

< Chinese version >

A Superluminal communication solution based on Five-photon entanglement

Jia-Run Deng cmos001@163.com

摘要：对五光子纠缠装置的改进设计后，可以实现人为的控制测量结果，控制测量结果的成功概率是 50% 。 利用对五光子 GHZ 纠缠态与双光子、三光子纠缠态之间的切换，进行编码操作；结合解码规则和纠错规则之后，就可以直接实现在量子通道上的信息传递，而不再需要经典通信的辅助；并最终导致超光速通信的结果。

1.引言

目前，已有许多试验证实了量子纠缠违反了 Bell 定理[1,2,3,4]，也曾经有人尝试利用量子纠缠的非定域的性质进行超光速通信[5]，可惜以失败告终。近年来，多粒子纠缠试验[6,7,8]也取得了很大进展。我们将在五光子纠缠[9]的基础上，提出一种实现超光速通信的方法。

2.方法

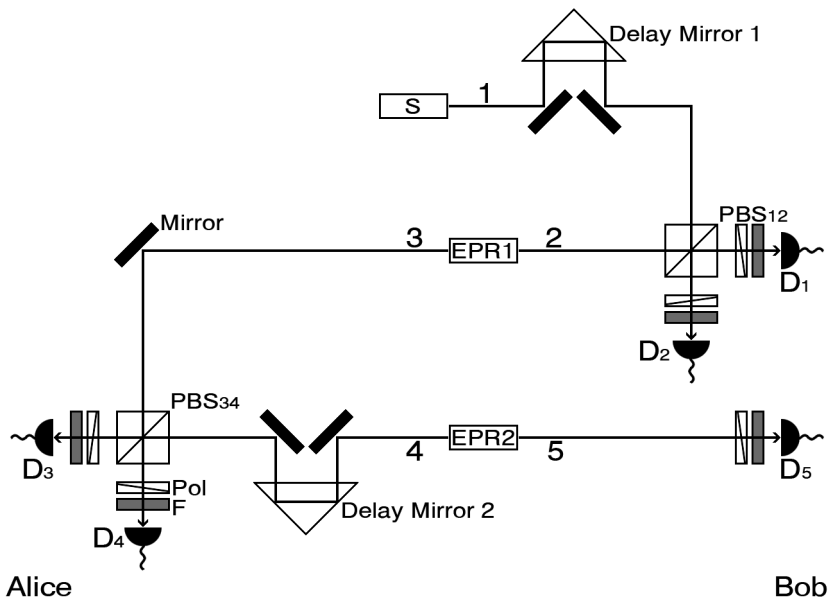


Fig.1: 实验装置: 五光子纠缠的试验装置, 由 EPR sources 、Single photon source (S)、PBS、Polarizers (Pol)、Filters (F)、Delay Mirror、Mirror 和 Detectors 组成, 制备成为五光子 GHZ[10] 纠缠态, 并达到 Fig.2 所示的效果。

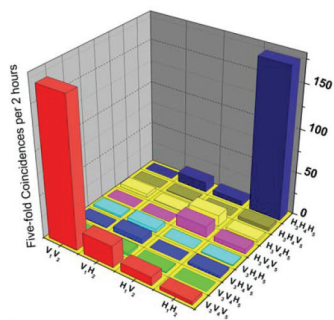


Fig.2: 制备成为五光子 GHZ 纠缠态，在 H/V 基矢下对 32 种可能的组合方式作测量，实验结果表明： $HHHHH$ 和 $VVVVV$ 的组合方式与其他 30 种非期望的组合方式的比例是 40 : 1 [9]。

