

基于量子隐形传态的数据链路层选择重传协议*

杨小琳 周小清[†] 赵晗 王朋朋

(吉首大学物理科学与信息工程学院, 吉首 416000)

(2011年1月16日收到; 2011年4月11日收到修改稿)

提出了数据链路层中基于量子隐形传态的量子选择重传协议. 即在量子网络的两个站点进行通信时, 发送方通过加入辅助量子比特位, 把一系列的量子比特分成 m 帧. 在连续传送 m 个量子帧后, 接收方根据发送方所提供的经典信息, 判断自己是否收到正确无误的量子帧. 若接收方收到了正确的量子帧, 则用量子信道返回确认帧; 若接收方没有收到量子帧或收到错误的量子帧, 则不返回否认帧. 发送方在设定的时间内, 根据收到的确认帧判断需要重发的量子帧. 由于只重发丢失或出错的量子帧, 该协议减少了通信过程的传播时延, 提高了通信效率. 在整个通信过程中, 仅用经典信道传送测量信息, 从而降低了经典信道的负担.

关键词: 量子通信, 隐形传态, 数据链路层, 量子选择重传协议

PACS: 03.67.Hk, 42.50.Ex, 89.70.-a

1 引言

在过去的几十年内, 计算机网络的发展为人们的衣食住行提供了方便. 但随着通信技术的飞速发展及计算机网络中数据流量需求的急剧增长, 现有的计算机网络已很难满足人们的要求, 人们需要更快捷、更高效的网络来传输信息. 随着量子信息科学的发展, 特别是 1993 年 Bennett 等人提出量子隐形传态的理论方案^[1]以来, 各种量子隐形传态方案相继被提出, 其中有基于 Bell 基联合测量的量子隐形传态方案^[2,3]; 连续变量的量子隐形传态方案^[4]; 利用受控非门和单个量子比特所构成的量子回路实现量子隐形传态的方案^[5]; 基于腔 QED(腔量子电动力学)的量子隐形传态方案^[6-8]; 利用非最大纠缠态做量子信道的概率量子隐形传态方案^[9]; 利用离子阱实现量子隐形传态的方案^[10]利用非局域测量来实现量子态的隐形传送方案^[11]; 利用 W 态或 GHZ 态做量子信道实现量子态的隐形传送方案^[12-14]; 以及多个用户之间的量子隐形传态方案^[15-17]; 基于贝尔态的受控量子隐形传态方案^[18]等. 在实验研究方面, 自 1997 年 Bouwneester

等人在实验上实现了量子隐形传态^[19]之后, 各国研究者分别用不同的实验方案成功实现了量子隐形传态^[20-24]. 最近, 周小清等也提出利用三粒子纠缠态实现令牌环量子隐形传态网络的量子网络模型^[25]并计算了其保真度^[26], 讨论了点到点量子隐形传态网络的互联与路由策略^[27], 使量子网络内各站点之间的通信成为可能, 以适应现代人类所需要的高效、快捷的通信.

在量子网络中的两个站点之间进行通信时, 如何维持连接、以及出现差错后应如何处理等问题的研究还比较少. 利用量子力学中的纠缠关联性, 周南润等提出了基于数据链路层的相关协议^[28,29]有效地提高数据链路的最大吞吐量, 改善数据链路层协议的性能. 但这些协议传送的仍然是经典信息, 并不能应用于量子隐形传态网络中. 因此, 笔者根据量子隐形传态理论和量子克隆的相关知识, 提出基于量子隐形传态网络的量子停等协议^[30], 该协议虽然能应用于量子网络中, 但量子停等协议要求每传送一个量子帧, 就要等待接收方返回确认帧之后才能发送下一个量子帧, 这样信道的利用率不高. 因此笔者基于数据链路层的特点, 提出基于量子隐

* 湖南省自然科学基金(批准号: 11JJ3003)、湖南省科技计划项目(批准号:2010FJ3081)和吉首大学校级项目(批准号:09JDY005)资助的课题.

