

用一个纠缠态实现多粒子纠缠态的量子隐形传送^{*}

唐有良 刘翔[†] 张小伟 唐筱芳

(湖南师范大学物理系,长沙 410081)

(2006 年 12 月 21 日收到,2008 年 8 月 27 日收到修改稿)

提出分别在二维和高维系统中利用一个纠缠态作量子通道实现 M 粒子纠缠态的量子隐形传送方案. 该方案有多个接收者,通过控制引进辅助粒子数,可以任意调节传送后的纠缠态在各接收者之间的粒子数分布,且成功传送的概率为 1.

关键词:量子隐形传态,纠缠态,量子通道

PACC:0365,0367

1. 引言

从 Bennett 等^[1]提出隐形传态的开创性工作以来,人们对量子隐形传态的研究产生了浓厚的兴趣. 在理论^[2-7]和实验^[8-13]上,量子隐形传态的研究都取得了重大进展. 近年来,提出了很多隐形传送两粒子纠缠态的方案^[14,15]. 文献^[16]在理论上给出了使用两粒子纠缠态作量子通道实现两粒子纠缠态的概率隐形传送方案;文献^[17]利用非最大纠缠态作为量子通道实现两粒子纠缠态的传送. 同时,借助于 Einstein-Podolsky-Rosen(EPR)对和三粒子 Greenberg-Horne-Zeilinger(GHZ)态作为量子通道,隐形传送三粒子纠缠态、GHZ 态、三粒子纠缠 W 态的方案也有许多^[18-20]. Lu 等^[19]使用三个非最大的两体纠缠对,凭借两个非正交量子态的最佳识别实现了一个未知三体纯纠缠态的概率隐形传送;Zheng 等^[21]提出了使用 EPR 对和三粒子纠缠 GHZ 态作为量子通道隐形传送纠缠 W 态的方案. 这些多体纠缠态的传送方案大多需多个纠缠对资源作量子通道. 随后又提出了许多 N 个粒子纠缠态的隐形传送方案. 例如:Zeng 等在文献^[22]中提出了利用 N 个粒子最大纠缠态实现 $N-1$ 个粒子类猫态的量子隐形传送. 以上所述各个量子隐形传态方案都是把量子态从一个发送者传送到一个接收者. 最近, Yang 等^[23]证明,利用三个两体 EPR 对,一个 GHZ 态

可以被完美地传送给三个遥远的接收者. Dai 等^[24]又提出利用一个部分三粒子纠缠态和一个三粒子纠缠 W 态,将一个三粒子纠缠态传送给两个接收者之一,但其成功的概率小于 1.

在本文的方案中,我们利用一个 $N+1$ 粒子的纠缠态做量子通道,实现了将 M 粒子纠缠态传送到 N 个接收者中的任意 K 个接收者. 首先考察了两能级情形,然后进一步推广到多能级情形. 通过控制引进的辅助粒子数,我们还可以任意调节传送后的纠缠态在接收者间的粒子数分布,且成功传送的概率为 1.

2. 两能级多粒子纠缠态的传送

首先,我们考虑将两能级 M 粒子纠缠态传送给 N 个接收者中的 K 个接收者. 这里, Alice 为发送者,接收者 1,接收者 2, ..., 接收者 N 为 N 个接收者. 假设 Alice 要传送的态为

$$|\Psi\rangle_{1,2,\dots,M} = \alpha |00\dots 0\rangle_{1,2,\dots,M} + \beta |11\dots 1\rangle_{1,2,\dots,M}, \quad (1)$$

其中 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. 所用量子通道可描述为

$$|\Psi\rangle_{A,r_1,r_2,\dots,r_N} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\dots 0\rangle_{A,r_1,r_2,\dots,r_N} + |11\dots 1\rangle_{A,r_1,r_2,\dots,r_N}). \quad (2)$$

这里,粒子 1,粒子 2, ..., 粒子 M 和粒子 A 属于 Alice,粒子 r_1 ,粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 分别属于接收者

