

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 6 月 29 日 (29.06.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/115696 A1

(51) 国际专利分类号:
H04B 10/70 (2013.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/078320

(22) 国际申请日: 2022 年 2 月 28 日 (28.02.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111573573.X 2021 年 12 月 21 日 (21.12.2021) CN

(71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: 汪澳(WANG, Ao); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 姜敏(JIANG, Min); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 丁祎(DING,

Yi); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 刘芹(LIU, Qin); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 苗天宇(MIAO, Tianyu); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 孙兵(SUN, Bin); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 陈虹(CHEN, Hong); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙)(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路 188 号吴中万达广场 A 座苏州大学国家科技园 2303, Jiangsu 215000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) Title: HIGH-DIMENSIONAL MULTI-HOP LOSSLESS QUANTUM TELEPORTATION METHOD FOR CHANNEL MODULATION RIGHT TRANSFER

(54) 发明名称: 信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法

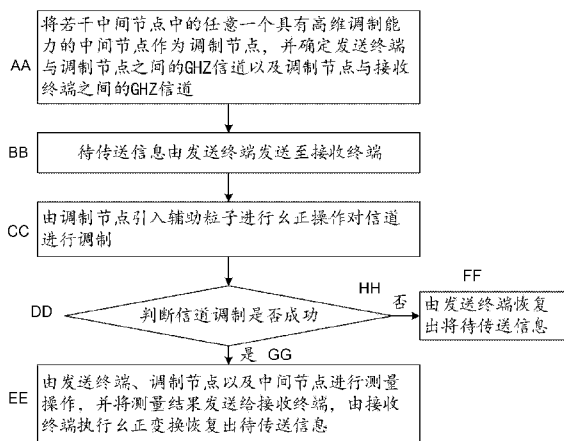


图 1

AA Take any intermediate node having high-dimensional modulation capability among a plurality of intermediate nodes as a modulation node, and determine a GHz channel between a sending terminal and the modulation node and a GHz channel between the modulation node and a receiving terminal
BB The to-be-transmitted information is sent by the sending terminal to the receiving terminal
CC The modulation node introduces an auxiliary particle to carry out a unitary operation to modulate a channel
DD Determine whether channel modulation was successful
EE Measurement operation performed by the sending terminal, the modulation node and an intermediate node, and the measurement results are sent to the receiving terminal. The receiving terminal executes a unitary transformation to recover the to-be-transmitted information
FF The sending terminal recovers the to-be-transmitted information
GG Yes
HH No

(57) Abstract: The invention discloses a high-dimensional multi-hop lossless quantum teleportation method for a channel modulation right transfer. The method comprises taking any intermediate node having high-dimensional modulation capability among a plurality of intermediate nodes as a modulation node, and determining a GHz channel between a sending terminal and the modulation node and a GHz channel between the modulation node and a receiving terminal; the to-be-transmitted information is sent by the sending terminal to the receiving terminal; the modulation node introduces an auxiliary particle to carry out a unitary operation to modulate a channel. If the channel modulation is successful, a measurement operation is performed by the sending terminal, the modulation node and an intermediate node, and the measurement results are sent to the receiving terminal, the receiving terminal executes a unitary transformation to recover the to-be-transmitted information. If the channel modulation fails, the sending terminal retains the to-be-transmitted information. According to the method, a complex high-dimensional channel modulation operation is transferred to a modulation node, at the same time, an auxiliary particle is introduced to execute a complex high-dimensional quantum operation, and information transmission is completed by means of the cooperation of each communication node.

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

一 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开了一种信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 包括将若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点, 并确定发送终端与调制节点之间的GHZ信道以及调制节点与接收终端之间的GHZ信道; 待传送信息由发送终端发送至接收终端; 由调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制, 若信道调制成功, 则由发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作, 并将测量结果发送给接收终端, 由接收终端执行么正变换恢复出待传送信息, 若信道调制失败, 则由发送终端将待传送信息保留。本发明将复杂的高维信道调制操作转交给调制节点, 同时引入辅助粒子来执行复杂的高维量子操作, 通过各个通信节点协同合作完成信息传送。

信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法

技术领域

本发明涉及通信网络及信息传播技术领域，尤其涉及信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法。

背景技术

目前量子通信理论包含三个主要分支：量子密钥分发(Quantum Key Distribution, QKD)、量子安全直接通信(Quantum Secure Direct Communication, QSDC)以及量子隐形传态(Quantum Teleportation, QT)。其中量子安全直接通信的目的是借助量子信道在通信者之间传输经典消息，与之相对应的是在通信者之间直接传输量子态。早在1993年Bennett等学者首次提出量子隐形传态的概念，即通信双方共享纠缠对，发送终端不需要发送粒子本身就能将未知量子态传送到远端的另一个粒子上。特别是1997年底奥地利Zeilinger研究小组首先在实验上成功的演示量子隐形传态，此后，这一新兴理论迅速成为量子通信领域的一个研究热点，各种各样的隐形传态方法以及实验也被相继提出。

量子隐形传态在量子通信和量子信息中起着重要作用，它代表了许多量子技术发展的基本要素，例如量子中继器、量子门隐形传态、基于测量的计算以及端口-基于量子隐形传态等。其中量子隐形传态的过程如下：首先，发送者Alice和接收者Bob共享一个最大纠缠的贝尔信道；然后，Alice以Bell为基础对她的两个粒子执行联合测量，并将结果告知Bob；之后根据测量结果，Bob对其粒子执行四个么正操作之一以恢复原始信息。如果Alice能够区分所有四种可能的测量结果，则原则上可以以100%的成功率完成传送过程，这称为确定性传送。确定性量子隐形传态通常依赖于最大纠缠信道。然而，在现实的隐形传送场景中，由于量子态与其周围环境之间不可避免的耦合效应，大多数信道很容易从最大纠缠态演变为非最大纠缠态。这将增加信息丢失的风险并降低信道的保真度。之后，若干概率隐形传态方案被提出，它们利用各种非最大纠缠态作为量子信道，如爱因斯坦-波多尔斯基-罗森(EPR)状态、团簇状态，W状态以及混合状态等。如Li等人提出了一种概率隐形传态方案，以多种非最大纠缠的贝尔态作为量子信道来传输未知的量子态。Chen等人提出了一个概率的隐形传态协议，该协议具有多个部分纠缠的贝尔状态，以传送未知的多粒子GHZ状态。高等人提出了一种方案，用两个三粒子纠缠的W态作为量子信道来传送未知的三粒子W态。

众所周知，在 d 维量子系统中执行么正运算比在二维中执行更具挑战性。近些年来， d 维量子系统中的一些隐形传态协议已经被提出了。例如，Wei等人报

告了多方共享 d 维隐形传态协议。周等人给出了任意 d 维 m 粒子的受控隐形传态的一般形式。Long 等人提出了一种传输任意 d 维 GHZ 状态的方案。据我们所知，还没有关于所有参与的节点都通过网络中不同的 d 维 GHZ 信道进行链接的非破坏性隐形传送方案的报告。注意到余下的挑战是当概率隐形传态失败时如何保留原始未知状态。为了实现具有多个部分纠缠信道的确定性隐形传态，研究人员引入了辅助粒子来辅助未知的粒子状态传输。例如，Roa 等人提出了一种方案，当概率远传失败时，发送终端仍可以恢复原始的未知状态。后来，付等人报道了一种多跳无损传送协议，该协议使用多个非最大纠缠的贝尔对作为信道。