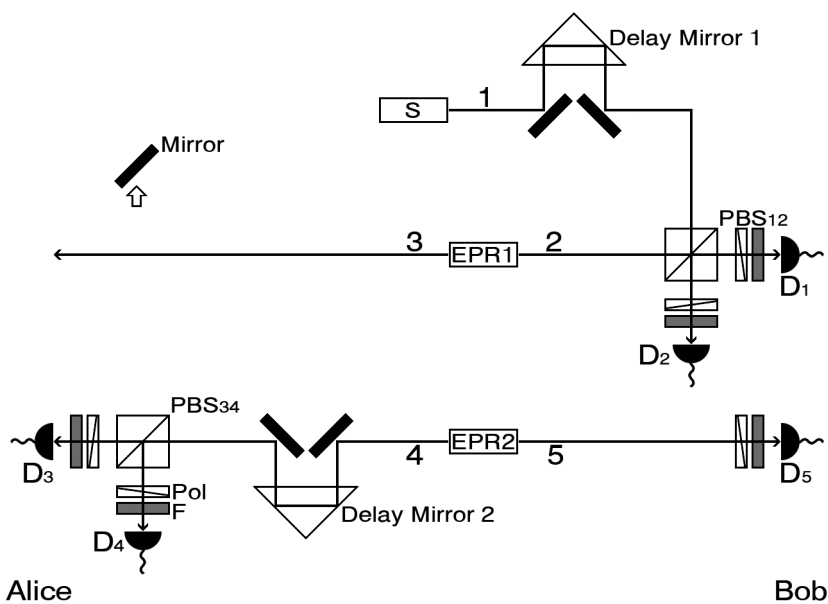


Fig.3: 把反射镜移走后，五光子 GHZ 纠缠态被破坏，1、2、3 路光子与 4、5 路光子失去关联，分解成两个独立的三光子纠缠态和双光子纠缠态。

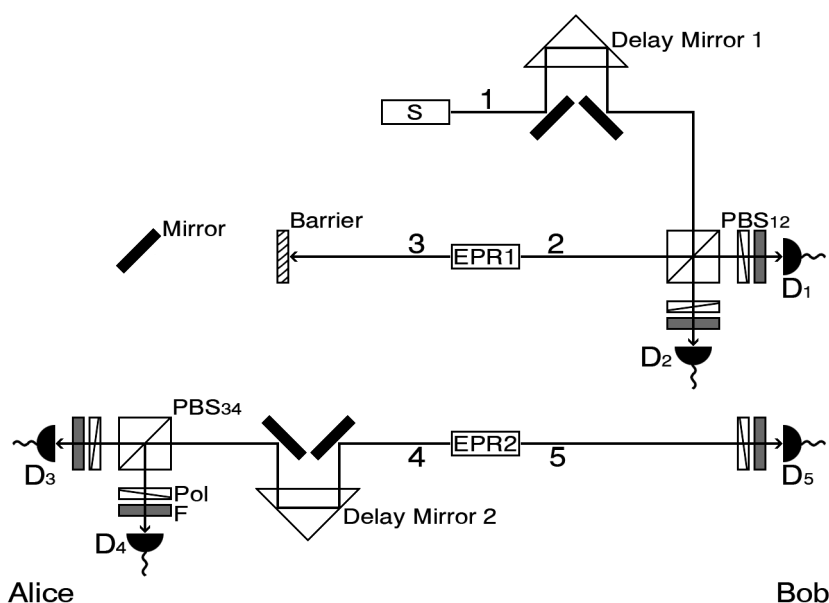


Fig.4: 在EPR1 与PBS₃₄之间的光路中放置一个障碍物以阻挡光子通过，五光子GHZ纠缠态被破坏，1、2、3 路光子与 4、5 路光子失去关联，分解成两个独立的三光子纠缠态和双光子纠缠态。

3.讨论

如 Fig.1, 我们需要两个 EPR 源[11]和一个单光子源[12], 这两个 EPR 源和一个单光子源以相同的时间间隔频率发射纠缠光子对, 然后制备成五光子 GHZ 纠缠态:

$$|\Phi\rangle = 1/\sqrt{2} (|H\rangle_1 |H\rangle_2 |H\rangle_3 |H\rangle_4 |H\rangle_5 + |V\rangle_1 |V\rangle_2 |V\rangle_3 |V\rangle_4 |V\rangle_5)$$

这种状态是保持稳定的。在此情况下, 探测器 D1 接收到的光子与探测器 D5 接收到的光子是存在关联的, 探测器 D1 与探测器 D5 在同一时间接收到的光子偏振态只有两种随机组合:

$$(D1 = H, D5 = H) \text{ 或 } (D1 = V, D5 = V)。$$

如 Fig.2, 我们把反射镜移走后, 五光子 GHZ 纠缠态将被破坏, 分解成两个独立的三光子纠缠态和双光子纠缠态:

$$|\Psi\rangle = 1/\sqrt{2} (|H\rangle_1 |H\rangle_2 |H\rangle_3 + |V\rangle_1 |V\rangle_2 |V\rangle_3)$$

$$|\Psi\rangle = 1/\sqrt{2} (|H\rangle_4 |H\rangle_5 + |V\rangle_4 |V\rangle_5)$$

具体分解成为哪两种纠缠态并不重要, 重要的是五光子 GHZ 纠缠态已经被分解。

在此情况下, 探测器 D1 与探测器 D5 分别属于两个独立的系统, 探测器 D1 接收到的光子与探测器 D5 接收到的光子没有任何关联。探测器 D1 和探测器 D5 在同一时间接收到的光子偏振态有 4 种随机组合:

$$(D1 = H, D5 = H), \text{ 或 } (D1 = H, D5 = V), \text{ 或 } (D1 = V, D5 = H), \text{ 或 } (D1 = V, D5 = V)。$$

首先, 我们为信息发送者 Alice 定义一条二进制的编码规则: 如果要发送 1, 则保持五光

子 GHZ 纠缠态；如果要发送 0，则移走反射镜，破坏五光子 GHZ 纠缠态。

需要说明的是，移走反射镜并不是破坏五光子 GHZ 纠缠态的唯一方法，比如我们可以移走 PBS₃₄，或移走 Delay Mirror 2，或在 EPR1 与 PBS₃₄ 之间的光路中放置一个障碍物以阻挡光子通过(如 Fig.4)，或在 EPR2 与 PBS₃₄ 之间的光路中放置一个障碍物以阻挡光子通过。