^{*} 湖南省教育厅科学研究基金(批准号 05C415)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: liuXiang64@medmail.com.cn

1 接收者 2, ..., 接收者 N 如图 1 所示. Alice 对粒子 1 和粒子 A 进行 Bell 测量, 并把测量结果通过经典通道告诉每个接收者. 由粒子 1, 粒子 2, ..., 粒子 M 和粒子 A, 粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 构成的系统可描述为

$$\begin{aligned}
 & |\Psi\rangle_{1,2,\dots,M,A,r_1,r_2,\dots,r_N} \\
 &= \frac{1}{2} \left[|\Phi^+_{A,1}\rangle(\alpha|00\dots 0_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|00\dots 0_{2,3,\dots,M}\rangle \right. \\
 &+ \beta|11\dots 1_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|11\dots 1_{2,3,\dots,M}\rangle) \\
 &+ |\Phi^-_{A,1}\rangle(\alpha|00\dots 0_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|00\dots 0_{2,3,\dots,M}\rangle \\
 &- \beta|11\dots 1_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|11\dots 1_{2,3,\dots,M}\rangle) \\
 &+ |\Psi^+_{A,1}\rangle(\beta|00\dots 0_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|11\dots 1_{2,3,\dots,M}\rangle \\
 &+ \alpha|11\dots 1_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|00\dots 0_{2,3,\dots,M}\rangle) \\
 &+ |\Psi^-_{A,1}\rangle(\beta|00\dots 0_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|11\dots 1_{2,3,\dots,M}\rangle \\
 &- \alpha|11\dots 1_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|00\dots 0_{2,3,\dots,M}\rangle) \left. \right]. \quad (3)
 \end{aligned}$$

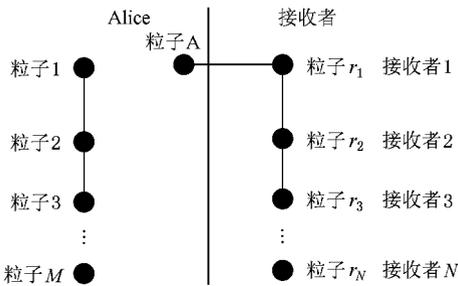


图 1 要传送的态和量子通道

然后, 所有接收者根据他们收到的信息 $|\Phi^\pm_{A,1}\rangle, |\Psi^\pm_{A,1}\rangle$ 作相应的旋转操作(表 1). 这时, 粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 和粒子 2, 粒子 3, ..., 粒子 M 的态演化(图 2)如下:

$$\begin{aligned}
 & |\Psi\rangle_{r_1,r_2,\dots,r_N,2,3,\dots,M} \\
 &= \alpha|00\dots 0_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|00\dots 0_{2,3,\dots,M}\rangle \\
 &+ \beta|11\dots 1_{r_1,r_2,\dots,r_N}\rangle|11\dots 1_{2,3,\dots,M}\rangle. \quad (4)
 \end{aligned}$$

表 1 根据测量结果作用在粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 上的相应操作

Bell 测量结果	相应的操作
$\Phi^+_{A,1}$	$I_1 \otimes I_2 \otimes \dots \otimes I_N$
$\Phi^-_{A,1}$	$\sigma^z_1 \otimes I_2 \otimes \dots \otimes I_N$
$\Psi^+_{A,1}$	$\sigma^x_1 \otimes \sigma^z_2 \otimes \dots \otimes \sigma^z_N$
$\Psi^-_{A,1}$	$\sigma^x_1 \otimes \sigma^z_1 \otimes \sigma^z_2 \otimes \dots \otimes \sigma^z_N$