但是目前缺少解决量子通信网络中最大纠缠信道非最大纠缠演化问题以及高维多粒子么正操作难以执行问题的隐形传态方法。

发明内容

为此，本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中缺少解决量子通信网络中最大纠缠信道非最大纠缠演化问题以及高维多粒子么正操作难以执行问题的隐形传态方法的问题。

为了解决上述的技术问题，本发明提供了一种由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，所述系统包括发送终端、接收终端和若干中间节点，方法包括：

将若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点，并确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道以及所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道；

待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端；

由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制，若信道调制成功，则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作，并将测量结果发送给所述接收终端，由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息，若信道调制失败，则由所述发送终端恢复出待传送信息。

在本发明的一个实施例中，确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道，包括：

由所述发送终端和所述调制节点之间的中间节点执行广义 Bell 态测量和 GH 测量，并将测量结果发送至发送终端，由所述发送终端执行么正操作来构建所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道。

在本发明的一个实施例中，确定所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道，包括：

由所述调制节点和所述接收终端之间的中间节点执行广义 Bell 态测量和 GH 测量，并将测量结果发送至调制节点，并由所述调制节点执行么正操作来构建所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道。

在本发明的一个实施例中，连接所述发送终端、调制节点以及接收终端之间的两个非最大纠缠态如下：

$$\begin{aligned} |\varphi_1\rangle_{A_1 B_k C_k} &= \sum_{j_1=0}^{d-1} a_{j_1} |j_1 j_1 j_1\rangle_{A_1 B_k C_k}, \\ |\varphi_2\rangle_{A_{k+1} B_{N+1} C_{N+1}} &= \sum_{j_2=0}^{d-1} b_{j_2} |j_2 j_2 j_2\rangle_{A_{k+1} B_{N+1} C_{N+1}}. \end{aligned}$$

式中, $a_{j_1}, b_{j_2} (j_1, j_2 = 0, 1, \dots, d-1)$ 是信道参数且满足归一化条件 $\sum_{j_1=0}^{d-1} |a_{j_1}|^2 = 1, \sum_{j_2=0}^{d-1} |b_{j_2}|^2 = 1$ 。

在本发明的一个实施例中, 待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端的同时, 由所述调制节点进行么正操作进行信道调制, 包括:

由所述发送终端对其持有的粒子进行 Bell 测量, 并对所述调制节点与所述中间节点持有的粒子进行 GH 操作, 同时, 所述调制节点对其持有的粒子进行么正操作进行信道调制, 其中所述调制节点持有的粒子包括引入的辅助粒子。

在本发明的一个实施例中, 由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制, 包括:

所述调制节点在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子进行测量操作, 若所述调制节点的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作, 并将测量结果发送给所述接收终端, 由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息; 若所述调制节点的测量结果为 $|1\rangle_e$, 则由所述发送终端将所述待传送信息保留在所述发送终端。

在本发明的一个实施例中, 所述调制节点在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子进行测量操作, 若所述调制节点的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作, 并将测量结果发送给所述接收终端, 由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息, 包括:

由所述发送终端对其持有的粒子进行正交投影测量, 得到第一测量结果;

由所述调制节点和中间节点分别对其持有的粒子进行 GH 测量, 同时, 所述调制节点对其持有的粒子进行 Bell 测量, 得到第二测量结果;

将所述第一测量结果和所述第二测量结果发送至所述接收终端, 由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息。

在本发明的一个实施例中, 所述调制节点在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子进行测量操作, 若所述调制节点的测量结果为 $|1\rangle_e$, 则由所述发送终端将所述待传送信息保留在所述发送终端, 包括:

由所述发送终端对其持有的粒子进行 $(GH)^{-1}$ 测量和 $(GCNOT)^{-1}$ 操作, 将所述待传送信息保留在所述发送终端。

此外, 本发明还提供一种由发送终端执行信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 包括:

所述发送终端与接收终端之间通过若干中间节点连接, 将若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点, 并确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道;

待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端, 同时由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制, 并在信道调制成功时, 由所述发送

终端、调制节点以及中间节点进行测量操作，将测量结果发送给所述接收终端并由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息，若信道调制失败，则由所述发送终端恢复出待传送信息。

并且，本发明还提供一种由调制节点执行信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，包括：

将发送终端与接收终端之间的若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点，并确定所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道，待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端；

所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制，若信道调制成功，则由所述调制节点进行测量操作，将测量结果与发送终端及中间节点的测量结果发送给所述接收终端并由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息，若信道调制失败，则由所述发送终端恢复出待传送信息。

本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点：

1、本发明发送终端与接收终端之间没有直接共享的纠缠态，需要借助于若干中间节点的帮助，将复杂的高维信道调制操作转交给具有高信息处理能力的调制节点，同时引入辅助粒子来执行复杂的高维量子操作通过各个通信节点协同合作完成信息传送。

2、本发明通过并行纠缠交换用于形成在发送终端和接收终端之间共享的直接 d 维纠缠信道，它能够在隐形传态失败的情况下保留传送的原始未知态信息，降低了发送终端和接收终端的技术要求。

附图说明

为了使本发明的内容更容易被清楚的理解，下面根据本发明的具体实施例并结合附图，对本发明作进一步详细的说明。

图 1 为本发明的一种信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法的流程示意图。

图 2 为本发明的基于高维非最大纠缠 GHZ 信道形成直接纠缠信道态量子线路图。

图 3 为本发明的基于高维直接纠缠 GHZ 信道的无损隐形传态的量子线路图。

图 4 为本发明的具体无损隐形传送量子线路图实例。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明，以使本领域的技术人员可以更好地理解本发明并能予以实施，但所举实施例不作为对本发明的限定。

请参阅图 1 所示，本发明一种信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法包括如下步骤：

步骤 S100：将若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点，并确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道以及所述

调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道。

示例地，在现实的隐形传送过程中，发送终端和接收终端之间通常不会共享直接纠缠的 GHZ 状态，两个通信终端之间通过多个中间节点连接。然而目前的研究成果难以支持在不同的物理系统中准确地实现双量子比特操作、量子么正变换、高维多粒子量子运算等，因此为网络中的多个通信节点配备量子高维操作设备是不现实的。因此本发明在所有中间节点中，将具有高维量子操作能力的中间节点 $Relay_k$ 定义为调制节点，利用调制节点进行信道调制，其余的中间节点是普通节点，只具有简单的量子处理能力，如单粒子测量和 Bell 测量等，这样便极大地增强网络的灵活性与实用性。

步骤 S200：待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端。

步骤 S300：由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制，若信道调制成功，则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作，并将测量结果发送给所述接收终端，由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息，若信道调制失败，则由所述发送终端恢复出待传送消息。

综上，本发明发送终端与接收终端之间没有直接共享的纠缠态，需要借助于若干中间节点的帮助，将复杂的高维信道调制操作转交给具有高信息处理能力的调制节点，同时引入辅助粒子来执行复杂的高维量子操作通过各个通信节点协同合作完成信息传送。

具体的，请参阅图 2 和图 3 所示，发送终端 Alice 持有一个未知单比特量子态 t 和 A_1 ，接收终端 Bob 持有目标粒子 C_{N+1} ，通信双方通过 N 个中间节点 $Relay_q$ ($q=1,2,\dots,N$) 间接相连。由于不可能为每个通信节点都提供复杂的量子运算能力，因此考虑让具有高维多 *qudits* 量子操作能力的中间节点 $Relay_k$ 执行高维量子么正操作。其他中间节点以 $Relay_k$ 为界划分为上游节点和下游节点。发送终端 Alice 和 $Relay_k$ 之间的中间节点称为上游节点，接收终端 Bob 和 $Relay_k$ 之间的中间节点则称为下游节点。