然后，我们为信息接收者 Bob 定义一条二进制的解码规则：

$$(D1 = H, D5 = H) = 1,$$

$$(D1 = V, D5 = V) = 1,$$

$$(D1 = H, D5 = V) = 0,$$

$$(D1 = V, D5 = H) = 0.$$

如果 Alice 要发送 1 给 Bob，则保持五光子 GHZ 纠缠态，这时 Bob 接收到的结果有两种可能， $(D1 = H, D5 = H)$ 或 $(D1 = V, D5 = V)$ ，解码之后得到的数值都是 1。

如果 Alice 要发送 0 给 Bob，则破坏五光子 GHZ 纠缠态，这时 Bob 接收到的结果有四种可能， $(D1 = H, D5 = H)$ 或 $(D1 = V, D5 = V)$ 或 $(D1 = H, D5 = V)$ 或 $(D1 = V, D5 = H)$ ，解码之后得到的数值分别是 1, 1, 0, 0。显然的，这里出现的两个 1 并不是我们要的结果，这导致了 50% 的误码率。

为了降低误码率，我们可以连续测量 N 次，并且定义一条纠错规则：如果 N 次测量出现了 N 个 1，则认为是 1；如果 N 次测量出现了一个或一个以上 0，则认为是 0。

以测量 3 次为例子，纠错规则为：

$$(1, 1, 1) = 1$$

$$(1, 1, 0) = 0$$

$$(1, 0, 1) = 0$$

$$(1, 0, 0) = 0$$

$$(0, 1, 1) = 0$$

$$(0, 1, 0) = 0$$

$$(0, 0, 1) = 0$$

$$(0, 0, 0) = 0$$

在此规则下，误码率 $P = 1/2^N$ ，可以得知测量的次数越多，误码率越低，比如测量 10 次的误码率是 1/1024。

以上所述的对探测器 D1 与探测器 D5 的测量，也可以换成对探测器 D2 与探测器 D5 的测量，效果是一样的。

通过以上的分析，实现的方法可以概括为：利用对五光子 GHZ 纠缠态与双光子纠缠态之

间的切换, 进行编码操作; 利用对探测器 D1 和探测器 D5 所得到的探测结果, 进行解码操作, 并结合纠错规则来降低误码率。

4. 结论

通过对五光子纠缠装置的改进设计, 和对编码规则、解码规则、纠错规则的定义, 我们得出的结论是: 可以直接实现在量子通道上的信息传递, 而不再需要经典通信的辅助, 并最终导致超光速通信的结果。

References:

1. Dalibard, A. A. J., & Roger, G. (1982). Experimental test of Bell's inequalities using time varying analysers. *Phys Rev. Lett*, *49*, 1804-1807.
2. Shih, Y. H., & Alley, C. O. (1988). New type of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm experiment using pairs of light quanta produced by optical parametric down conversion. *Physical Review Letters*, *61*(26), 2921.
3. Rarity, J. G., & Tapster, P. R. (1990). Experimental violation of Bell's inequality based on phase and momentum. *Physical Review Letters*, *64*(21), 2495-2498.
4. Kwiat, P. G., Mattle, K., Weinfurter, H., Zeilinger, A., Sergienko, A. V., & Shih, Y. (1995). New high-intensity source of polarization-entangled photon pairs. *Physical Review Letters*, *75*(24), 4337.
5. Herbert, N. (1982). FLASH—A superluminal communicator based upon a new kind of quantum measurement. *Foundations of Physics*, *12*(12), 1171-1179.
6. Pan, J. W., Bouwmeester, D., Daniell, M., Weinfurter, H., & Zeilinger, A. (2000). Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberger–Horne–Zeilinger entanglement. *Nature*, *403*(6769), 515-519.
7. Zhao, Z., Yang, T., Chen, Y. A., Zhang, A. N., Żukowski, M., & Pan, J. W. (2003).

Experimental violation of local realism by four-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement. *Physical review letters*, 91(18), 180401.

8. Lu, C. Y., Zhou, X. Q., Gühne, O., Gao, W. B., Zhang, J., Yuan, Z. S., ... & Pan, J. W. (2007). Experimental entanglement of six photons in graph states. *Nature Physics*, 3(2), 91-95.

9. Zhao, Z., Chen, Y. A., Zhang, A. N., Yang, T., Briegel, H. J., & Pan, J. W. (2004). Experimental demonstration of five-photon entanglement and open-destination teleportation. *Nature*, 430(6995), 54-58.

10. Greenberger, D. M., Horne, M. A., & Zeilinger, A. (1989). Bell's theorem, Quantum Theory, and Conceptions of the Universe.

11. Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?. *Physical review*, 47(10), 777.

12. Rarity, J. G., Kitson, S. C., & Tapster, P. R. (1999). Single photon sources and applications. In *Confined Photon Systems* (pp. 352-365). Springer Berlin Heidelberg.