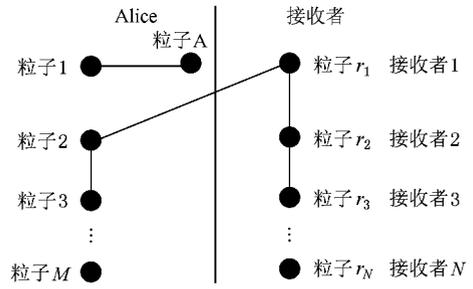


图 2 Alice 对粒子 1 和粒子 A 进行 Bell 测量, 各接收者对手中粒子作相应操作后的状态

假设传送到最后的态由 N 个接收者中的 K 个接收者拥有, 我们用 P_k ($k = 1, 2, \dots, K$) 表示拥有态的接收者, p_k ($k = 1, 2, \dots, K$) 为他们手中对应的粒子, 用 Q_l ($l = 1, 2, \dots, L$) 表示其他接收者, q_l ($l = 1, 2, \dots, L$) 为他们手中对应的粒子, 其中 $K + L = N$. 这样, 由粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 和粒子 2, 粒子 3, ..., 粒子 M 的态也可表示为

$$\begin{aligned}
 & |\Psi\rangle_{r_1,r_2,\dots,r_N,2,3,\dots,M} \\
 &= \alpha|00\dots 0_{q_1,q_2,\dots,q_L}\rangle|00\dots 0_{p_1,p_2,\dots,p_K}\rangle|00\dots 0_{2,3,\dots,M}\rangle \\
 &+ \beta|11\dots 1_{q_1,q_2,\dots,q_L}\rangle|11\dots 1_{p_1,p_2,\dots,p_K}\rangle|11\dots 1_{2,3,\dots,M}\rangle. \quad (5)
 \end{aligned}$$

Alice 在 $|+\rangle, |-\rangle$ 基下对粒子 2 进行测量, 然后根据测量结果 $|+\rangle, |-\rangle$ 对粒子 3 作 I 或 σ_z 操作, 此时系统变为图 3 所示状态. 此后, Alice 对手中其余粒子重复上述过程, 并把对 M 粒子的测量结果告诉接收者 Q_1 . 接收者 Q_1 根据收到的信息对其手中的粒子也作相应操作. 接着接收者 Q_2 , 接收者 Q_3 , ..., 接收者 Q_L 对他们拥有的粒子重复这个过程, 且接收者 Q_L 把自己的测量结果告诉接收者 P_1 . 在接收者 P_1 作完相应操作后, 粒子 p_1 , 粒子 p_2 , ..., 粒子 p_K 的态演变为

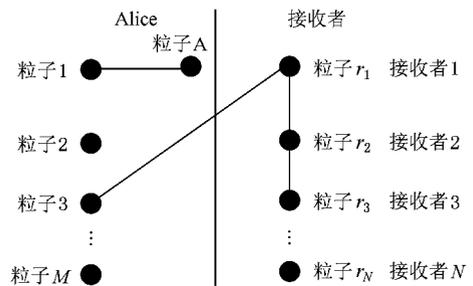


图 3 Alice 在 $|+\rangle, |-\rangle$ 基下对粒子 2 进行测量, 对粒子 3 作 I 或 σ_z 操作后的状态

$$\begin{aligned} & |\Psi\rangle_{p_1 p_2 \dots p_K} \\ &= \alpha |00\dots 0\rangle_{p_1 p_2 \dots p_K} \\ &+ \beta |11\dots 1\rangle_{p_1 p_2 \dots p_K}. \end{aligned} \quad (6)$$

假设拥有最后态的接收者 P_k 拥有的粒子数为

p_{kh_k} ($k = 1, 2, \dots, K$), 其中 $\sum_{k=1}^K p_{kh_k} = N$. 那么接收者 P_k 需引进粒子 p_{k1} , 粒子 p_{k2} , ..., 粒子 $p_{k(h_k-1)}$, 并分别对粒子对 (p_k, p_{k1}) , (p_k, p_{k2}) , ..., $(p_k, p_{k(h_k-1)})$ 作 CNOT 操作. 粒子 p_k 为控制比特, 粒子 p_{k1} , 粒子 p_{k2} , ..., 粒子 $p_{k(h_k-1)}$ 为目标比特. 这样, 由粒子 p_1 , 粒子 p_{11} , ..., 粒子 $p_{1(h_1-1)}$, 粒子 p_2 , ..., 粒子 $p_{K(h_K-1)}$ 构成的系统演变为