其中 $N+1$ 个非最大纠缠 GHZ 信道可以表示为

$$|\varphi\rangle_{A_q B_q C_q} = \sum_{j=0}^{d-1} a_{qj} |jjj\rangle_{A_q B_q C_q} \quad (q=1,2,\dots,N+1),$$

式中 a_{qj} ($q=1,2,\dots,N+1; j=0,1,\dots,d-1$) 表示信道参数并且满足归一化条件 $\sum_{j=0}^{d-1} |a_{qj}|^2 = 1$ ($q=1,2,\dots,N+1$)。第一个下标 q ($q=1,2,\dots,N+1$) 表示纠缠信道序号。

首先， $K-1$ 个上游节点和 $N-(K+1)$ 下游节点同时对自己所持有的粒子 $C_i A_{i+1}$ 在执行高维 Bell 测量，并且对粒子 B_i 执行高维 GH 测量，并将测量结果发送给节点 Alice 和 $Relay_k$ 。以上游节点为例，由粒子 $A_1 B_1 C_1 \dots A_k B_k C_k$ 原始量子态可以表示为

$$\begin{aligned} & |\varphi\rangle_{A_1 B_1 C_1 \dots A_k B_k C_k} \\ &= \bigotimes_{q=1}^k \left(\sum_{j=0}^{d-1} a_{qj} |jjj\rangle_{A_q B_q C_q} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{d}} \right)^{2(k-1)} \left(\sum_{x_1=0}^{d-1} \dots \sum_{x_{k-1}=0}^{d-1} |H_{x_1}\rangle_{B_1} \dots |H_{x_{k-1}}\rangle_{B_{k-1}} \sum_{m_1, n_1=0}^{d-1} \sum_{m_2, n_2=0}^{d-1} \dots \sum_{m_{k-1}, n_{k-1}=0}^{d-1} |\phi_{m_1 n_1}\rangle_{C_1 A_2} |\phi_{m_2 n_2}\rangle_{C_2 A_3} \dots |\phi_{m_{k-1} n_{k-1}}\rangle_{C_{k-1} A_k} \right. \\ & \quad \left. (U_{x_1}^{-1})_{C_k} (U_{m_1 n_1}^{-1})_{C_k} (U_{x_2}^{-1})_{C_k} (U_{m_2 n_2}^{-1})_{C_k} \dots (U_{x_{k-1}}^{-1})_{C_k} (U_{m_{k-1} n_{k-1}}^{-1})_{C_k} \sum_{j=0}^{d-1} \left(\prod_{q=k}^{d-1} a_{q((j+q) \bmod d)} \right) |jjj\rangle_{A_k B_k C_k} \right) \end{aligned}$$

初始约束条件为 $l_k = 0$ 。值得注意的是，累乘项 $\prod_{q=k}^1 a_{q, (l_q + j) \bmod d}$ ($j = 0, 1, \dots, d-1$) 表示约束条件 $(l_{q-1} + j) \bmod d = (l_q - n_{q-1}) \bmod d$ ($q = k-1, k-2, \dots, 1; j = 0, 1, \dots, d-1$) 限制下的纠缠信道参数。其中 $|H_{x_q}\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j x_q} |j\rangle$, $|U_{x_q}^{-1}\rangle = \sum_{j=0}^{d-1} e^{-\frac{2\pi i}{d} j x_q} |j\rangle\langle j|$, $|\phi_{m_q n_q}\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j m_q} |j\rangle|(j+n_q) \bmod d\rangle$ 和 $U_{m_q n_q}^{-1} = \sum_{j=0}^{d-1} e^{-\frac{2\pi i}{d} j m_q} |(j+n_q) \bmod d\rangle\langle j|$ 。

为了在通信方与 $Relay_k$ 形成直接纠缠 GHZ 信道，所有中间节点 $Relay_q$ ($q = 1, 2, \dots, k-1$) 在 $|\phi_{m_q n_q}\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j m_q} |j\rangle|(j+n_q) \bmod d\rangle$ ($m_q, n_q = 0, 1, \dots, d-1$) 的基础上同时对自己的粒子 C_i 和 A_{i+1} 执行广义 Bell 态测量。将 d^2 种可能的测量结果发送给 Alice。根据测量结果 Alice 执行下列么正操作来调制上游纠缠信道：

$$U_{C_k} = \prod_{q=1}^{k-1} U_{m_q n_q} \prod_{g=1}^{k-1} U_{x_g} = \prod_{q=1}^{k-1} \left(\sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j m_q} |j\rangle\langle(j+n_q) \bmod d| \right) \prod_{g=1}^{k-1} \left(\sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j x_g} |j\rangle\langle j| \right),$$

其中 $U_{m_q n_q} = \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j m_q} |j\rangle\langle(j+n_q) \bmod d|$, $|U_{x_g}\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j x_g} |j\rangle\langle j|$ 。如果忽略全局因子，则剩余粒子 A_1 , B_k 和 C_k 的状态变为：

$$|\varphi'\rangle_{A_1 B_k C_k} = \sum_{j=0}^{d-1} \left(\prod_{q=k}^1 a_{q, (l_q + j) \bmod d} \right) |jjj\rangle_{A_1 B_k C_k}.$$

为了简化方程式，我们假设 $a_{j_1} = \prod_{q=k}^1 a_{q, (l_q + j) \bmod d}$ ，最后直接纠缠状态可以重写为：

$$|\varphi'\rangle_{A_1 B_k C_k} = \sum_{j=0}^{d-1} a_{j_1} |jjj\rangle_{A_1 B_k C_k}$$

与建立粒子 A_1 , B_k 和 C_k 的上游纠缠信道相似，根据所有下游节点的广义 Bell 测量结果和 GH 测量结果， $Relay_k$ 对其粒子 A_{k+1} 执行如下么正操作，即可得 $Relay_k$ 和信息接收终端 Bob 的直接纠缠信道，

$$U_{A_{k+1}} = \prod_{q=k}^N U_{m_q n_q} \prod_{g=k}^N U_{x_g} = \prod_{q=k}^N \left(\sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j m_q} |(j+n_q) \bmod d\rangle\langle j| \right) \prod_{g=k}^N \left(\sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j x_g} |j\rangle\langle j| \right).$$

在粒子 A_{k+1} 执行完么正操作即可得到 $Relay_k$ 与 Bob 之间的直接纠缠信道。剩余粒子 A_{k+1} , B_{N+1} 和 C_{N+1} 的状态可以表示为：

$$|\varphi'\rangle_{A_{k+1} B_{N+1} C_{N+1}} = \sum_{j=0}^{d-1} b_{j_2} |jjj\rangle_{A_{k+1} B_{N+1} C_{N+1}}.$$

经过上述操作，多跳隐形传态系统已经简化为由 Alice、 $Relay_k$ ， $Relay_{N+1}$ 和 Bob 构成的三跳纠缠系统。

假设 Alice 想要传送如下的未知量子 t 给 Bob

$$|\chi\rangle_t = \sum_{j=0}^{d-1} c_j |j\rangle_t,$$

式中， c_j ($j = 0, 1, \dots, d-1$) 是复数，并且满足归一化条件 $\sum_{j=0}^{d-1} |c_j|^2 = 1$ 。

连接通信三方的两个非最大纠缠态如下：

$$|\varphi_1\rangle_{A_1 B_k C_k} = \sum_{j_1=0}^{d-1} a_{j_1} |j_1 j_1 j_1\rangle_{A_1 B_k C_k},$$

$$|\varphi_2\rangle_{A_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} = \sum_{j_2=0}^{d-1} b_{j_2} |j_2 j_2 j_2\rangle_{A_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}}.$$