[†] E-mail: zhouxq_jd@163.com

形传态的数据链路层选择重传协议.

2 量子态的复制与隐形传送

首先假设发送方 Alice 处要发送的量子比特流为

$$|\Psi\rangle_1^1 = a_1 |0\rangle_1 + b_1 |1\rangle_1; |\Psi\rangle_1^2 = a_2 |0\rangle_1 + b_2 |1\rangle_1; |\Psi\rangle_1^3 = a_3 |0\rangle_1 + b_3 |1\rangle_1 \cdots |\Psi\rangle_1^n = a_n |0\rangle_1 + b_n |1\rangle_1; \\ |\Psi\rangle_1^{n+1} = a_{n+1} |0\rangle_1 + b_{n+1} |1\rangle_1 \cdots |\Psi\rangle_1^{2n} = a_{2n} |0\rangle_1 + b_{2n} |1\rangle_1 \cdots |\Psi\rangle_1^{n \times m} = a_{n \times m} |0\rangle_1 + b_{n \times m} |1\rangle_1. \quad (1)$$

其中, $a_n^2 + b_n^2 = 1, m, n$ 均为正整数.

根据 Bužek-Hillery 的 1→2 的普适克隆机原理 [31,32] 可知, 假设输入态为 $|\Psi\rangle_1^n = a_n |0\rangle_1 + b_n |1\rangle_1$, 根据下列么正变换:

$$|0\rangle_a |R\rangle_b |Q\rangle_x \rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}} |0\rangle_a |0\rangle_b |1\rangle_x - \sqrt{\frac{1}{3}} |\Psi^+\rangle_{ab} |0\rangle_x, \quad (2) \\ |1\rangle_a |R\rangle_b |Q\rangle_x \rightarrow -\sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_a |1\rangle_b |0\rangle_x + \sqrt{\frac{1}{3}} |\Psi^+\rangle_{ab} |1\rangle_x,$$

输入态 $|\Psi\rangle_1^n$ 经过普适量子克隆机后, 变成如下状态:

$$|\Psi\rangle_1^n |R\rangle_b |Q\rangle_x \rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}} |\Psi\rangle_1^n |\Psi\rangle_1^n |\Psi^\perp\rangle_1^n \\ - \sqrt{\frac{1}{6}} (|\Psi\rangle_1^n |\Psi^\perp\rangle_1^n + |\Psi^\perp\rangle_1^n |\Psi\rangle_1^n) \\ \times |\Psi\rangle_1^n, \quad (3)$$

其中, $|\Psi^+\rangle_{ab} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{ab} + |10\rangle_{ab}), |\Psi^\perp\rangle_1^n = a_n^* |1\rangle_1 - b_n^* |0\rangle_1$. 由 (3) 式可知, 两个输出态的密度矩阵为

$$\rho_a = \rho_b = \frac{5}{6} |\Psi\rangle_1^n \langle\Psi| + \frac{1}{6} |\Psi^\perp\rangle_1^n \langle\Psi^\perp|. \quad (4)$$

因此 1→2 的最佳对称克隆的保真度为 $F_a = F_b = \langle\Psi|\rho_a|\Psi\rangle_1^n = \frac{5}{6}$, 即完成了在闲时将发送方 Alice 处的量子比特流 $|\Psi\rangle_1^n$ 均以 5/6 的概率复制成两份, 并预先制备 $2[(n \times m + 8m + n \times m/5) + m]$ 个 EPR 纠缠对:

$$|\Psi^-\rangle_{23}^1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{23}^1 - |10\rangle_{23}^1); \\ |\Psi^-\rangle_{23}^2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{23}^2 - |10\rangle_{23}^2); \\ |\Psi^-\rangle_{23}^3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{23}^3 - |10\rangle_{23}^3); \\ \dots \\ |\Psi^-\rangle_{23}^N = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{23}^N - |10\rangle_{23}^N). \quad (5)$$

