光ビート信号計測のための新型デジタル位相計

Novel digital phase meter for measuring optical beat signals

産総研計量標準 [1], JST-ERATO 美濃島知的シンセサイザプロジェクト [2]
○穀山 渉 [1]、大久保 章 [1,2]、稲場 肇 [1,2]、柳町 真也 [1]， 服部 浩一郎 [1]
NMIJ/AIST[1], JST-ERATO Minoshima IOS project[2] ○Wataru Kokuyama[1], Sho Okubo[1,2], Hajime Inaba[1,2], Shinya Yanagimachi[1], Koichiro Hattori[1], E-mail: wataru.kokuyama@aist.go.jp

ラジオ周波数（RF）帯の電気信号の位相・周波数計測は、さまざまな実験現場にて用いられるコアとなる技術である。一般に、ダブルバランスドミキサ（DBM）、周波数カウンタ、ロックインアンプ、位相雑音計測器などが用いられるが、これらには制約もある。例えば DBM では位相変動が 2π より十分小さいことが要求されるし、周波数カウンタは最高でも数百 k サンプル毎秒と、高速な周波数変動を読み取るのが難しい。そのため、光のキャリア周波数が極めて高いため位相変動の絶対量が大きい光ビート信号では、位相・周波数の評価は難しくなる傾向がある。

そこで我々は、新しい位相計測アルゴリズム [1] を FPGA に搭載した高性能なデジタル位相計を開発した。このアルゴリズムにより、分解能を保ちつつ極めて広いダイナミックレンジの位相計測が可能となる。本装置は 1 GHz 14bit の A/D 変換器を搭載しており、最大 +9 dBm の入力信号と参照信号の位相差を、最大 250 MHz の高速（周波数カウンタでのゲート周期かつサンプルレートに相当）で計測可能である。入力信号周波数範囲は 5 MHz ~ 250 MHz で振れてもよい。位相差の許容範囲は無制限であり、2π の整数倍を超えても Phase Unwrapping の必要はない。後処理によって、位相雑音スペクトルやアラン偏差も算出可能である。例えば、本装置は「超高速・デッドタイムフリーに位相も算出できる周波数カウンタ」にもなる。

本装置の性能を信号発生器（Keysight 33622A）を用いて評価した。30 MHz, +10dBm の信号をパワースプリッタで分岐し入力信号・参照信号としノイズレベルを評価したところ、図 1 のように -117dBc/Hz (1Hz)、-142 dBc/Hz (> 10kHz) を得た。これを DC ~ 2 MHz の範囲まで積分し、アラン偏差としての測定限界へ変換すると $1.4 \times 10^{-12} \cdot \tau^{-1}$ （30 MHz キャリア換算）、$8.7 \times 10^{-20} \cdot \tau^{-1}$ （633 nm の光周波数換算）となり、一般的な周波数カウンタを上回る性能を得た。そのほか、360 deg 内での位相計測値の直線性は ±0.005 deg、周波数応答の 1 %減衰範囲は 10 MHz 程度、AM-PM 変換係数は 2×10^{-3} deg/% 程度などと、いずれも良好な特性をもつことがわかった。さらに、産総研が保有する位相雑音の国家標準器 [3] との比較を行ったところ、図 2 のように約±0.2 dB（標準器の校正不確かさ）以内で一致を示し、計測値の妥当性も実証できた。

本講演では、装置の概要と性能評価、および光計測における応用可能性について紹介する。

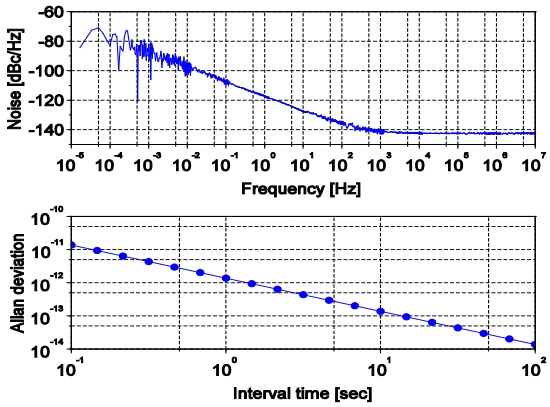

Fig.1. Noise level of the phase meter

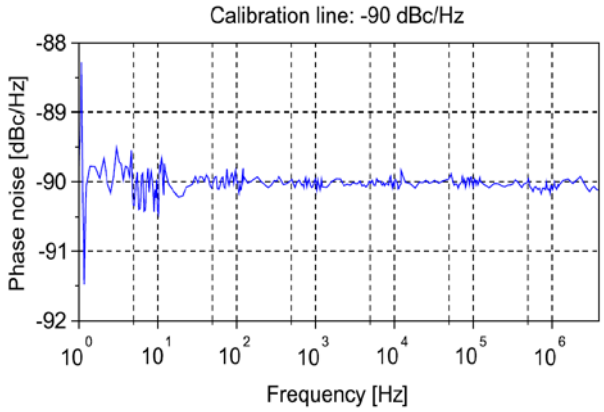

Fig.2. Validation with phase noise standard

謝辞 野里英明氏、大田明博総括研究主幹、平野育氏、和田雅人氏、中村圭佑氏、田邊健彦氏、赤松大輔氏、大苗敦氏（以上産総研）、中嶋善晶氏、美濃島薫教授（以上電気通信大学）、小池彰氏（システムインフロンティア㈱）、石田拓運氏、守本雄氏、高和宏行統括部長（以上ユニオプト㈱）に謝意を表します。本研究は静岡県先端企業育成プロジェクト推進事業費補助金の支援を受けました。

参考文献 [1] W. Kokuyama, et al., *Meas. Sci. Tech.*, **27,** 085001 (2016). [2] W. Kokuyama, Patent application publication WO2016/076419 (2016). [3] S. Yanagimachi et al., *IEEE Trans. Inst. Meas.*, **62**, 6, 1545 (2013).

© 2017年 応用物理学会