

連続変数量子テレポーテーションの研究—その高性能化—（継続-17）

Experimental study on continuous variable quantum teleportation

古澤 明 東京大学大学院 工学系研究科物理工学専攻

Akira Furusawa, Department of Applied Physics, School of Engineering, The University of Tokyo

青木 隆朗

東京大学

Takao Aoki, The University of Tokyo

研究期間 平成 13 年度～平成 17 年度

概要

現在、次世代の光通信技術として、量子情報通信技術が研究されている。量子情報通信とは、情報を量子状態に符号化し、その量子状態を伝送することにより、情報通信を行うものである。量子状態の伝送は、「任意の量子状態はコピーできない」というクローニング禁止定理により、通常の情報通信とは異なるものになっている。通常の情報通信では、ファックスを思い浮かべれば明らかなように、情報の送信者の手元に情報を残すことができるが、量子状態伝送ではクローニング禁止定理により、それが不可能である。そのため、量子状態伝送においては、必然的に送信者側で量子状態が消滅し、受信者側で現れるというようなプロトコルとなる。このプロトコルは量子テレポーテーションと呼ばれ、世界で活発に研究されている。我々は世界で初めて成功した量子状態のテレポーテーションの成果を元にその高性能化の研究を行った。

Abstract

Quantum communication is studied as a next-generation communication technology. In the quantum communication, information is coded in a quantum state of light and sended to a reciever. The most important protocol for the communication is « quantum teleportation » in which information is conveyed with a classical channel and a quantum channel. In our study, we concentrated on the improvement of the performance of quantum teleportation which we realized in 1998.

1. まえがき

本研究では、1998 年に研究代表者らが世界で初めて成功した決定論的量子テレポーテーションのさらなる高性能化を目指した。具体的には、量子テレポーテーションの性能指数であるフィデリティを高めることを目指した。さらに、量子テレポーテーションの応用である、量子テレポーテーションネットワーク実験および量子テレクロニング実験を行った。

2. 研究内容及び成果

まず初めに行ったのは、量子テレポーテーションの高フィデリティ化である。1998 年に初めて量子テレポーテーションに成功したとき、そのフィデリティは 0.58 であった。本研究ではフィデリティ 0.67 を目指した。これは、フィデリティ 0.67 を超えると、入力状態の非古典性も伝送できるからである。また、0.67 を超えると、正規の受信者が盗聴者よりも多くの情報を受け取れることが知られており、フィデリティ 0.67 はノークローニング限界とも呼ばれている。

フィデリティを高めるために必要とされる要件は、高いレベルのスクイーズド光の生成と、それを制御する実験系の機械的安定性である。当初は機械的安定性を高めることに注力し、その結果フィデリティ 0.7 を達成した。次にこの量子テレポーテーション装置を用い、非古典状態の量子テレポーテーションを行った。非古典状態としては、スクイーズド状態およびエンタングル状態を選んだ。いずれの場合も、実験に成功し、非古典状態の量子テレポーテーションに成功した。

高フィデリティ化のために次に行ったのは、高レベルスクイーズド光の生成である。種々の非線形光学結晶を比較検討した結果、疑似位相整合 KTP (PPKTP) がとても高

いパフォーマンスを示すことを見出し、7dB を超えるスクイーズド光を得ることに成功した。これを用いればフィデリティ 0.8 を超えるのは明らかである。

量子テレポーテーションの応用として、2 つの実験を行った。1 つは量子テレポーテーションネットワーク実験、もう 1 つは量子テレクロニング実験である。いずれの実験も 3 者間の量子エンタングルメントを用い、3 者間での量子情報伝送プロトコルを行う。まず初めに量子テレポーテーションネットワーク実験について述べる。

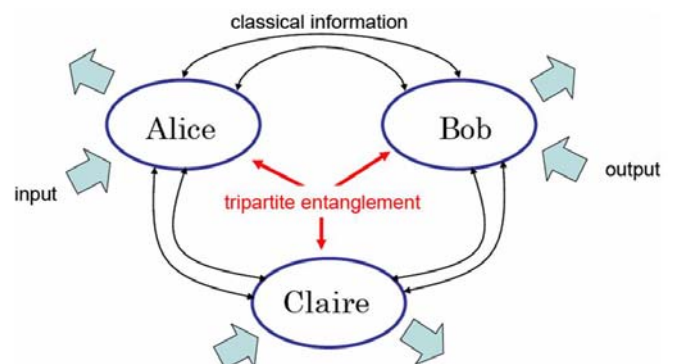


図 1

図 1 に示した量子テレポーテーションネットワーク実験では、ネットワークを形成する 3 者が 3 者間量子エンタングルメントを共有する。この場合の 3 者間量子エンタングルメントは、3 者間でエンタングルしているが、3 者の中から任意の 2 者を選んでもそれらはエンタングルしていないというものである。このネットワークの特徴は、3 者のうちの 2 者間で量子テレポーテーションを行うとき、

それぞれの送受信の組み合わせに応じて、2 者間の量子エンタングルメントを用意する必要が無く、いつも同じ 3 者間量子エンタングルメントを用いれば良いことである。また、3 者間量子エンタングルメントを生成するために必要となるスクイーズド光の数は、同じ規模の量子テレポーテーションネットワークを 2 者間の量子エンタングルメントのみで構成するのに比べて半数以下になるという利点がある。本研究では、この 3 者間量子テレポーテーションネットワーク実験に成功し、大きな注目を集めた。図 2 にその実験系の写真を示す。