其中, $N = 2(n \times m + 8m + n \times m/5)$,

$$|\Psi^-\rangle_{56}^1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{56} - |10\rangle_{56}); \\ |\Psi^-\rangle_{56}^2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{56} - |10\rangle_{56}); \\ |\Psi^-\rangle_{56}^3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{56} - |10\rangle_{56}); \\ \dots \\ |\Psi^-\rangle_{56}^{2m} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{56}^{2m} - |10\rangle_{56}^{2m}). \quad (6)$$

并让所有粒子 2,6 处于发送方 Alice 处, 所有粒子 3,5 处于接收方 Bob 处. 并在 Bob 处制备 $2m$ 个确认量子态:

$$|\Psi\rangle_4^1 = \frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_4^1 + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_4^1; \\ |\Psi\rangle_4^2 = \frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_4^2 + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_4^2; \\ |\Psi\rangle_4^3 = \frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_4^3 + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_4^3; \\ \dots \\ |\Psi\rangle_4^{2m} = \frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_4^{2m} + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_4^{2m}. \quad (7)$$

则粒子 1,2,3 所组成的系统的量子态为

$$|\Psi\rangle_{123}^n = |\Psi\rangle_1^n \otimes |\Psi^-\rangle_{23}^n \\ = (a_n |0\rangle_1^n + b_n |1\rangle_1^n) \\ \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{23}^n - |10\rangle_{23}^n). \quad (8)$$

在制备好所有需要的的量子态后, Alice 依次对 n 个系统内在发送方以 5/6 的概率复制出的两个原量子态 $|\Psi\rangle_1^n$ 和纠缠态中的粒子 2 进行联合 Bell 基测量, 则上式变为

$$\frac{1}{2} [|\Psi^-\rangle_{12}^n (-a_n |0\rangle_3^n - b_n |1\rangle_3^n) + |\Psi^+\rangle_{12}^n (-a_n |0\rangle_3^n + b_n |1\rangle_3^n) \\ + |\Phi^-\rangle_{12}^n (b_n |0\rangle_3^n + a_n |1\rangle_3^n) + |\Phi^+\rangle_{12}^n (-b_n |0\rangle_3^n + a_n |1\rangle_3^n)] \\ = \frac{1}{2} [|\Psi^-\rangle_{12}^n (-I) (a_n |0\rangle_3^n + b_n |1\rangle_3^n) + |\Psi^+\rangle_{12}^n (-\sigma_z) (a_n |0\rangle_3^n + b_n |1\rangle_3^n) \\ + |\Phi^-\rangle_{12}^n \sigma_x (a_n |0\rangle_3^n + b_n |1\rangle_3^n) + |\Phi^+\rangle_{12}^n (-i\sigma_y) (a_n |0\rangle_3^n + b_n |1\rangle_3^n). \quad (9)$$

则 Alice 的测量结果为 (5) 式中的四个 Bell 基中的一个 (如表 1 第一列所示), 假设 Alice 测量结果为 $|\Psi^-\rangle_{12}^n$, 则整个系统的态变为

$$|\Psi^-\rangle_{12}^n \langle\Psi^-|\Psi\rangle_{123}^n = -\frac{1}{2} |\Psi^-\rangle_{12}^n \otimes (a_n |0\rangle_3^n + b_n |1\rangle_3^n) \quad (10)$$

Alice 通过经典信道把测量结果发送给 Bob, Bob 根据 Alice 的测量结果对粒子 3 做相应的么正变换便可使粒子 3 处在发送方的未知量子态 $|\Psi\rangle_1^n$ 上, 即隐形传态成功. 若 Alice 测量结果为另外三个 Bell 基, 则粒子 3 所处的量子态及相应的么正变换由表 1 列出.