$$\begin{aligned} |\Psi\rangle_{p_1 p_{11} \dots p_{Kh_K}} &= \alpha |00\dots 0\rangle_{p_1 p_{11} \dots p_{Kh_K}} \\ &+ \beta |11\dots 1\rangle_{p_1 p_{11} \dots p_{Kh_K}}. \end{aligned} \quad (7)$$

这正是我们要传送的态. 于是, 我们成功地将未知的 M 粒子纠缠态从一个接收者传到了 N 个接收者中的 K 个接收者, 成功传送的概率为 1. 这里 $K \leq N$.

3. D 能级多粒子纠缠态的传送

下面我们考虑将 D 能级 M 粒子纠缠态传送给 N 个接收者中的任意 K 个接收者. 同样, Alice 为发送者, 接收者 1, 接收者 2, ..., 接收者 N 为 N 个接收者. 假设 Alice 要传送的态为

$$|\Psi\rangle_{1, 2, \dots, M} = \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll\dots l\rangle_{1, 2, \dots, M}. \quad (8)$$

这里

$$\sum_{l=0}^{D-1} |\omega_l|^2 = 1.$$

所用量子通道描述为

$$|\Psi\rangle_{A, r_1, r_2, \dots, r_N} = \frac{1}{\sqrt{D}} \sum_{k=0}^{D-1} |kk\dots k\rangle_{A, r_1, r_2, \dots, r_N} \quad (9)$$

这里粒子 1, 粒子 2, ..., 粒子 M 和粒子 A 属于 Alice, 粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 分别属于接收者 1, 接收者 2, ..., 接收者 N . 由粒子 1, 粒子 2, ..., 粒子 M 和量子通道构成的系统为

$$\begin{aligned} |\Psi\rangle_{\text{total}} &= |\Psi\rangle_{1, 2, \dots, M} \otimes |\Psi\rangle_{A, r_1, r_2, \dots, r_N} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll\dots l\rangle_{1, 2, \dots, M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \otimes \frac{1}{\sqrt{D}} \sum_{k=0}^{D-1} |kk\dots k\rangle_{A, r_1, r_2, \dots, r_N} \\ &= \sum_{n, m=0}^{D-1} |\Psi^{nm}\rangle_{1, A} \otimes |\Phi^{nm}\rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N, 2, 3, \dots, M}, \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$|\Psi^{nm}\rangle_{1, A} = \frac{1}{\sqrt{D}} \sum_{j=0}^{D-1} e^{2\pi i j n / D} |j\rangle_1 |(j+m) \bmod D\rangle_A, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & |\Phi^{nm}\rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N, 2, 3, \dots, M} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} e^{-2\pi i l n / D} \omega_l |(l+m) \bmod D\rangle_{r_1} \dots \\ & \quad \times \bmod D \langle (l+m) \bmod D \rangle_{r_N} \dots \\ & \quad \times \langle (l+m) \bmod D \rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N} \\ & \quad \otimes |ll\dots l\rangle_{2, 3, \dots, M}. \end{aligned} \quad (12)$$

Alice 对粒子 1 和粒子 A 进行广义 Bell 测量. 如果测得结果为 $|\Psi^{nm}\rangle_{1, A}$, 那么粒子 2, 粒子 3, ..., 粒子 M 和粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 的态塌缩为

$$\begin{aligned} & |\Psi\rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N, 2, 3, \dots, M} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} e^{-2\pi i l n / D} \omega_l |(l+m) \bmod D\rangle_{r_1} \dots \\ & \quad \times \langle (l+m) \bmod D \rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N} \otimes |ll\dots l\rangle_{2, 3, \dots, M} \end{aligned} \quad (13)$$

