。並列展開数を m とし、信号帯域を W とおくと、L0 コムの周波数間隔は W/m となる。各光周波数コムをそれぞれ連続 (CW) 光の L0 光であるとみなし、デジタルコヒーレント受信器に入力することで、帯域 W/m の各サブバンドの複素振幅を測定できる。そして、信号の全帯域と重畳するように、 m 台のデジタルコヒーレント受信器を並列に設置する。各サブバンドが持つナイキストサンプリング周波数は元の信号のそれよりも低くなるため、低速の電子回路を用いて処理することができる。これにより、測定帯域を 100GHz 以上に拡大することが可能と思われる。

図 2 に、信号のサブバンドを並列受信するデジタルコヒーレント受信器の構成を示す。まず、信号が分岐されて各位相ダイバーシティ受信器に入力される。次に、位相同期した光周波数コムが生成され、各位相ダイバーシティ受信器に入力される。電気領域にダウンコンバートされた信号は低域通過フィルタ (LPF) によりサブバンドに帯域分割される。その後、各サブバンドは AD 変換されて DSP で処理される。DSP では、各サブバンドにフーリエ変換を施して周波数領域で合成する。最後に、逆フーリエ変換により元の信号を時

間領域で復元する。電気サンプリングの際のエリアシングを回避するために、サブバンド分割用のLPFは矩形である方が望ましい。ところが、アナログフィルタはスカート特性を持っている。このスカート特性により、電気サンプリングの際にエリアシングが起きる。このため、 W/m のバンドパス幅を持つサブバンドに対して、AD変換器のサンプリング周波数は $2W/m$ である必要がある。サブバンドの並列展開数 m はAD変換器の速度に合わせて設定することができ、AD変換器に要求される動作速度は緩和される。

図3にサブバンド分割機能を持つデジタルコヒーレント受信器の原理確認実験に用いた実験系を示す。ここでは、並列化数は2に設定し、10Gsymbol/s PSK信号が2つの5GHzのサブバンドに分割される。サンプリング周波数はDSP内部で10Gsample/sでエミュレートされる。まず、波長1552nmのCW光が分布帰還型(DFB)レーザより生成される。任意波形生成器(AWG)で光IQ変調器を駆動し、10Gsymbol/s PSK信号が生成される。生成した信号は偏波位相ダイバーシティ受信器のLOポートに入力される。なお、信号の受信パワーは可変光減衰器で制御する。一方、信号生成に用いたCW光は分岐され、もう一つの光IQ変調器に入力される。光IQ変調器は2.5GHzのRF CWで駆動され、位相同期した2本の光周波数コムが生成される。この2本の光周波数コムは10GHzのFSRを有するマッハ・ツェンダー干渉計(MZI)で分離される。MZIフィルタの消光比は20dB以上である。出力ポートでは2本のコムの偏波状態を直交させ、偏波ビーム合波器(PBC)で偏波多重し、偏波位相ダイバーシティ受信器の信号ポートに入力する。信号と1本のLOコムのビートは偏波ダイバーシティ受信器の上側のポートから出

力され、もう1本のLOコムとのビートは偏波ダイバーシティ受信器の下側のポートから出力される。すなわち、この場合偏波ダイバーシティ受信器の信号ポート及びLOポートを入れ換えることでこれを2つの位相ダイバーシティ受信器として用いることができる。そして、高周波側のサブバンド及び低周波側のサブバンドは同時にホモダイン検波される。その後、各サブバンドは20Gsample/sの速度でAD変換されて、DSPでオフライン処理される。サンプルされたデータは5GHz幅のナイキストフィルタで帯域制限されて、10Gsample/sでリサンプルされる。DSPでは2つのサブバンドの位相同期を行い、周波数軸上で合成する。そして、17タップのデジタル有限インパルス応答フィルタにより符号間干渉除去を行う。最後にシンボル判定される。