表 1 通信中各方的测量结果及么正变换

Alice 的测量结果	粒子 3 的量子态	Bob 处的么正变换
$ \Psi^-\rangle_{12}^n$	$-a_n 0\rangle_3^n - b_n 1\rangle_3^n$	$-I$
$ \Psi^+\rangle_{12}^n$	$-a_n 0\rangle_3^n + b_n 1\rangle_3^n$	$-\sigma_z$
$ \Phi^-\rangle_{12}^n$	$b_n 0\rangle_3^n + a_n 1\rangle_3^n$	σ_x
$ \Phi^+\rangle_{12}^n$	$-b_n 0\rangle_3^n + a_n 1\rangle_3^n$	$i\sigma_y$

3 量子帧在物理层的传输

在发送方 Alice 处, 物理层每次从数据链路层中取出一个量子帧 (n 个量子比特 $|\Psi\rangle_1^1, |\Psi\rangle_1^2, \dots, |\Psi\rangle_1^n$), 并在每帧前加上 8 位分帧标志 $|01111110\rangle$. 由于所要传的量子比特均为叠加态 $a_n |0\rangle_n + b_n |1\rangle_n$

总是以 a_n^2 的概率处在 $|0\rangle$ 态上, 以 b_n^2 的概率处在 $|1\rangle$ 态上. 因此在一帧中有可能存在和分帧标志相同的字节. 为了和分帧标志 $|01111110\rangle$ 区分, 每传送 5 个量子比特, 自动在其后加上一个辅助量子比特 $|0\rangle$. 量子帧内的比特以及辅助量子比特的传输均是用隐形传态的方案进行传送.

在接收方 Bob 处, 在探测到 8 位分帧标志 $|01111110\rangle$ 后去掉分帧标志, 开始接收一个量子帧内的量子比特. 每接收到 5 个量子比特后, 自动去掉其后收到的辅助量子比特 $|0\rangle$. 当接收方接收到一个完整的量子帧时, 将其上传给数据链路层.

4 量子选择重传协议

当接收方收到一个完整的量子帧时, 把它放在接收缓存中并返回一个确认帧给发送方; 若量子帧因受到外界环境的影响而发生改变, 则丢弃此量子帧, 不返回否认帧. 继续接收发送方传送过来的其他量子帧, 并重复上述步骤直到接收完成. 具体用量子信道返回确认帧的过程如下.

4.1 确认帧的返回

当 Bob 收到第 i 个正确无误的量子帧时 (其中 $0 \leq i \leq m-1, i$ 为正整数, m 为缓存窗口的最大值), 对自己手中的粒子 4,5 进行联合 Bell 基测量, 有

$$\begin{aligned} |\Psi\rangle_{456}^i &= |\Psi\rangle_{45}^i \otimes |\Psi^-\rangle_{56}^i \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_4^i + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_4^i \right) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle_{56}^i - |10\rangle_{56}^i) \\ &= \frac{1}{2} \left[|\Psi^+\rangle_{45}^i \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_6^i + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_6^i \right) + |\Psi^-\rangle_{45}^i \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_6^i - \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_6^i \right) \right. \\ &\quad \left. + |\Phi^+\rangle_{45}^i \left(-\sqrt{\frac{2}{3}} |0\rangle_6^i + \frac{1}{\sqrt{3}} |1\rangle_6^i \right) + |\Phi^-\rangle_{45}^i \left(\sqrt{\frac{2}{3}} |0\rangle_6^i + \frac{1}{\sqrt{3}} |1\rangle_6^i \right) \right]. \quad (11) \end{aligned}$$

由上式可见, 如果接收方 Bob 发出了确认帧, 则发送方 Alice 手中的粒子 6 必定为 $-\frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_6^i + \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_6^i, -\frac{1}{\sqrt{3}} |0\rangle_6^i - \sqrt{\frac{2}{3}} |1\rangle_6^i, -\sqrt{\frac{2}{3}} |0\rangle_6^i + \frac{1}{\sqrt{3}} |1\rangle_6^i, \sqrt{\frac{2}{3}} |0\rangle_6^i + \frac{1}{\sqrt{3}} |1\rangle_6^i$ 四个量子态中的一个. 在设定的