Alice 完成测量之后将结果告诉每个接收者. 接收者 1, 接收者 2, ..., 接收者 N 分别对粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 作么正变换 $U_{nm}^1, U_{nm}^2, \dots, U_{nm}^N$.

$$U_{nm}^1 = \sum_{k=0}^{D-1} e^{2\pi i j k n / D} |k\rangle_{r_1} \langle (k+m) \bmod D|, \quad (14)$$

$$U_{nm}^i = \sum_{k=0}^{D-1} |k\rangle_{r_i} \langle (k+m) \bmod D| \quad (i = 2, 3, \dots, N). \quad (15)$$

这样, 粒子 2, 粒子 3, ..., 粒子 M 和粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 的态演变为

$$\begin{aligned} & |\Phi\rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N, 2, 3, \dots, M} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll\dots l\rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N} \otimes |ll\dots l\rangle_{2, 3, \dots, M}. \end{aligned} \quad (16)$$

我们用 P_k ($k = 1, 2, \dots, K$) 表示拥有态的接收者, p_k ($k = 1, 2, \dots, K$) 为他们手中对应的粒子, 用 Q_l ($l = 1, 2, \dots, L$) 表示其他接收者, q_l ($l = 1, 2, \dots, L$) 为他们手中对应的粒子, 其中 $K + L = N$. 这样, 由粒子 r_1 , 粒子 r_2 , ..., 粒子 r_N 和粒子 2, 粒子 3, ..., 粒子 M 的态也可表示为

$$|\Phi\rangle_{r_1, r_2, \dots, r_N, 2, 3, \dots, M}$$

$$= \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll \dots l_{q_1 q_2 \dots q_L} \otimes |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K} \otimes |ll \dots l_{2 3 \dots M}. \quad (17)$$

然后 Alice 对粒子 2 进行量子傅里叶变换 U_{QFT}^2 , 即

$$\begin{aligned} & U_{\text{QFT}}^2 |\Phi_{r_1 r_2 \dots r_N 2 3 \dots M} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll \dots l_{q_1 q_2 \dots q_L} \otimes |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K} \\ & \otimes \sum_{j=0}^{D-1} e^{2\pi i j l / D} |j_2 |ll \dots l_{3 \dots M} \\ &= \sum_{j=0}^{D-1} |j_2 \sum_{l=0}^{D-1} e^{2\pi i j l / D} \omega_l |ll \dots l_{q_1 q_2 \dots q_L} \\ & \otimes |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K} |ll \dots l_{3 \dots M}. \quad (18) \end{aligned}$$

Alice 再对粒子 2 用基矢 $|j (j = 0, 1, \dots, D-1)$ 进行测量. 若测量结果为 $|j_2$, 则其余粒子的态塌缩为

$$\begin{aligned} & |\Phi_{r_1 r_2 \dots r_N 3 \dots M} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} e^{2\pi i j l / D} \omega_l |ll \dots l_{q_1 q_2 \dots q_L} \\ & \otimes |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K} \otimes |ll \dots l_{3 \dots M}. \quad (19) \end{aligned}$$

接着 Alice 对粒子 3 作么正变换 U_{jk} , 即

$$U_{jk} = \sum_{k=0}^{D-1} e^{-2\pi i j k / D} |k \ k|. \quad (20)$$

这样, 上述 $|\Phi_{r_1 r_2 \dots r_N 3 \dots M}$ 态变为

$$\begin{aligned} & |\Phi_{r_1 r_2 \dots r_N 3 \dots M} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll \dots l_{q_1 q_2 \dots q_L} \otimes |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K} \\ & \otimes |ll \dots l_{3 \dots M}. \quad (21) \end{aligned}$$