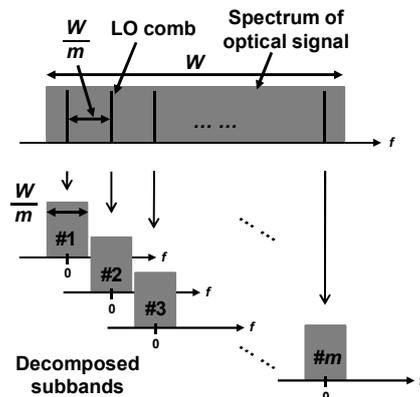


図1 周波数領域における並列処理。

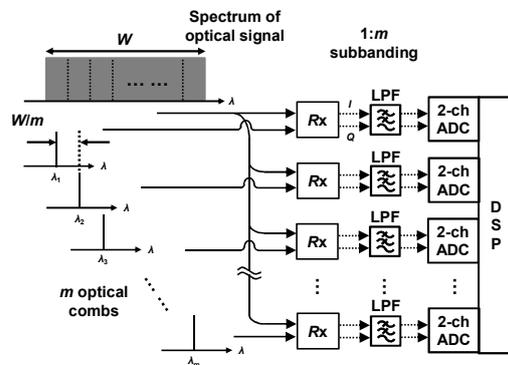


図2 サブバンド分割機能を持つデジタルコヒーレント受信器

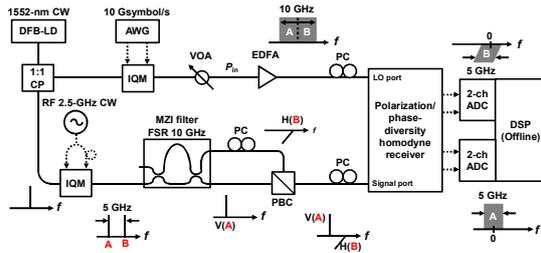


図3 サブバンド分割機能を持つデジタルコヒーレント受信器の原理確認実験。

4. 研究成果

図4に10Gsymbol/s BPSK及びQPSK信号のBER特性を示す。□がBPSK信号で、●がQPSK信号のBERである。ショット雑音限界のBER曲線を破線で示している。BER=10⁻³において、それぞれ6dB及び10dBのパワーペナルティが生じていることがわかる。このパワーペナルティは両サブバンドの位相ずれ及び残留符号間干渉であると考えられる。サブバンドを再構築して得られたBPSK信号及びQPSK信号のコンスタレーションを図5に示す。この時の受信パワーは-20dBmである。図5から各位相状態を明確に区別することができる。

以上のように本研究では、サブバンド分割機能を持つデジタルコヒーレント受信器を提案した。5GHz帯域を持つデジタルコヒーレント受信器を用いて10Gsymbol/s BPSK信号及びQPSK信号の復調に成功した。この受信器の並列化数を増やすことで、100GHz帯域の超高速光信号を復調できる見通しを得た。

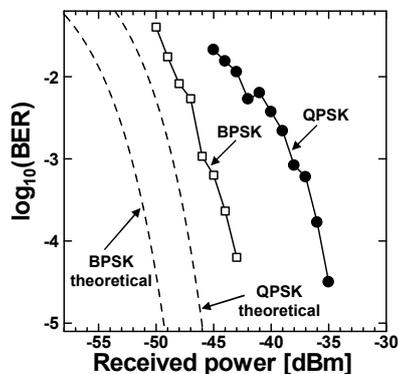
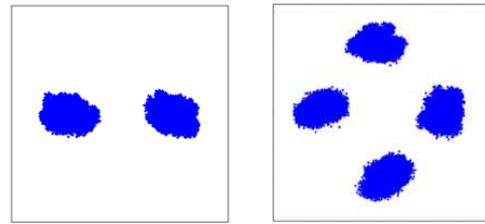


図4 BPSK, QPSK信号のBER特性。



(a) BPSK

(b) QPSK

図5 BPSK信号及びQPSK信号のコンスタレーション。(受信パワー-20dBm)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

- [1] K. Kikuchi, "High-speed digital coherent receiver having time-division demultiplexing function," Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP2010), Shanghai, China, ThA1 (9-12 Dec. 2010).
- [2] C. Zhang, Y. Mori, K. Igarashi, K. Katoh, and K. Kikuchi, "Ultrafast digital coherent receiver based on parallel processing of decomposed frequency subbands," European Conference on Optical Communication (ECOC 2010), Torino, Italy, Th.10.A.5 (19-23 Sept. 2010).
- [3] 張超, 森洋二郎, 五十嵐浩司, 加藤一弘, 菊池和朗, "帯域分割並列処理によるデジタルコヒーレント受信器の超高速化," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-10-76, 大阪府立大学, 2010年9月14日-17日.
- [4] 張超, 森洋二郎, 五十嵐浩司, 加藤一弘, 菊池和朗, "サブバンド分割によるデジタルコヒーレント受信器の超高速化," 電子情報通信学会光通信システム研究会, OCS2010-69, 門司港レトロ・港ハウス, 2010年10月28日-29日.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ginjo.t.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池 和朗 (KIKUCHI KAZURO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号 : 50134458

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし