

非直交量子状態によるマルチレベルゴーストイメージング

情報科学科 岡田 泰幸

指導教員：白田 毅

1 はじめに

量子プロトコルにおける重要なリソースとしてエンタングルメントがある。また、エンタングルメントを用いるプロトコルに量子ゴーストイメージングがある。量子ゴーストイメージングは、雨や霧などに強い耐ノイズ性のある画像取得プロトコルである。

先行研究では、量子ゴーストイメージングに用いる量子状態が直交か非直交かによる誤り率の違いが評価された [1]。非直交量子状態は、直交量子状態よりも優れた性能を示す場合があることが知られており、先行研究 [1] においても、減衰が激しい場合には、非直交量子状態が有意な結果を示した。この先行研究では、対象物として、光を完全に透過する部分と完全に遮蔽する部分で構成されたものを想定していた。本稿では、対象物の透過率が多段階である場合について検討する。

2 量子ゴーストイメージング

ゴーストイメージングに関する研究は、Pittman らによって行われた最初の実験 [2] に始まり、様々な実験や理論が発表されている。ここで、ゴーストイメージングの簡易的な構成を図 1 に示す。D_A、D_B はそれぞれ、空間分解能がない検出器と空間分解能がある検出器を、S は段階的な透過率を持つ対象物を、C は二つの検出器からの出力を処理する相関器を表している。

本研究では、3 段階の透過率を持つ対象物を考える。具体的には、透過率が 1 であり光を完全に透過する部分と、透過率 η ($0 < \eta < 1$) で光が減衰する部分と、透過率が 0 であり光を完全に遮蔽する部分で構成される対象物を想定する。以下に量子ゴーストイメージングの手順を示す。

1. 空間的に相関のある 2 つの光を対象物 S、空間分解能がある検出器 D_B のそれぞれの同じ座標へ照射する。
2. D_A で得られる光の検出レベルによって、対象物の透過率を判定する。
3. D_B で直接照射された光を検出によって、照射されている座標を判定する。
4. 2 つの検出器から得られた出力の相関を取る。

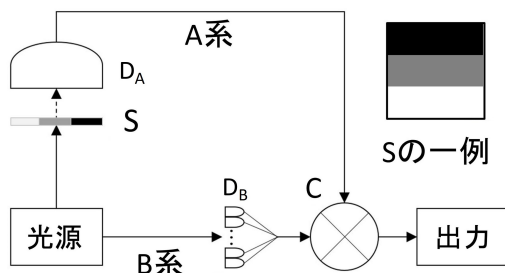


図 1 量子ゴーストイメージングの構成

3 誤り率特性

対象物による減衰以外の減衰は起こらない（外乱がない）場合を考え、D_A に届きうる状態、つまり、送信量子状態に対して、それぞれ透過率が 1, η , 0 の減衰が起きた 3 つの状態を識別することを考える。先行研究 [1] 同様、以下の量子状態を用いることで、直交量子状態と非直交量子状態の性能を比較する。

$$|\Psi_{ij}\rangle = |L\rangle_{A_{1,1}} |L\rangle_{B_{1,1}} \cdots |H\rangle_{A_{i,j}} |H\rangle_{B_{i,j}} \cdots |L\rangle_{A_{d,d}} |L\rangle_{B_{d,d}} \quad (1)$$

ここで $|L\rangle$, $|H\rangle$ は、それぞれ光に照射されている状態と、されていない状態を表しており、それぞれに光子数確定状態を用いた場合を直交量子状態として、コヒーレント状態を用いた場合を非直交量子状態としてゴーストイメージングに用いる。直交、非直交それぞれにおいて、3 状態を識別する際の平均誤り率を、ヘルストロムのアルゴリズム [3] を用いて求める。

対象物の一部の透過率 η が、0 から 1 までの値を取る時それぞれでの平均誤り率を求めた結果を図 2 に示す。このグラフを見ると、 η が小さい時、非直交量子状態は直交量子状態と比べ、平均誤り率が低いことが分かる。つまり、中間的な透過率を持つ部位での減衰が激しい場合には、非直交量子状態を用いた場合のほうが、より正確なイメージングが行える。

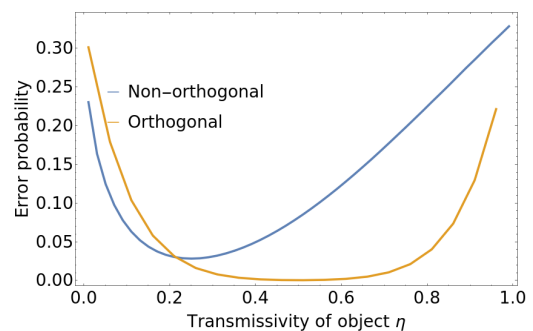
4 まとめ

本研究では、対象物の透過率が多段階である場合のゴーストイメージングにおいて、非直交量子状態の応用を検討した。その結果として、対象物中の透過率 η が小さい場合は、非直交量子状態が優位となった。

今後の課題として、4 段階以上の透過率を持つ物体を対象物とする場合を考えることなどが挙げられる。

参考文献

- [1] Y. Takahashi, K. Ishikawa, S. Usami, T. S. Usuda, Proc. of AQIS2019 (poster day 1), pp. 117-120, (2019).
- [2] T. B. Pittman, Y. H. Shih, D. V. Strekalov, and A. V. Sergienko, Phys. Rev. **A52**, pp.R3429-R3432, (1995).
- [3] C. W. Helstrom, IEEE Trans. Information Theory, vol.28, issue 2, pp.359-366, (1982).

図 2 透過率 η を変化させた時の平均誤り率