上面两个式子中, $a_{j_1}, b_{j_2} (j_1, j_2 = 0, 1, \dots, d-1)$ 是信道参数且满足归一化条件 $\sum_{j_1=0}^{d-1} |a_{j_1}|^2 = 1, \sum_{j_2=0}^{d-1} |b_{j_2}|^2 = 1$ 。

Alice 持有粒子 t 和 A_1 。Relay_k 引入一个初始态为 $|0\rangle_e$ 的辅助粒子 e , 持有粒子 $B_k C_k A_{k+1}$ 和 e , Relay_{N+1} 持有粒子 B_{N+1} 和目标节点, Bob 拥有粒子 C_{N+1} 。则粒子 $t, A_1, B_k, C_k, A_{k+1}, B_{N+1}, C_{N+1}$ 以及 e 的系统态为

$$\begin{aligned} & |\varphi\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\ &= |\chi\rangle_t \otimes |\varphi_1\rangle_{A_1B_kC_k} \otimes |\varphi_2\rangle_{A_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} |0\rangle_e \\ &= \left(\sum_{j=0}^{d-1} c_j |j\rangle_t \right) \otimes \left(\sum_{j_1=0}^{d-1} a_{j_1} |j_1 j_1 j_1\rangle_{A_1B_kC_k} \right) \otimes \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} b_{j_2} |j_2 j_2 j_2\rangle_{A_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} \right) |0\rangle_e \\ &= \sum_{j=0}^{d-1} \sum_{j_1=0}^{d-1} \left(c_j |j, j_1\rangle_{tA_1} \otimes |j_1\rangle_{B_k} \otimes \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} |j_2\rangle_{B_{N+1}} \otimes a_{j_1} b_{j_2} |j_1 j_2 0\rangle_{C_k A_{k+1} e} |j_2\rangle_{C_{N+1}} \right) \right). \end{aligned}$$

准备好信道后, 隐形传态过程分为以下三个操作步骤:

步骤 1: Alice 对她持有的两个粒子 t 和 A_1 执行 GCNOT 操作, 然后对其第一个粒子 t 执行 GH 操作, 整个系统态变为:

$$\begin{aligned} & |\varphi'\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\ &= (GH)_t (GCNOT)_{tA_1} |\varphi\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\ &= \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} c_j \left\{ \sum_{s=0}^{d-1} \left[\left(\sum_{r=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes |s\rangle_{B_k} \right] \right. \\ & \quad \left. \otimes \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} |j_2\rangle_{B_{N+1}} \otimes a_{j_1} b_{j_2} |sj_2 0\rangle_{C_k A_{k+1} e} |j_2\rangle_{C_{N+1}} \right) \right\}. \end{aligned}$$

与此同时还需要对粒子 B_k 和 B_{N+1} 执行 GH 操作, 则整个系统变为:

$$\begin{aligned} & |\varphi''\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\ &= (GH)_{B_{N+1}} (GH)_{B_k} |\varphi'\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{d}} \right)^3 \sum_{j=0}^{d-1} c_j \left\{ \sum_{s=0}^{d-1} \left[\left(\sum_{r=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes \sum_{k_1=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} ks} |k_1\rangle_{B_k} \right] \right. \\ & \quad \left. \otimes \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} \sum_{k_2=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_2 j_2} |k_2\rangle_{B_{N+1}} \otimes a_{j_1} b_{j_2} |sj_2 0\rangle_{C_k A_{k+1} e} |j_2\rangle_{C_{N+1}} \right) \right\}. \end{aligned}$$

步骤 2: 在步骤 1 执行的同时, Relay_k 对持有的三个粒子 C_k, A_{k+1} 和 e 进行如下么正操作:

$$C_{C_k A_{k+1} e} = \sum_{j_1=0}^{d-1} \sum_{j_2=0}^{d-1} \left(\left(\frac{g_{\min}}{a_{j_1} b_{j_2}} |j_1 j_2 0\rangle_{C_k A_{k+1} e} \langle j_1 j_2 0| + \sqrt{1 - \left(\frac{g_{\min}}{a_{j_1} b_{j_2}} \right)^2} |j_1 j_2 0\rangle_{C_k A_{k+1} e} \langle j_1 j_2 1| \right) \right. \\ \left. + \left(\sqrt{1 - \left(\frac{g_{\min}}{a_{j_1} b_{j_2}} \right)^2} |j_1 j_2 1\rangle_{C_k A_{k+1} e} \langle j_1 j_2 0| - \frac{g_{\min}}{a_{j_1} b_{j_2}} |j_1 j_2 1\rangle_{C_k A_{k+1} e} \langle j_1 j_2 1| \right) \right),$$

式中 $g_{\min} = \min\{a_{j_1} b_{j_2}\} (j_1, j_2 = 0, 1, \dots, d-1)$ 。Relay_k 执行完信道调制后的粒子状态变为如下

形式:

$$\begin{aligned}
 & |\varphi^m\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\
 &= C_{C_kA_{k+1}e} |\varphi^m\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}e} \\
 &= \left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right)^3 \otimes \sum_{j=0, j_2=0}^{d-1} c_j \left\{ \sum_{s=0}^{d-1} \left[\left(\sum_{r=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes \sum_{k_1=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_1 s} |k_1\rangle_{B_k} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \otimes \sum_{k_2=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_2 j_2} |k_2\rangle_{B_{N+1}} \otimes \left(g_{\min} |s, j_2 j_2\rangle_{C_k A_{k+1} C_{N+1}} |0\rangle_e \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \left. + \sqrt{(a_s b_{j_2})^2 - g_{\min}^2} |s, j_2 j_2\rangle_{C_k A_{k+1} C_{N+1}} |1\rangle_e \right) \right] \right\}.
 \end{aligned}$$

然后, $Relay_k$ 在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子 e 执行单比特态测量, 可得到 $|0\rangle_e$ 或 $|1\rangle_e$, 若 $Relay_k$ 的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则接下来执行步骤 3 恢复原始未知量子态; 否则执行步骤 3' 将传送的粒子态保留在发送终端位置。

步骤 3: 假设 $Relay_k$ 的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则剩余粒子的坍缩态为:

$$\begin{aligned}
 & |\varphi_0\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} \\
 &= \sum_{j=0}^{d-1} c_j \left\{ \sum_{s=0}^{d-1} \left[\left(\sum_{r=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes \sum_{k_1=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_1 s} |k_1\rangle_{B_k} \otimes \sum_{k_2=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_2 j_2} |k_2\rangle_{B_{N+1}} \otimes \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} |s, j_2 j_2\rangle_{C_k A_{k+1} C_{N+1}} \right) \right] \right\} \\
 &= \sum_{r,s,k_1,k_2=0}^{d-1} |rsk_1k_2\rangle_{tA_1B_kB_{N+1}} \otimes \left[\sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} (jr+k_1s+k_2j_2)} c_j \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} |(s-j) \bmod d, j_2 j_2\rangle_{C_k A_{k+1} C_{N+1}} \right) \right] \\
 &= \sum_{r,s,k_1,k_2=0}^{d-1} \sum_{m,n=0}^{d-1} |rsk_1k_2\rangle_{tA_1B_kB_{N+1}} |\Phi_{mn}\rangle_{C_k A_{k+1}} \otimes \left[\sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} (jr+k_1s+k_2(s+n-j))} e^{-\frac{2\pi i}{d} ((s-j) \bmod d)m} c_j \left(|((s+n) \bmod d) - j \bmod d\rangle_{C_{N+1}} \right) \right].
 \end{aligned}$$

