

● 超高速光 A/D 変換技術

近年100Gbps級の長距離光ファイバ通信においては、デジタル信号処理のフロントエンドに使用されるアナログ・デジタル(A/D)変換器が、ビットレートの高速化によって速度限界に直面しており、このボトルネックを克服できる超高速光A/D変換への期待が高まっている。本報告では、実験で計測した5ビット用8周期のNOLM 伝達関数から数値解析によって、実効ビット数 (ENOB)を8.8ビットに向上できることを示す。

1. はじめに

100Gbps級の長距離光ファイバ通信においては、高分散耐性を実現するためデジタル信号処理を用いた光通信技術の研究開発が活発化しており、デジタル信号処理のフロントエンドに超高速、広帯域のアナログ・デジタル変換器が必要となっている。しかしながら、既存の電氣的なA/D変換器では、時間ジッタ等の制限により数10ギガサンプル毎秒(以下GS/sと略す)に止まっており、100GS/s、量子化ビット数6ビット以上という所要の仕様を実現することは困難である。

そこで、我々はA/D変換のキーとなる非線形光ループミラー(NOLM :Nonlinear Loop-Mirror)を用いた量子化、符号化の手法を2004年に提案し、原理確認のための3ビット、10GS/sの研究結果を主要な国際会議で招待講演を含め数々発表しており、国内外で特許(U.S. Patent No.7423564など)を取得してきた。

H20年度には分解能を向上させるためNOLMの改良を行い、5ビットの量子化分解能の実現を可能とする8周期NOLMの成果を報告した。本報告では、実験で計測した5ビット用8周期のNOLM 伝達関数から数値解析によって、実効ビット数(ENOB)を8.8ビットに向上できることを示す。

2. 動作原理:非線形光ループミラーの多周期特性を用いた超高速光A/D変換方法

NOLMの構成を図1上部に、NOLMの伝達関数を図1左下に示す。この全光A/D変換器は標準化されたアナログ信号を複数台の異なる周期の伝達関数を持つNOLMへと入力し、その伝達関数を用いて量子化、符号化を行うことを特徴とする。そして、それぞれの

NOLMから出力された信号をしきい値処理することにより、図1右下のような隣接符号間で異なるビット数が1のGray符号の光デジタル信号を出力する。次に、NOLMの動作原理について説明する。時計回りのプローブパルスはWDMカプラによりコントロールパルスとして入力されるアナログ信号と重畳されて高非線形ファイバ(HNLF)へと入力される。時計回りのプローブパルスは高非線形ファイバ中でコントロールパルスから相互位相変調(XPM)による位相変調 f_{CW} を受ける。一方、反時計回りのプローブパルスが受ける位相変調 f_{CCW} はコントロールパルスのデューティ比が小さければ無視できる。そして、時計回りと反時計回りのプローブパルスは3dBカプラにより合波され、BPFによりコントロールパルスを取り除く。このときに透過ポートから出力されるプローブパルスの強度は、位相変調の差 $\Delta\phi = |f_{CW} - f_{CCW}|$ によって変化し、透過率は $T = (1 - \cos\Delta\phi) / 2$ となる。位相変

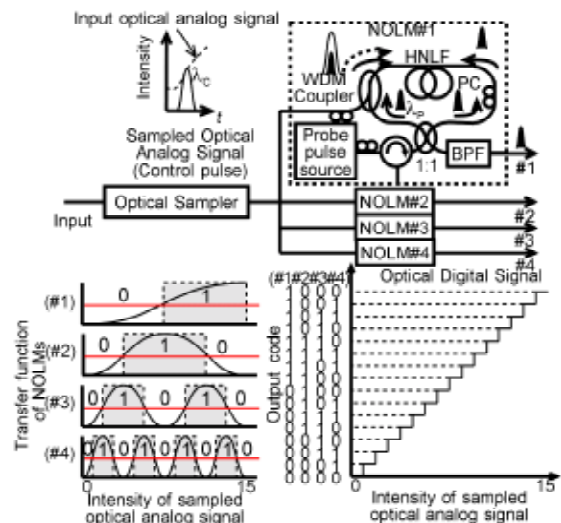


図1 全光A/D変換器の動作原理と構成

調 f_{CW} の大きさは重畳されるコントロールパルスの強度に比例するため、図1左下のように、入力光の強度に依存して周期的に出力が変化する伝達関数を得られ、全光アナログ・デジタル変換に必要な周期特性を得ることができる。