此后, Alice 对粒子 3, 粒子 4, ..., 粒子 M 重复上述过程, 并把对 M 粒子的测量结果告诉接收者 Q_l . 接收者 Q_l 根据收到的信息对粒子 q_1 作么正变换 U_{jk} . 这时粒子 q_1 , 粒子 q_2, \dots , 粒子 q_L , 粒子 p_1 , 粒子 p_2, \dots , 粒子 p_K 的态具有如下形式:

$$\begin{aligned} & |\Phi_{q_1 q_2 \dots q_L p_1 p_2 \dots p_K} \\ &= \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll \dots l_{q_1 q_2 \dots q_L} \otimes |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K}. \quad (22) \end{aligned}$$

拥有粒子 q_1 , 粒子 q_2, \dots , 粒子 q_L 的接收者重复这个过程, 即接收者 Q_l 对粒子 q_l 作量子傅里叶变换 U_{QFT}^q , 然后在基矢 $|j (j = 0, 1, \dots, D-1)$ 下测量并把结果告诉接收者 Q_{l+1} , 接收者 Q_{l+1} 对其手中的粒子作么正变换 U_{jk} . 最后接收者 Q_L 把测量结果告

诉接收者 P_1 , 接收者 P_1 也根据收到的信息对粒子 p_1 作 U_{jk} 变换. 这样, 可使粒子 p_1 , 粒子 p_2, \dots , 粒子 p_K 的态演变为

$$|\Phi_{p_1 p_2 \dots p_K} = \sum_{l=0}^{D-1} \omega_l |ll \dots l_{p_1 p_2 \dots p_K}. \quad (23)$$

假设拥有最后态的接收者 P_k 拥有的粒子数为 $p_{kh_k} (k = 1, 2, \dots, K)$, 则他需引进辅助粒子(粒子 p_{k1} , 粒子 p_{k2}, \dots , 粒子 $p_{k(h_k-1)}$), 每个粒子有 D 个信息存储能级 $|j$ 和 D 个辅助能级 $|a_j (j = 0, 1, 2, \dots, D-1)$, 且这些辅助粒子的初态为 $\sum_{j=0}^{D-1} |a_j a_j \dots a_j_{p_{k1} p_{k2} \dots p_{k(h_k-1)}}$. 接收者 P_k 分别对粒子对 $(p_k, p_{k1}), (p_k, p_{k2}), \dots, (p_k, p_{k(h_k-1)})$ 作联合么正操作 U_{CNOT} .

这里, 我们对粒子 p_k 引入了 D 个辅助能级 $|a_j (j = 0, 1, 2, \dots, D-1)$. 联合么正操作可表示为 $|ll \ a_l | + |l a_l \ l| + |a_l \ a_l | + |a_l a_l \ a_l | (l = 0, 1, 2, \dots, D-1)$. 这时粒子 p_1 , 粒子 p_{11}, \dots , 粒子 p_{1h_1}, \dots , 粒子 p_{Kh_K} 的态演化为

$$\begin{aligned} & |\Phi_{p_1 p_{11} \dots p_{1h_1} \dots p_{Kh_K}} \\ &= \sum_{j=0}^{D-1} \omega_l |ll \dots l_{p_1 p_{11} \dots p_{1h_1} \dots p_{Kh_K}}. \quad (24) \end{aligned}$$

这正是我们要传送的态. 于是, 我们成功地将未知的 D 能级 M 粒子纠缠态从一个接收者传到了 N 个接收者中的 K 个接收者, 成功传送的概率为 1. 这里 $K \leq N$.

4. 结 论

本文分别在二维系统和高维系统中讨论了 N 粒子纠缠态的传送. 纠缠是一种重要的资源, 纠缠态的大批量制备在目前还有许多不可逾越的困难且要消耗大量的资源, 纠缠分布过程中受环境的噪声干扰也是无法完全避免的, 所以在量子信息处理中纠缠资源的节省成为一项重要的研究任务. 以往 N 粒子纠缠态的传送方案多需消耗 N 个纠缠对资源和 $2N$ 个粒子数, 本文仅用一个纠缠态作量子通道实现了 N 粒子纠缠态的传送, 节省了大量纠缠资源. 量子通信和量子计算是一个网络, 通常有多个参与者. 因此, 本文探索多粒子纠缠态传送给多个接收者对真正实现量子网络的量子计算和量子通信都有重要的意义.