的时间内, 发送方 Alice 测量自己手中的第 i 个粒子 6, 当粒子 6 所处的量子态为上述四个量子态中任意一个时, 表明第 i 个量子帧已正确接收. 这样 Alice 根据自己的测量结果, 可知自己发送的 m 个量子帧中哪一个或者哪几个没有被接收方正确

接收. 只需根据原备份的量子态重新传送出错的量子帧, 而不是像连续重传协议一样舍弃自出错起的所有后续量子帧, 这样就明显提高了信道的利用率. 用量子信道返回否认帧, 由于量子信息传输的瞬时性, 大大降低了传输时延, 提高了传输效率.

4.2 量子选择重传协议

根据以上传输方案, 数据链路层的选择重传协议的算法表述如下:

假设 i 表示量子帧序号, $V(A)$ 表示发送状态变量, $M(A)$ 表示发送序号, m 表示发送窗口最大值, t_i 为第 i 个量子帧的计时器, 其中 t_1^i 为传输第 i 个量子帧所用时间, t_2^i 为返回第 i 个确认帧所用时间.

在发送节点 A :

1) 先制备纠缠态, 并把 N 个量子比特流均以 $5/6$ 的概率复制成两份.

2) 从主机中取出第 i 个量子帧, i 从 0 开始 ($0 \leq i \leq m-1$).

3) $V(A) \leftarrow i$. 将发送状态变量初始化.

4) $M(A) \leftarrow V(A)$. 将发送状态变量的数值写入发送序号, 并将此量子帧送交发送缓存.

5) 对每个量子帧设置一个计时器, 并将计时器清零即 $t_i=0$.

6) 将发送缓存中序号为 $M(A)$ 的量子帧用隐形传态的方案发送给接收方 Bob . 并启用此量子帧的计时器.

7) 当 $t_i = t_1^i + t_2^i$ 时, 判断是否收到确认帧. 若收到确认帧, 表明量子帧已经被正确接收; 若没有收到确认帧, 则记下未收到确认帧的量子帧序号 $M(A)$. 将原来复制的量子帧中序号为 $M(A)$ 的量子帧重发.

8) $V(A) \leftarrow [V(A)+1]$. 更新发送状态变量, 变为下一个量子帧的序号, 并转到 4).

在接收节点 B :

1) 等待.

2) 收到一个量子帧时, 对其进行检查, 看是否出错. 若有错, 丢弃此量子帧, 提取量子帧序号 $M(A)$ 并转到 1); 否则, 执行后续算法.

3) 将收到的正确的量子帧送交至接收缓存中, 并按量子帧的编号进行存放, 留出所缺量子帧的存储空间.

4) 更新接收下一个量子帧. 同时执行量子测

量, 发送相应量子帧的确认帧, 转到 1).

5) 将记录下来的错误的量子帧的序号赋值给接收状态变量, 重新接收重传的量子帧并执行 1) 到 3).

6) 将接收到的重传的量子帧按序号放进空出的储存空间. 若已经正确接收的量子帧, (因发送方未规定的时间内收到确认帧) 又被重新接受, 则丢弃此重传量子帧并重新发送确认帧.

7) 将接收缓存中完整的 m 个量子帧送交主机.

与经典的计算机网络通信中的选择重传协议所不同的是, 基于量子隐形传态的数据链路层的选择重传协议所传的是量子信息, 根据态叠加原理, 可以在一个量子比特中编码比经典比特更为丰富的信息, 提高了信息的储存量. 另外, 根据量子隐形传态的瞬时性, 量子帧的发送及确认帧的返回时间都是瞬时完成的, 这样就缩短了传输时间, 提高了通信效率. 在整个通信过程中, 只用经典信道传送测量信息, 量子帧的传送和确认帧的返回都是用量子信道完成, 降低了经典信道的负担.

