

変位操作及び光子検出器を用いたコヒーレント信号位相推定

Phase estimation for coherent state with displaced-photon counting

○ 泉 秀路^{1,2}、武岡 正裕²、和久井健太郎²、藤原幹生²、江馬一弘¹、佐々木雅英²(1. 上智大、2. 情報通信研究機構)

○ Shuro Izumi^{1,2}、Masahiro Takeoka²、Kentaro Wakui²、Mikio Fujiwara²、Kazuhiro Ema¹、Masahide Sasaki² (1.Sophia Univ., 2.NICT.)

E-mail: shuro-izumi@nict.go.jp

変位操作及び光子検出器から成る測定系は、コヒーレント光識別に対する準最適な測定手段であることが知られている [1]。近年の光子検出器技術の発展に伴い、この測定系が従来のコヒーレント光通信における位相検波方式に代わる新たな測定手段として注目されている [2]。本研究では、この測定系のコヒーレント光位相センシング技術への応用を考える。

位相センシングでは、位相シフト ϕ を受けた状態 $\hat{\rho}_\phi$ に対して測定が行われ、測定結果に基づき未知の位相シフト量 ϕ を推定する。入力状態にスクイズド状態を用いることで、従来のコヒーレント状態に対し推定精度を改善できることが知られているが [4]、これらの非古典状態は損失下において混合状態へと変化してしまい、容易に性能が劣化してしまう。一方でコヒーレント状態は損失下においてもその純粋性が失われることがないため、通信やセンシングに適した光状態であると言える。平均光子数 N であるコヒーレント状態を用いた場合、位相推定精度限界は M 回の試行に対し $1/(4NM)$ で与えられ、如何なる操作または測定を行ったとしてもこの推定精度を下回することはできない [3]。本研究ではどのような測定を行えば、コヒーレント光で達成可能な推定精度限界に到達できるかに着目し議論する。

コヒーレント状態の位相推定精度限界に到達する測定方法として最もよく知られているものが、光の直交位相振幅を測定するホモダイン検出である [4]。この測定方法を用いることによって、状態に与えられた位相シフト量 ϕ と参照光の位相が特定の相対位相関係を満たす場合にのみ位相推定精度限界での位相推定が可能となる。しかし相対位相関係が最適点から少しでもずれると性能は急激に劣化してしまう。そのため測定結果に応じたアダプティブな操作を用いて局所光の位相を変化させなければ、高い推定精度での位相推定を実現することができない [5]。本研究ではコヒーレント状態の位相推定に対し、変位操作及び光子検出器によって構成される測定系を適用し、その性能をホモダイン検出及び推定精度限界と比較した。その結果としてホモダイン検出に比べ広範囲の位相条件下で、推定精度限界に近い推定誤差での位相センシングが可能であることを示す。そして通信波長帯に対し高効率な光子検出器である超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (SNSPD) を用いて実験を行い、検出器の不完全性等が無視できない状況下で測定系を評価した結果を示す。

参考文献

- [1] R. S. Kennedy, Research Laboratory of Electronics, MIT, Quarterly Progress Report No. 108, 1973 (unpublished), p. 219.
- [2] K. Tsujino, D. Fukuda, G. Fujii, S. Inoue, M. Fujiwara, M. Takeoka, and M. Sasaki, Phys. Rev. Lett. **106**, 250503 (2011).
- [3] S. L. Braunstein and C. M. Caves, Phys. Rev. Lett. **72**, 3439 (1994)
- [4] A. Monras, Phys. Rev. A **73**, 033821 (2006).
- [5] M. Armen, J. Au, J. Stockton, A. Doherty, and H. Mabuchi, Phys. Rev. Lett. **89**, 133602 (2002).