- [1] Bennett C H , Brassard G , Crepeau C , Jozsa R , Peres A , Wootters W 1993 *Phys. Rev. Lett.* **70** 1895
- [2] Braunstein S L , Mann A 1995 *Phys. Rev. A* **51** R1727
- [3] Barenco A , Deutsch D , Ekert A 1995 *Phys. Rev. Lett.* **74** 4083
- [4] Cirac J I , Parkins A S 1994 *Phys. Rev. A* **50** R4441
- [5] Cirac J I , Zoller P 1995 *Phys. Rev. Lett.* **74** 4091
- [6] Song K H , Zhang W J , Guo G C 2002 *Chin. Phys.* **11** 218
- [7] Liu J M , Zhang Y S , Guo G C 2003 *Chin. Phys.* **12** 251
- [8] Bouwmeester D , Pan J W , Mattle K , Eibl M , Weinfurter H , Zeilinger A 1997 *Nature* **390** 575
- [9] Boschi D , Branca S , Martini F D , Hardy L , Popescu S 1998 *Phys. Rev. Lett.* **80** 1121
- [10] Furusawa A , Sorensen J L , Braunstein S L , Fuchs C A , Kimble H J , Polzik E S 1998 *Science* **282** 706
- [11] Nielsen M A , Knill E , Laflamme R 1998 *Nature* **396** 52
- [12] Kim Y H , Kulik S P , Shih Y H 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 1370
- [13] Lombardi E , Sciarrino F , Popescu S , Martini F D 2002 *Phys. Rev. Lett.* **88** 070402
- [14] Ikram M , Zhu S Y , Zubairy M S 2000 *Phys. Rev. A* **62** 022307
- [15] Lu H , Guo G C 2000 *Phys. Lett. A* **276** 209
- [16] Lee Y , Kim M S 2000 *Phys. Rev. Lett.* **84** 4236
- [17] Li W L , Li C F , Guo G C 2000 *Phys. Rev. A* **61** 034301
- [18] Yang C P , Guo G C 1999 *Chin. Phys. Lett.* **16** 628
- [19] Lu H 2001 *Chin. Phys. Lett.* **18** 1004
- [20] Liu J M , Guo G C 2002 *Chin. Phys. Lett.* **19** 456
- [21] Zheng Y Z , Gu Y J , Guo G C 2002 *Chin. Phys.* **11** 537
- [22] Zeng B , Liu X S , Li S Y , Long L G 2002 *Commun. Theor. Phys.* **38** 537
- [23] Yang C P , Gea-Banacloche J 2001 *Quantum Semiclass. Opt.* **3** 407
- [24] Dai H Y , Li C Z , Chen P X 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 1196

Teleportation of the M -particle entangled state by using one entangled state^{*}

Tang You-Liang Liu Xiang[†] Zhang Xiao-Wei Tang Xiao-Fang
 (Department of Physics , Hunan Normal University , Changsha 410081 , China)
 (Received 21 December 2006 ; revised manuscript received 27 August 2008)

Abstract

Respectively in two- and high-dimensional systems , we propose schemes for teleportation of a M -particle entangled state using one entangled state as channel. In this scheme , there are many receivers. By controlling the number of the introduced auxiliary particles , these receivers can arbitrarily adjust the distribution of the teleported entangled state 's particles among them and the probability of the success is 1 .

Keywords : quantum teleportation , entangled state , quantum channel

PACC : 0365 , 0367

^{*} Project supported by the Scientific Research Foundation of the Education Bureau of Hunan Province , China (Grant No. 05C415).

[†] Corresponding author. E-mail liuXiang64@medmail.com.cn