

2.3.4 超高速光A/D変換技術

北山研一

電気電子情報工学専攻・教授

2.3.4.1 はじめに

近年、無線通信で用いられてきたアナログ・デジタル変換器とデジタル信号処理を用いた信号歪補償技術やOFDM等の高度なデジタル信号処理を光通信に適応した研究が進められており、伝送速度の高速化に伴い超高速、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、既存の電子デバイスによるA/D変換では、サンプリング時に時間的な揺らぎが発生し、正確にアナログ信号の値を読み取れず、100Gビット毎秒程度以上の進展は見込めない。そこで、我々は光信号処理を用いてテラヘルツ級の超高速A/D変換技術の実現を目指している。光通信で用いられているモードロックレーザー技術では、タイミングジッタは数十フェムト(10⁻¹⁵)秒程度に抑えることが可能であり、動作速度の向上が期待できる。また、非線形光学効果の1つである光ファイバ中の3次の非線形光学効果(光カー効果)の応答速度はフェムト秒(10⁻¹⁵)オーダーであるため、非線形光学効果を用いた超高速光信号処理では、数百ギガ~数テラビット(10¹²bps)以上の動作速度を得ることが原理的に可能である。

本報告では、非線形光ループミラー(NOLM)の多周期特性を用いた超高速光A/D変換における量子化・符号化の動作原理を説明し、次に今年度に得られた160GSample/sでの3ビットA/D変換の実験結果について述べる。

2.3.4.2 超高速光A/D変換の動作原理

NOLMを用いた超高速光A/D変換の構成を図2.3.4.1上部に、NOLMの伝達関数を図2.3.4.1左下に示す。この全光A/D変換器は標本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2.3.4.1右下のような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。NOLMのループ中で時計回りのプローブパルスは高非線形ファイバ中で制御パルスとして入力されるアナログ信号から相互位相変調(XPM)による位相変調 ϕ_{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 ϕ_{ccw} は制御パルスのデューティ比が小さければ無視できるほど小さくなる。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 $\Delta\phi = |\phi_{cw} - \phi_{ccw}|$ によって変化し、透過率は $T = (1 - \cos \Delta\phi) / 2$ となる。位相変調 ϕ_{cw} の大きさは重畳される制御パルスの強度に比例するため、図2.3.4.1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が得られ、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

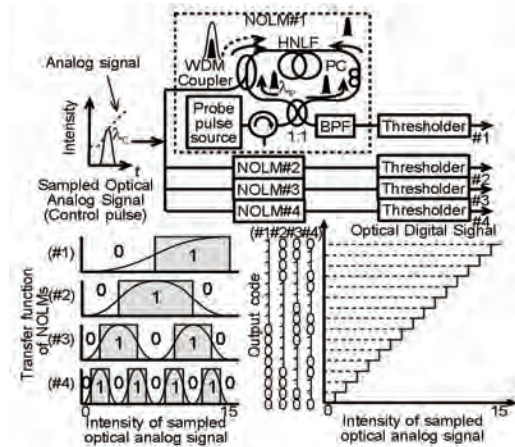


図 2.3.4.1 全光 A/D 変換器の動作原理と構成.

きる。

2.3.4.3 160GSample/s, 4ビット光A/D変換の実験結果

本実験では、被測定信号に10Gbit/s のNRZ変調信号を用い、入力部に10GSample/sの光標本化器を用いた。そして光標本化器の標本化タイミングを6.25 ps間隔で変更し、16回測定することで、等価的に160GSample/sの測定を行った。図2.3.4.2に入力信号波形と4ビットデジタル信号へと変換された出力信号波形を示す。SNRは、13.6 dB、実効分解能は3.74ビットと良好であり、波形もよく一致している。

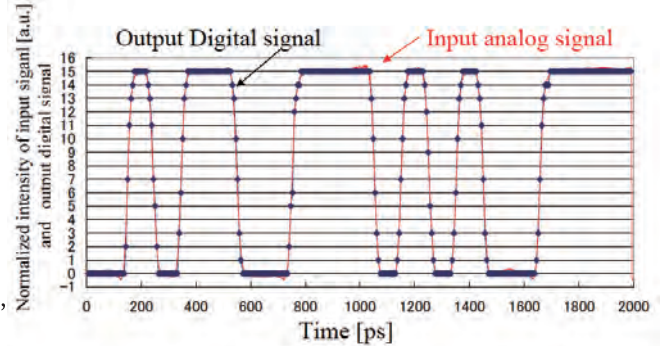


図 2.3.4.2 160GSample/s 4ビット光 A/D 変換結果

2.3.4.4 おわりに

超高速光A/D変換についての紹介と160Gsamples/s, 4ビットのA/D変換結果を示した。

今後は安定化、小型化、低コスト化等、計測機器分野と伝送機器への適用に向けて研究を進める。なお本研究はGCOEのRAを受給した博士課程2年（当時）・三好悠司を中心として、産総研および（株）トリマティスとの共同研究として遂行されたものであり産官学連携のモデルケースとも言える。また本研究の一部はJSTの平成19年度独創的シーズ展開事業『独創モデル化』の支援を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1.Y. Miyoshi, et al., "Photonic A/D conversion using NOLM," Workshop on IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), WMK (Honolulu, June 2007).
- 2.Y. Miyoshi, et al., "Multi-period NOLM design for ultrafast all-optical A/D conversion," 33rd European Conference on Optical Communication (ECOC 2007), Tu5.3.3 (Berlin, Sept.2007).
- 3.Y.Miyoshi, et al., "All-Optical Analog-to-Digital Conversion Using Split-and-Delay Technique," IEEE/OSA J. Lightwave Technol, Vol.25, No.6, pp.1339-1347 (June 2007).
- 4.Y. Miyoshi, et al., "Ultrafast all-optical logic gate using a nonlinear optical loop mirror based multi-periodic transfer function," OSA Optics Express, Vol.16, No.4,pp.2570-2577 (2008).