接下来, Alice 在标准基 $\{|rs\rangle\} (r,s=0,1,2,\dots,d-1)$ 下对其持有的两个粒子 t 和 A_1 进行正交投影测量, $Relay_k$ 和 $Relay_{N+1}$ 在基 $|H_{x_k}\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jx_k} |j\rangle$ ($x_k=0,1,\dots,d-1$) 的作用下对所持有粒子 B_k 和 B_{N+1} 进行 GH 测量。同时 $Relay_k$ 在正交基 $|\Phi_{mn}\rangle = \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jm} |j\rangle |(j+n) \bmod d\rangle$ 下对粒子 C_k 和 A_{k+1} 进行 Bell 测量。测量操作之后, Alice, $Relay_k$ 和 $Relay_{N+1}$ 分别将测量结果发送给接收终端 Bob, 根据测量结果 $|rsk_1k_2\rangle_{tA_1B_kB_{N+1}}$ 和 $|\Phi_{mn}\rangle_{C_k A_{k+1}}$, Bob 执行相应的么正变换来恢复传送的未知量子态。么正变换如式所示:

$$U_{C_{N+1}} = \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} (jr+k_1s+k_2(s+n-j))} e^{-\frac{2\pi i}{d} ((s-j) \bmod d)m} |j\rangle_{C_{N+1}} \langle (((s+n) \bmod d) - j) \bmod d|.$$

当 Bob 执行相应的么正变换, 信息传送已经完成, 恢复的未知量子态为:

$$|\varphi\rangle_{C_{N+1}} = \sum_{j=0}^{d-1} c_j |j\rangle_{C_{N+1}}.$$

步骤 3' 如果对粒子 e 的测量结果为 $|1\rangle_e$, 相应的坍缩态为:

$$\begin{aligned}
 & |\varphi_1\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} \\
 &= \sum_{j=0}^{d-1} c_j \left\{ \sum_{s=0}^{d-1} \left[\left(\sum_{r=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes \sum_{k_1=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_1 s} |k_1\rangle_{B_k} \otimes \sum_{k_2=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} k_2 j_2} |k_2\rangle_{B_{N+1}} \otimes \left(\sum_{j_2=0}^{d-1} \sqrt{(a_s b_{j_2})^2 - g_{\min}^2} |s, j_2 j_2\rangle_{C_k A_{k+1} C_{N+1}} \right) \right] \right\}.
 \end{aligned}$$

此时量子隐形传态失败, 为保留原始的量子态信息以便通过其他可用的量

子信道进行信息重传, Alice 对粒子 t 执行一个 $(GH)^{-1}$, 然后对两个粒子 t 和 A_1 执行 $(GCNOT)^{-1}$ 操作。执行完这两项操作之后, 量子态变为:

$$\begin{aligned} & |\varphi_1\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} \\ &= (GCNOT)^{-1}_{tA_1} (GH)^{-1}_t |\varphi_1\rangle_{tA_1B_kC_kA_{k+1}B_{N+1}C_{N+1}} \\ &= \sum_{j=0}^{d-1} c_j |j\rangle_t \otimes \sum_{j_2=0}^{d-1} \sum_{k_1, k_2=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d}(k_1 s + k_2 j_2)} |k_1 k_2\rangle_{B_k B_{N+1}} \otimes \left(\sum_{s=0}^{d-1} \sqrt{(a_s b_{j_2})^2 - g_{\min}^2} |s s, j_2 j_2\rangle_{A_1 C_k A_{k+1} C_{N+1}} \right). \end{aligned}$$

其中 $GH^{-1} = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{k, k'=0}^{d-1} e^{-2\pi i k k' / d} |k\rangle\langle k'|$ 和 $GCNOT^{-1}|mn\rangle = |m\rangle|(n-m) \bmod d\rangle$ 。可以发现, 粒子 t 的态不变, 因此原始未知量子态被保存下来。

请参阅图 4 所示, 下面以实施例的方式详细介绍本发明一种信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 实施例以发送终端 Alice、接收终端 Bob 和 3 个中间节点为例, 实现发送终端 Alice 向接收终端 Bob 传送未知量子态信息。

其中发送终端 Alice 持有粒子 t 和 A_1 , 接收终端 Bob 持有粒子 C_4 , 中间节点 $Relay_2$ 具有复杂量子运算能力, 其作为调制节点执行高维量子么正操作, 同时 $Relay_1$ 和 $Relay_3$ 作为普通的中间节点协助建立量子信道。

发送终端 Alice 持有一个未知单比特量子态 t 和 A_1 , 接收终端 Bob 持有目标粒子 C_4 , 通信双方通过 3 个中间节点 $Relay_q$ ($q=1, 2, 3$) 间接相连, 以 $Relay_2$ 为界划分为上游节点和下游节点。发送终端 Alice 与调制节点 $Relay_2$ 之间的中间节点称为上游节点, 调制节点 $Relay_2$ 和接收终端 Bob 之间的中间节点则称为下游节点。

发送终端 Alice 持有的信源粒子 t 具有如下未知量子态:

$$|\chi\rangle_t = c_0|0\rangle + c_1|1\rangle + c_2|2\rangle.$$

式中 $|c_0|^2 + |c_1|^2 + |c_2|^2 = 1$ 。各相邻节点间的非最大纠缠 GHZ 态为:

$$\begin{aligned} |\varphi_1\rangle_{A_1 B_1 C_1} &= a_{10}|000\rangle + a_{11}|111\rangle + a_{12}|222\rangle, \\ |\varphi_2\rangle_{A_2 B_2 C_2} &= a_{20}|000\rangle + a_{21}|111\rangle + a_{22}|222\rangle, \\ |\varphi_3\rangle_{A_3 B_3 C_3} &= a_{30}|000\rangle + a_{31}|111\rangle + a_{32}|222\rangle, \\ |\varphi_4\rangle_{A_4 B_4 C_4} &= a_{40}|000\rangle + a_{41}|111\rangle + a_{42}|222\rangle, \end{aligned}$$

其中每个信道的信道参数满足归一化条件。

首先, 上游节点 $Relay_1$ 和下游节点 $Relay_3$ 都对其持有的两个粒子 $C_1 A_2$ 和 $C_3 A_4$ 基 $|\Phi_{mn}\rangle = \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j m} |j\rangle |(j+n) \bmod d\rangle$ 下执行广义 Bell 测量, 同时, 上游节点 $Relay_1$ 和下游节点 $Relay_3$ 在基 $|H_{x_k}\rangle = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{j=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi i}{d} j x_k} |j\rangle$ ($x_k = 0, 1, 2$) 下对其持有的粒子 B_1 和 B_3 进行 GH 测量, 他们将测量结果发送给调制节点 $Relay_2$ 。

假设 $Relay_1$ 和 $Relay_3$ 的坍塌态为 $|\varphi\rangle_{A_1 C_2}$ 和 $|\varphi\rangle_{A_3 C_4}$, 则粒子对 $C_1 A_2$ 和 $C_3 A_4$ 的测量结果为 $|\Phi_{m_1 n_1}\rangle_{C_1 A_2}$ 和 $|\Phi_{m_3 n_3}\rangle_{C_3 A_4}$ 的对应关系, 以及粒子 $|\varphi\rangle_{B_2}$ 和 $|\varphi\rangle_{B_4}$ 的坍塌态与测量结果 $|H_{x_1}\rangle_{B_1}$ 和 $|H_{x_2}\rangle_{B_3}$ 的对应关系如下表所示:

$ \Phi_{m_1 n_1}\rangle_{C_1 A_2}$	$ \varphi\rangle_{A_1 C_2}$	$ \Phi_{m_3 n_3}\rangle_{C_3 A_4}$	$ \varphi\rangle_{A_3 C_4}$
$ \Phi_{00}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{20} 00\rangle + a_{11}a_{21} 11\rangle + a_{12}a_{22} 22\rangle$	$ \Phi_{00}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{40} 00\rangle + a_{31}a_{41} 11\rangle + a_{32}a_{42} 22\rangle$
$ \Phi_{10}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{20} 00\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{11}a_{21} 11\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{12}a_{22} 22\rangle$	$ \Phi_{10}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{40} 00\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{31}a_{41} 11\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{32}a_{42} 22\rangle$
$ \Phi_{20}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{20} 00\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{11}a_{21} 11\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} a_{12}a_{22} 22\rangle$	$ \Phi_{20}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{40} 00\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{31}a_{41} 11\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} a_{32}a_{42} 22\rangle$
$ \Phi_{01}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{21} 01\rangle + a_{11}a_{22} 12\rangle + a_{12}a_{20} 20\rangle$	$ \Phi_{01}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{41} 01\rangle + a_{31}a_{42} 12\rangle + a_{32}a_{40} 20\rangle$
$ \Phi_{11}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{21} 01\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{11}a_{22} 12\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{12}a_{20} 20\rangle$	$ \Phi_{11}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{41} 01\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{31}a_{42} 12\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{32}a_{40} 20\rangle$
$ \Phi_{21}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{21} 01\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{11}a_{22} 12\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} a_{12}a_{20} 20\rangle$	$ \Phi_{21}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{41} 01\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{31}a_{42} 12\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} a_{32}a_{40} 20\rangle$
$ \Phi_{02}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{22} 02\rangle + a_{11}a_{20} 10\rangle + a_{12}a_{21} 21\rangle$	$ \Phi_{02}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{42} 02\rangle + a_{31}a_{40} 10\rangle + a_{32}a_{41} 21\rangle$
$ \Phi_{12}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{22} 02\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{11}a_{20} 10\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{12}a_{21} 21\rangle$	$ \Phi_{12}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{42} 02\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{31}a_{40} 10\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{32}a_{41} 21\rangle$
$ \Phi_{22}\rangle_{C_1 A_2}$	$a_{10}a_{22} 02\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{11}a_{20} 10\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} a_{12}a_{21} 21\rangle$	$ \Phi_{22}\rangle_{C_3 A_4}$	$a_{30}a_{42} 02\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{31}a_{40} 10\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} a_{32}a_{41} 21\rangle$
$ H_{x_1}\rangle_{B_1}$	$ \varphi\rangle_{B_2}$	$ H_{x_2}\rangle_{B_3}$	$ \varphi\rangle_{B_4}$
$ H_0\rangle_{B_1}$	$ 0\rangle + 1\rangle + 2\rangle$	$ H_0\rangle_{B_3}$	$ 0\rangle + 1\rangle + 2\rangle$
$ H_1\rangle_{B_1}$	$ 0\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} 1\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} 2\rangle$	$ H_1\rangle_{B_3}$	$ 0\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} 1\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} 2\rangle$
$ H_2\rangle_{B_1}$	$ 0\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} 1\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} 2\rangle$	$ H_2\rangle_{B_3}$	$ 0\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} 1\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} 2\rangle$

为便于分析，进一步假设粒子 $C_1 A_2$ 和 $C_3 A_4$ 的广义 Bell 测量结果为 $|\Phi_{m_1 n_1}\rangle_{C_1 A_2} = |\Phi_{12}\rangle_{C_1 A_2}$, $|\Phi_{m_3 n_3}\rangle_{C_3 A_4} = |\Phi_{11}\rangle_{C_3 A_4}$, 粒子 B_1 和 B_3 的广义 Bell 测量结果为 $|H_{x_1}\rangle_{B_1} = |H_1\rangle_{B_1}$, $|H_{x_2}\rangle_{B_3} = |H_2\rangle_{B_3}$, 则粒子对 $C_1 A_2$ 和 $C_3 A_4$ 以及粒子 B_2 和 B_4 的坍缩态为:

$$|\varphi\rangle_{A_1 C_2} = a_{10}a_{22}|02\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{11}a_{20}|10\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{12}a_{21}|21\rangle,$$

$$|\varphi\rangle_{A_3 C_4} = a_{30}a_{41}|01\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} a_{31}a_{42}|12\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} a_{32}a_{40}|20\rangle,$$

$$|\varphi\rangle_{B_2} = |0\rangle + e^{-\frac{2\pi i}{3}} |1\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} |2\rangle,$$

$$|\varphi\rangle_{B_4} = |0\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}} |1\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}} |2\rangle.$$

则坍缩态 $|\varphi\rangle_{A_1 B_2 A_2}$ 和 $|\varphi\rangle_{A_3 B_4 A_4}$ 就可以写为:

$$\begin{aligned} |\varphi\rangle_{A_4B_2C_2} &= a_{10}a_{22}|022\rangle + e^{-\frac{4\pi i}{3}}a_{11}a_{20}|100\rangle + e^{-\frac{8\pi i}{3}}a_{12}a_{21}|211\rangle, \\ |\varphi\rangle_{A_3B_4C_4} &= a_{30}a_{41}|011\rangle + e^{-\frac{6\pi i}{3}}a_{31}a_{42}|122\rangle + e^{-4\pi i}a_{32}a_{40}|200\rangle, \end{aligned}$$

$Relay_2$ 执行如下么正操作来分别建立上游直接纠缠信道以及下游直接纠缠信道:

$$\begin{aligned} U_{A_4} &= U_{12}U_1 = |2\rangle_{A_4}\langle 0| + e^{\frac{4\pi i}{3}}|0\rangle_{A_4}\langle 1| + e^{\frac{8\pi i}{3}}|1\rangle_{A_4}\langle 2|, \\ U_{A_3} &= U_{11}U_2 = |1\rangle_{A_3}\langle 0| + e^{\frac{6\pi i}{3}}|2\rangle_{A_3}\langle 1| + e^{\frac{12\pi i}{3}}|0\rangle_{A_3}\langle 2|. \end{aligned}$$

执行么正操作之后, 则坍缩态 $|\varphi\rangle_{A_4B_2A_2}$ 和 $|\varphi\rangle_{A_3B_4A_4}$ 就可以写为:

$$\begin{aligned} |\varphi\rangle_{A_4B_2C_2} &= a_{11}a_{20}|000\rangle + a_{12}a_{21}|111\rangle + a_{10}a_{22}|222\rangle, \\ |\varphi\rangle_{A_3B_4C_4} &= a_{32}a_{40}|000\rangle + a_{30}a_{41}|111\rangle + a_{31}a_{42}|222\rangle. \end{aligned}$$

为简化公式表达, 两个纠缠信道参数分别写作:

$$\begin{aligned} a_0 &= a_{11}a_{20}, \quad a_1 = a_{12}a_{21}, \quad a_2 = a_{10}a_{22}, \\ b_0 &= a_{32}a_{40}, \quad b_1 = a_{30}a_{41}, \quad b_2 = a_{31}a_{42}. \end{aligned}$$

接着 Alice 对她持有的两个粒子 t 和 A_1 执行 $GCNOT$ 操作, 然后对其第一个粒子 t 执行 GH 操作, 与此同时还需要对粒子 B_2 和 B_4 执行 GH 操作, 则整个系统变为:

$$\begin{aligned} &|\varphi\rangle_{tA_1B_2C_2A_3B_4C_4e} \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^3 \sum_{j=0}^2 c_j \left\{ \sum_{s=0}^2 \left[\left(\sum_{r=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes \sum_{k_1=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}k_1s} |k_1\rangle_{B_2} \right] \right. \\ &\quad \left. \otimes \left(\sum_{j_2=0}^2 \sum_{k_2=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}k_2j_2} |k_2\rangle_{B_4} \otimes a_{sj_2} |sj_2 0\rangle_{C_2A_3e} |j_2\rangle_{C_4} \right) \right\}. \end{aligned}$$

