光周波数領域における時系列の位相雑音計測

Time-domain phase noise measurement in the optical frequency region

○穀山 渉[1]、大久保 章[1]、和田 雅人[1]、中村 圭佑[1]、稲場 肇[1]（1. 産総研 計量標準）

°Wataru Kokuyama[1], Sho Okubo[1], Masato Wada[1], Keisuke Nakamura[1] and Hajime Inaba[1]

(1.NMIJ/AIST), E-mail: wataru.kokuyama@aist.go.jp

光周波数メトロロジーをはじめとし、光周波数を扱う多くの分野では、光信号の位相雑音を測定することが、光信号の純度、周波数安定化の質、および周波数安定度の評価のために重要である。位相雑音の評価指標としては、アラン分散やビートスペクトル線幅などもあるが、演算によってこれらを算出可能な「時系列の位相情報」が情報量の最も多い、つまり最上位の計測量であるといえる。言い換えれば、時系列の位相を直接計測すれば、従来と同様な位相雑音や周波数安定度の評価はもちろん、過渡的現象をも解析することが可能となる。

信号の位相計測は、基準信号との位相比較によって行われる。最も低雑音なのは周波数ミキサーを用いる方法だが、光領域ではそのキャリア周波数から位相差が容易に 2π を超えるため、適用は難しい。一方で排他的 OR、アップダウンカウンタなどのデジタル回路を用いた位相比較も行われているが、比較できる位相差の範囲、測定帯域、および低雑音性のバランスが満足できるレベルにあるものはなかった。

我々は、周期的正弦波信号の位相を直接計測する簡便な信号処理法を開発した [1]。これは、数十 MHz 以上の高周波信号に対してもリアルタイム処理可能なうえ、位相が 2π を超えても機能する広いダイナミックレンジを持つといった特長がある。本研究では、やや大きい電源由来の雑音が PLL 内に混入した状態で同期された光コムのオフセット（CEO）信号に本方法を適用し、その位相雑音を広い周波数帯域にわたって計測した。計測は周波数帯域の高低に分けて実施した。光コムの CEO 信号およびその基準信号をサンプリングレート 220 MHz のデジタイザで読み取り、オフライン解析により位相を算出した。オフセット周波数が 10 kHz 未満については、デジタイザメモリ容量の制約を回避するため、被測定信号を 1.3 MHz にビートダウンし、サンプリングレートを 9.17 MHz へ落とした。得られた時系列の位相（見やすさのため 100 kHz に帯域制限）を図 1(a)に、それをフーリエ変換した位相雑音スペクトルを図 1(b)に示す。混入した 100 Hz の雑音成分が観測されるとともに、0.1 Hz から 500 kHz 程度にわたって10^{-1} rad/$\sqrt{\mathrm{Hz}}$ ～10^{-4} rad/$\sqrt{\mathrm{Hz}}$の位相雑音を計測できた。また、発振器の信号を入力し測定したノイズレベル（測定限界）は、同帯域で10^{-6} rad/$\sqrt{\mathrm{Hz}}$ 程度（-120 dBc/Hz 程度）と十分低かった（図 1(b)）。なお、この手法による計測結果は、従来の位相雑音測定器による結果と1 dBc/Hz 程度以内で一致することを、別途確認している。従って、本手法が周波数メトロロジーにおける位相雑音測定に有効であることが確認できた。講演では、本計測法の広いダイナミックレンジが真価を発揮する、大きなレベルの位相雑音測定について報告する。

参　考　文　献

[1] 穀山渉 他、2015 年応用物理学会春季学術講演会

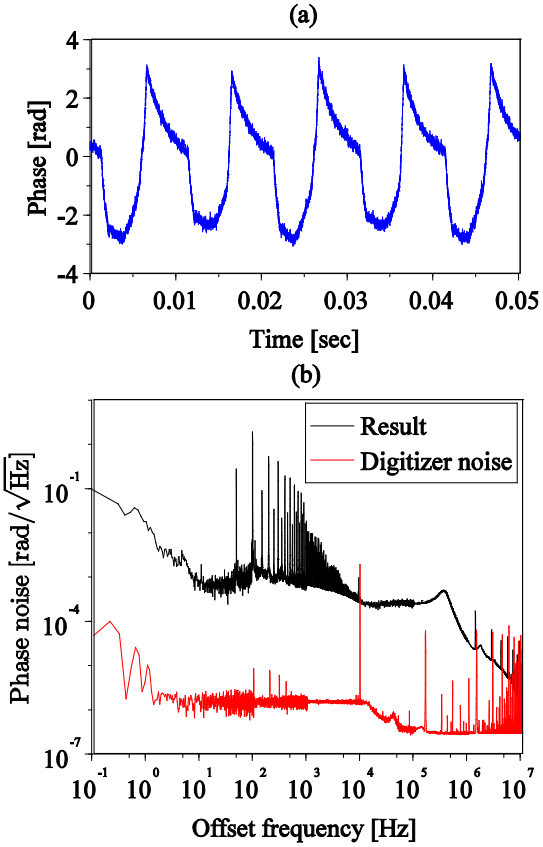

図 1. 位相雑音計測結果の(a)時系列信号, (b)スペクトル

© 2016年 応用物理学会