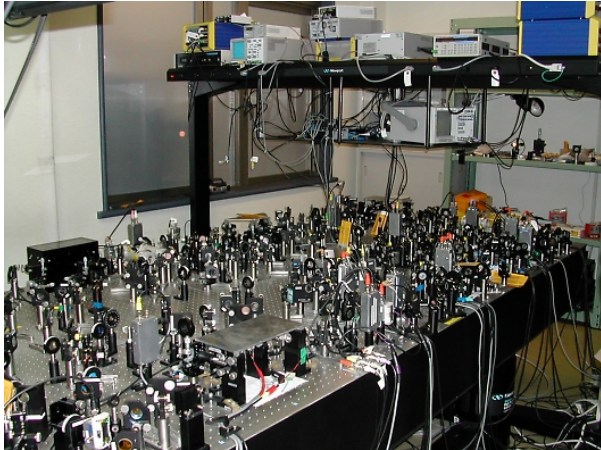


図 2

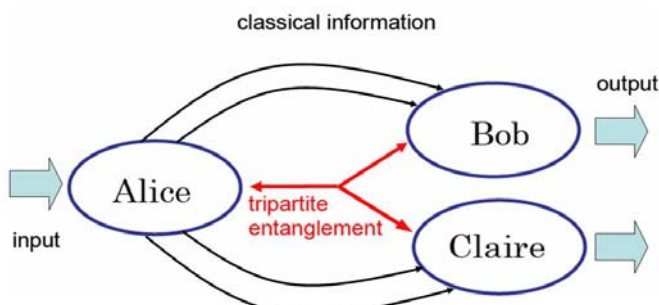


図 3

もう 1 つの量子テレポーテーション応用実験として、図 3 に示した量子テレクローニング実験を行った。量子テレクローニングにおいても 3 者間量子エンタングルメントを用いるが、ここで用いる 3 者間量子エンタングルメントは 3 者間でエンタングルしている上、少なくとも 3 者の中での 1 組で 2 者間の量子エンタングルメントを有している。量子テレクローニングでは、この種の量子エンタングルメントを用いて、1 つの入力が近似コピーされて 2 人の受信者の元で再現される。本研究では、この量子テレクローニング実験に成功し、大きな注目を集めた。図 4 に実験系の写真を示す。

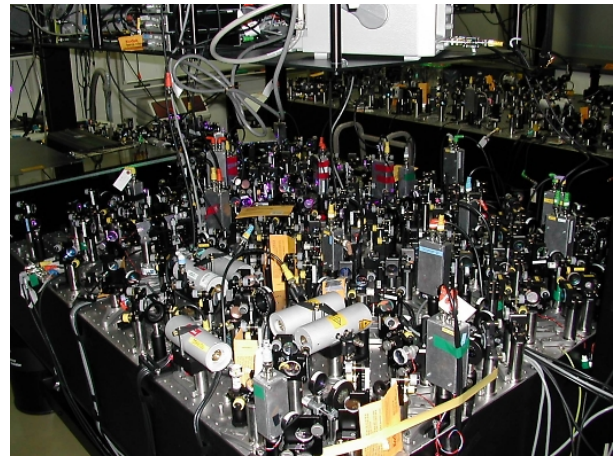


図 4

3. むすび

以上のように、本研究では 1998 年に我々が世界で初めて成功した量子テレポーテーションの高性能化に取り組んだ。その結果、高フィデリティ量子テレポーテーションに成功し、いくつかの重要な応用実験にも成功した。本研究で得た知見および技術は、大規模な量子情報ネットワーク実現へ向けた大きな一歩だと思われる。

【誌上発表リスト】

- [1]. S. Koike, H. Takahashi, H. Yonezawa, N. Takei, S. L. Braunstein, T. Aoki, and A. Furusawa
"Demonstration of quantum telecloning of optical coherent states"
Phys. Rev. Lett. **96**, 060504 (2006)
- [2]. N. Takei, H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa
"High-fidelity teleportation beyond the no-cloning limit and entanglement for continuous variables"
Phys. Rev. Lett. **94**, 220502-1-4 (2005)
- [3]. H. Yonezawa, T. Aoki, and A. Furusawa
"Demonstration of a quantum teleportation network for continuous variables"
Nature **431**, 430-433 (2004)

【受賞リスト】

- [1] 古澤 明
平成 17 年度東京テクノフォーラムゴールドメダル賞
- [2] 古澤 明
平成 17 年度久保亮五記念賞

【報道発表リスト】

- [1] “量子テレクローニング実験成功”，朝日新聞，平成 18 年 3 月 31 日
- [2] “量子もつれに成功”，朝日新聞，平成 17 年 6 月 12 日
- [3] “光子で情報を瞬間移動”，朝日新聞（朝刊），平成 16 年 9 月 23 日

【ホームページによる情報提供】

- [1] <http://www.aip.org/pnu/2006/split/765-1.html>
- [2] <http://www.newscientist.com/channel/fundamentals/dn8756.html>
- [3] <http://physicsweb.org/articles/news/10/2/15/1>