5 结论

在经典计算机网络数据链路层的选择重传协议的基础上, 根据量子隐形传态的基本理论以及量子克隆的相关知识, 研究基于量子隐形传态的数据链路层选择重传协议. 即在量子网络的数据链路层中的两个站点进行通信时, 发送一系列的量子比特流, 并先对这些比特流进行备份, 再通过加入 8 位分帧标志量子比特及辅助量子比特 $|0\rangle$ 对比特流进行分帧. 接收方收到量子帧时, 首先判断此量子帧是否正确. 若接收方根据收到了正确的量子帧, 则用量子信道返回确认帧; 若接收方没有收到量子帧或收到错误的量子帧, 则不返回否认帧. 发送方在设定的时间内, 根据收到的确认帧判断需要重发 m 个量子帧中的哪一个或者哪几个.

与文献 [29] 中仅用量子信道返回确认帧的方案相比较, 本文用量子信道传送比经典数据帧编码更多信息的量子帧, 这样不但提高了传送过程中信息量, 且整个过程只用经典信道传送测量信息, 降低了经典信道的负担. 与文献 [28,30] 相比较, 本文的量子选择重传协议在量子帧的传送是连续的, 不需要像量子停等协议一样每传送一个量子帧就需

要停下等待返回确认帧;且量子选择重传协议只需重传出错或缺失的量子帧,而不是像连续重传协议一样重传自出错起的所有后续量子帧.因此,此方案就提高了量子网络中数据链路层的传送效率.

根据量子隐形传态的瞬时性,实现量子网络中数据链路层的两个站点之间的数据通信的选择重

传协议,在理论上切实可行,但在实验实现上很复杂.还有很多问题有待解决,比如,如何对一系列的量子比特进行有效的操控、如何制备一系列抗干扰能力较强的纠缠信道等.尽管有很多问题目前还尚未解决,相信量子网络通信会随着科技的发展而逐步实现,以应用于现实生活中.