3. 分解能(量子化ビット数)の向上方法

図1のように光入力信号とNOLM2 台を並列接続し、それぞれを5bit のA/D 変換器に入力する。伝達関数の急峻な部分は入力信号の変動に対して出力信号の変動が大きいので分解能を向上できる。NOLM のうち1台はOPBSを用いて、正弦波伝達関数-90度シフトさせる。これは図1のNOLM2 出力のように伝達関数の傾きが緩やかな部分では、入力数値の判定が困難となるので少なくともどちらか一方のNOLM を機能させるための措置である。またNOLM 出力をA/D 変換器へ入力する際には、各伝達関数の傾きの緩やかな部分は分解能改善にほぼ寄与しないので、正弦波関数の量子化する範囲を限定することにより、更に分解能を向上できる。

NOLM の伝達関数特性を測定した実験系を図2

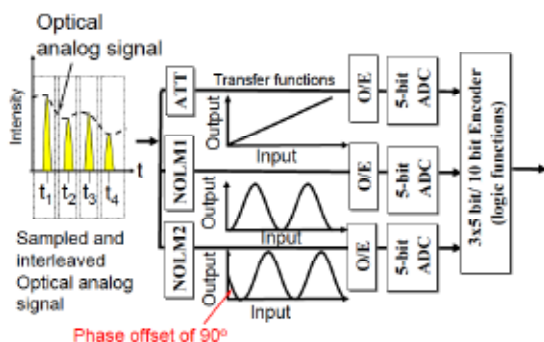


図2 NOLMの多重周期伝達関数を用いた分解能向上方法

に示す。ファイバリングレーザからの出力をシングルモードファイバを通すことで 5ps 程度までパルス幅を広げ、コントロールパルス列を作る。また、Wavelength Converter部分で四光波混合過程により波長 1580nm のコントロールパルスと同期の取れたプローブパルス列を作る。

図3は 3系統の入力を 5bit 量子化した結果、これら3つの変化点を元に出力ビット数 10bit に最適化した解析結果とその拡大図を示している。拡大図の破線で囲った部分のような符号の跳びが 307ヶ所発生しているが、有効ビット数は 8.95 となった。また符号の跳びに関して出力量子化ビット

数を減らすことで、9ビットでは 8ヶ所、8ビットでは符号の跳びなしとなり、解消することが可能である。

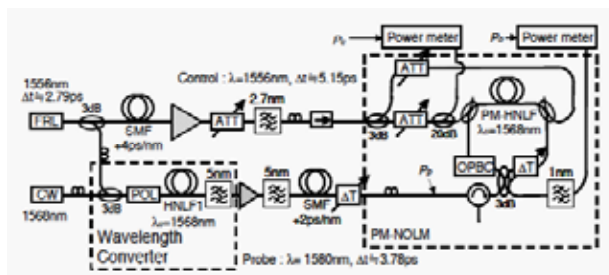


図3 実験系

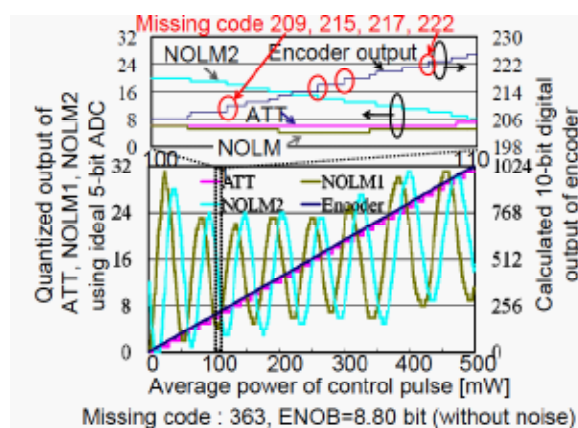


図4 5ビット量子化実験結果と10ビット化

参考文献

[1] Y. Miyoshi, S. Takagi, S. Namiki, and K. Kitayama, "Multi-period PM-NOLM with Dynamic Counter-Propagating Effects Compensation for 5-bit All-optical Analog-to-digital Conversion and its performance evaluations," IEEE/OSA J. Lightwave Technol., Vol.28, No.4, pp.415-422, 2010.

[2] Y. Miyoshi, S. Takagi, S. Namiki, and K. Kitayama, "Resolution-enhanced ultrafast ADC using optical multi-period transfer functions of NOLMs," OFC2010, OThU4 (San Diego, 2010.3).

[3] K. Kitayama, Y. Miyoshi, S. Takagi, and S. Namiki "Ultrafast All-Optical Analog-to- Digital Conversion using Fiber Nonlinearity (招待講演)" ECOC2009 (Vienna, 2009.9)

[4] 高木, 三好, 並木, 北山, "NOLM の光入出力伝達関数を用いたA/D 変換器の分解能向上方法," 電子情報通信学会総合大会 (仙台, 2010.3)