- [1] Bennett C H, Brassard G, Crepeau C, Jozsa R, Peres A, Wootters W K 1993 *Phys. Rev. Lett.* **70** 1895
- [2] Sleator T, Weinfurter H 1995 *Phys.Rev.Lett.* **74** 4087
- [3] Davidovich L, Zagury N, Brune M, Raimond J M, Haroche S 1994 *Phys. Rev. A(R)* **50** 895
- [4] Vaidman L 1994 *Phys. Rev. A* **49** 1473
- [5] Brassard G, Mann A 1995 *Phys. Rev. A* **51** 1727
- [6] Cirac J I, Parkins A S 1994 *Phys. Rev. A* **50** 4441
- [7] Cirac J, Zoller P 1995 *Phys. Rev. Lett.* **74** 4091
- [8] Zheng S B, Guo G C 1997 *Phys. Lett. A* **232** 171
- [9] Li W L, Li C F, Guo G C 2000 *Phys. Rev. A* **61** 034301
- [10] Solano E, Cesar R L, Filho de Matos, Zagury N 2001 *Eur. Phys. J. D* **13** 121
- [11] Ye L, Guo G C 2002 *Chinese Physics* **11** 0996
- [12] Shi B S, Tomita A 2002 *Phys. Lett. A* **296** 161
- [13] Dai H Y, Chen P X, Li C Z 2004 *J. Opt. B* **6** 106
- [14] Dai H Y, Chen P X, Li C Z 2005 *Commun. Theor Phys.* **43** 799
- [15] Wang G M, Ying M S P 2008 *Phys. Rev. A* **77** 032324
- [16] Ishizaka S, Hiroshima T 2009 *Phys. Rev. A* **79** 042306
- [17] Liu A Y, Wang Y W, Jiang X M, Zheng Y Z 2010 *Chin. Phys. B* **19** 020307
- [18] Wang T Y, Wen Q Y 2011 *Chin. Phys. B* **20** 040307
- [19] Bouwmeester D, Pan J W, Mattle K, Eibl M, Weinfurter H, Zeilinger A 1997 *Nature* **390** 575
- [20] Furusawa A, Sorensen J L, Braunstein S L, Fuchs C A, Kimble H J, Poizik E S 1998 *Science* **282** 706
- [21] Nielsen M A, Knill E, Laflamme R 1998 *Nature* **396** 52
- [22] Kim Y H, Kulik S P, Shih Y H 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 1370
- [23] Zhao Z, Pan J W 2004 *Nature* **430** 54
- [24] Zhang Q, Goebel A, Wagenknecht C, Chen Y A, Zhao B, Yang T, Mair A, Schmiedmayer J, Pan J W 2006 *Nature Physics* **2** 678
- [25] Zhou X Q, Wu Y W 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 1881(in Chinese) [周小清, 邬云文 2007 物理学报 **56** 1881]
- [26] Zhou X Q, Wu Y W 2010 *Acta Photonica Sinica.* **39** 2093(in Chinese) [周小清, 邬云文 2010 光子学报 **39** 2093]
- [27] Zhou X Q, Wu Y W, Zhao H 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 040304(in Chinese) [周小清, 邬云文, 赵晗 2011 物理学报 **60** 040304]
- [28] Zhou N R, Zeng G H, Gong L H, Liu S Q 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 5066 (in Chinese)[周南润, 曾贵华, 龚黎华, 刘三秋 2007 物理学报 **56** 5066]
- [29] Zhou N R, Zeng B Y, Wang L J, Gong L H 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 2193 (in Chinese)[周南润, 曾宾阳, 王立军, 龚黎华 2010 物理学报 **59** 2193]
- [30] Yang X L, Zhou X Q, Zhao H, Wang P P 2010 *Journal of Jishou University* **31** 60 (in Chinese) [杨小琳, 周小清, 赵晗, 王朋朋 2010 吉首大学学报 **31** 60]
- [31] Buzek V, Hillery M 1996 *Phys. Rev. A* **54** 1844
- [32] Bruss D, DiVincenzo D P, Ekert A, Fuchs C A, Macchiavello C, Smolin J A 1998 *Phys. Rev. A* **57** 2368

Data link layer of selective repeat protocol based on quantum teleportation*

Yang Xiao-Lin Zhou Xiao-Qing[†] Zhao Han Wang Peng-Peng

(College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000, China)

(Received 16 January 2011; revised manuscript received 11 April 2011)

Abstract

In this paper we study the quantum selective repeat protocol of data link layer based on quantum teleportation. When two sites are communicating in the physical layer, the sender divides a series of qubits into m frames by adding auxiliary qubits. After continuously transmitting m quantum frames, the receiver judges whether he receives the correct quantum frame according to the classical information provided by the sender. If the receiver receives the correct quantum frames, he returns confirmed frames using the quantum channel. If the correct quantum frames are not received, the receiver does not return denial frames. The sender judges quantum frames which he must resend according to the received confirm frames in setting time. Because the sender resends only the quantum frames which are lost or mistaken, this protocol reduces the transmission delay and improves communication efficiency. In the entire course of communications, the classical channel is used only to transmit the survey information, thus its burden is reduced.

Keywords: quantum communication, teleportation, data link layer, selective repeat protocol

PACS: 03.67.Hk, 42.50.Ex, 89.70.-a

* Project supported by the Natural Science Foundation of Hunan Province, China (Grant No: 11JJ3003), the Science and Technology Plan Foundation of Hunan Province, China(Grant No. 2010FJ3081), and the Subject of Jishou University(Grant No. 09JDY005).

[†] E-mail: zhouxq-jd@163.com