接着, $Relay_2$ 对持有的三个粒子 C_2, A_3 和 e 进行高维么正操作式中 $g_{\min} = \min\{a_{j_1}b_{j_2}\} (j_1, j_2 = 0, 1, 2)$ 。 $Relay_2$ 执行完信道调制后的坍缩态为:

$$\begin{aligned} &|\varphi\rangle_{tA_1B_2C_2A_3B_4C_4e} \\ &= \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^3 \otimes \sum_{j=0}^2 \sum_{j_2=0}^2 c_j \left\{ \sum_{s=0}^2 \left[\left(\sum_{r=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}jr} |r, (j+s) \bmod d\rangle_{tA_1} \right) \otimes \sum_{k_1=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}k_1s} |k_1\rangle_{B_2} \right] \right. \\ &\quad \left. \otimes \sum_{k_2=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}k_2j_2} |k_2\rangle_{B_4} \otimes \left(g_{\min} |s, j_2 j_2\rangle_{C_2A_3C_4} |0\rangle_e \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sqrt{(a_{sj_2})^2 - g_{\min}^2} |s, j_2 j_2\rangle_{C_2A_3C_4} |1\rangle_e \right) \right\}. \end{aligned}$$

然后, $Relay_2$ 在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子 e 执行单比特态测量, 可得到 $|0\rangle_e$ 或 $|1\rangle_e$, 假设辅助粒子的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则剩余粒子的坍缩态为:

$$\begin{aligned} &|\varphi_0\rangle_{tA_1B_2C_2A_3B_4C_4e} \\ &= \sum_{r,s,k_1,k_2=0}^2 \sum_{m,n=0}^2 |rsk_1k_2\rangle_{tA_1B_2B_4} |\Phi_{mn}\rangle_{C_2A_3} \otimes \left[\sum_{j=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}(jr+k_1s+k_2(s+n-j))} e^{-\frac{2\pi i}{3}((s-j) \bmod d)m} c_j \left| (((s+n) \bmod d) - j) \bmod d \right\rangle_{C_4} \right]. \end{aligned}$$

接下来, Alice 在标准基 $\{|rs\rangle\} (r, s = 0, 1, 2)$ 下对其持有的两个粒子 t 和 A_1 进行正交投影测量, $Relay_2$ 和 $Relay_4$ 在基 $|H_{x_k}\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} \sum_{j=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}jx_k} |j\rangle$ ($x_k = 0, 1, 2$) 的作用下对所持有粒子 B_2 和 B_4 进行 GH 测量。同时 $Relay_2$ 在正交基 $|\Phi_{mn}\rangle = \sum_{j=0}^2 e^{\frac{2\pi i}{3}jm} |j\rangle |((j+n) \bmod d)\rangle$ 下对粒子 C_2 和 A_3 进行 Bell 测量。测量操作之后, Alice, $Relay_2$ 和 $Relay_4$ 分别将测量结果发送

给接收终端 Bob, 假设测量结果为 $|\Phi_{2110}\rangle_{t_4 B_2 B_3}$ 和 $|\Phi_{11}\rangle_{C_2 A_3}$, 粒子 C_4 的量子态相应坍缩为:

$$|\varphi\rangle_{C_4} = (e^{2\pi i} c_1 |1\rangle + c_0 |2\rangle + e^{2\pi i} c_2 |0\rangle)_{C_4}.$$

Bob 执行相应的么正变换来恢复传送的未知量子态, 其中么正变换为:

$$U_{C_4} = \sum_{j=0}^2 e^{-\frac{2\pi i}{3}(jr+k_1s+k_2(s+n-j))} e^{\frac{2\pi i}{3}((s-j)\bmod d)m} |j\rangle_{C_4} \langle (((s+n)\bmod d)-j)\bmod d| \\ = (e^{-2\pi i} c_1 |1\rangle \langle 1| + c_0 |0\rangle \langle 2| + e^{-2\pi i} c_2 |2\rangle \langle 0|)_{C_4}.$$

显然等式成立。因此当 Bob 执行相应的么正变换, 信息传送就会成功, 恢复的未知量子态为:

$$|\varphi\rangle_{C_4} = \sum_{j=0}^2 c_j |j\rangle_{C_4}.$$

本领域内的技术人员应明白, 本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此, 本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且, 本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质 (包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等) 上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备 (系统)、和计算机程序产品的流程图和 / 或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和 / 或方框图中的每一流程和 / 或方框、以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器, 使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中, 使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品, 该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上, 使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理, 从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

显然, 上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例, 并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说, 在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，其特征在于，所述系统包括发送终端、接收终端和若干中间节点，方法包括：

将若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点，并确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道以及所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道；

待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端；

由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制，若信道调制成功，则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作，并将测量结果发送给所述接收终端，由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息，若信道调制失败，则由所述发送终端恢复出待传送信息。

2. 如权利要求 1 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，其特征在于：确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道，包括：

由所述发送终端和所述调制节点之间的中间节点执行广义 Bell 态测量和 GH 测量，并将测量结果发送至发送终端，由所述发送终端执行么正操作来构建所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道。

3. 如权利要求 1 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，其特征在于：确定所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道，包括：

由所述调制节点和所述接收终端之间的中间节点执行广义 Bell 态测量和 GH 测量，并将测量结果发送至调制节点，并由所述调制节点执行么正操作来构建所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道。

4. 如权利要求 1 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，其特征在于：连接所述发送终端、调制节点以及接收终端之间的两个非最大纠缠态如下：

$$\begin{aligned} |\varphi_1\rangle_{A_1 B_1 C_k} &= \sum_{j_1=0}^{d-1} a_{j_1} |j_1 j_1 j_1\rangle_{A_1 B_1 C_k}, \\ |\varphi_2\rangle_{A_{k+1} B_{N+1} C_{N+1}} &= \sum_{j_2=0}^{d-1} b_{j_2} |j_2 j_2 j_2\rangle_{A_{k+1} B_{N+1} C_{N+1}}. \end{aligned}$$

式中， $a_{j_1}, b_{j_2} (j_1, j_2 = 0, 1, \dots, d-1)$ 是信道参数且满足归一化条件 $\sum_{j_1=0}^{d-1} |a_{j_1}|^2 = 1, \sum_{j_2=0}^{d-1} |b_{j_2}|^2 = 1$ 。

5. 如权利要求 1 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，其特征在于：待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端的同时，由所述调制节点进行么正操作进行信道调制，包括：

由所述发送终端对其持有的粒子进行 Bell 测量，并对所述调制节点与所述中间节点持有的粒子进行 GH 操作，同时，所述调制节点对其持有的粒子进行么正操作进行信道调制，其中所述调制节点持有的粒子包括引入的辅助粒子。

6. 如权利要求 1 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法，其特征在于：由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行

调制, 包括:

所述调制节点在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子进行测量操作, 若所述调制节点的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作, 并将测量结果发送给所述接收终端, 由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息; 若所述调制节点的测量结果为 $|1\rangle_e$, 则由所述发送终端将所述待传送信息保留在所述发送终端。

7. 如权利要求 6 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 其特征在于: 所述调制节点在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子进行测量操作, 若所述调制节点的测量结果为 $|0\rangle_e$, 则由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作, 并将测量结果发送给所述接收终端, 由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息, 包括:

由所述发送终端对其持有的粒子进行正交投影测量, 得到第一测量结果;

由所述调制节点和中间节点分别对其持有的粒子进行 GH 测量, 同时, 所述调制节点对其持有的粒子进行 Bell 测量, 得到第二测量结果;

将所述第一测量结果和所述第二测量结果发送至所述接收终端, 由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息。

8. 如权利要求 6 所述的由系统实现信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 其特征在于: 所述调制节点在基 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ 下对辅助粒子进行测量操作, 若所述调制节点的测量结果为 $|1\rangle_e$, 则由所述发送终端将所述待传送信息保留在所述发送终端, 包括:

由所述发送终端对其持有的粒子进行 $(GH)^{-1}$ 测量和 $(GCNOT)^{-1}$ 操作, 将所述待传送信息保留在所述发送终端。

9. 一种由发送终端执行信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 其特征在于, 包括:

所述发送终端与接收终端之间通过若干中间节点连接, 将若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点, 并确定所述发送终端与所述调制节点之间的 GHZ 信道;

待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端, 同时由所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制, 并在信道调制成功时, 由所述发送终端、调制节点以及中间节点进行测量操作, 将测量结果发送给所述接收终端并由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息, 若信道调制失败, 则由所述发送终端恢复出待传送信息。

10. 一种由调制节点执行信道调制权转移的高维多跳无损隐形传送方法, 其特征在于, 包括:

将发送终端与接收终端之间的若干中间节点中的任意一个具有高维调制能力的中间节点作为调制节点, 并确定所述调制节点与所述接收终端之间的 GHZ 信道, 待传送信息由所述发送终端发送至所述接收终端;

所述调制节点引入辅助粒子进行么正操作对信道进行调制, 若信道调制成功, 则由所述调制节点进行测量操作, 将测量结果与发送终端及中间节点的测

量结果发送给所述接收终端并由所述接收终端执行么正变换恢复出待传送信息，若信道调制失败，则由所述发送终端恢复出待传送信息。

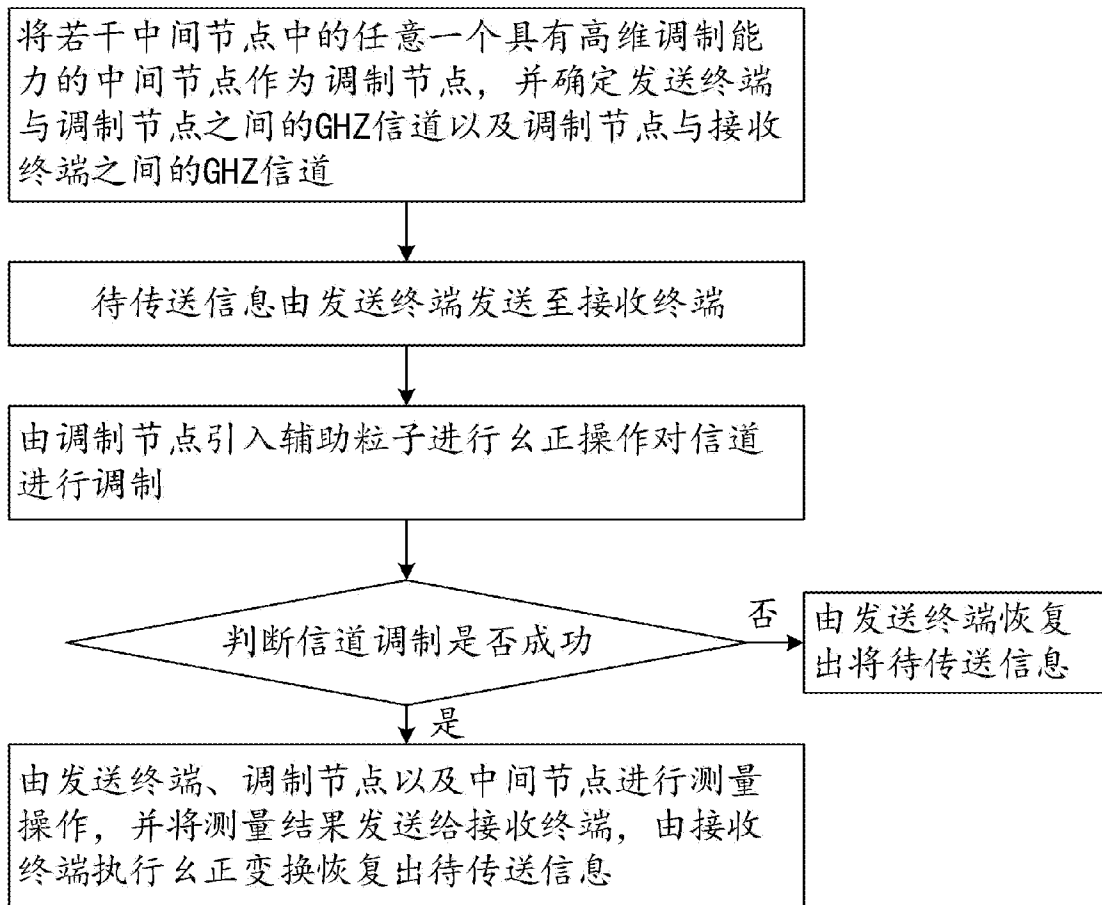


图 1

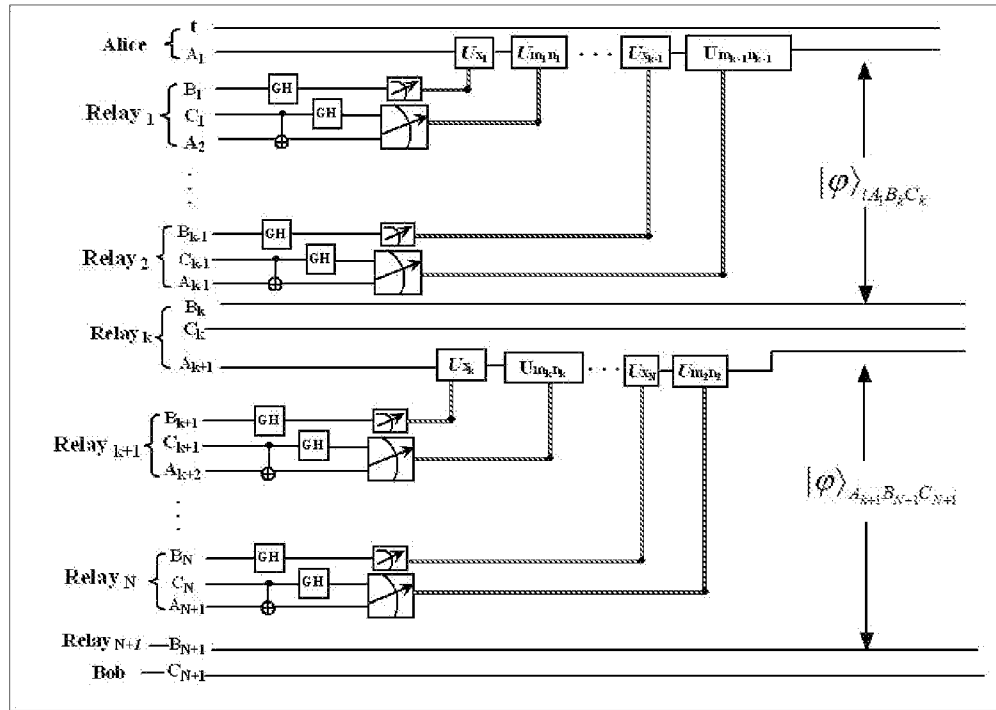


图 2

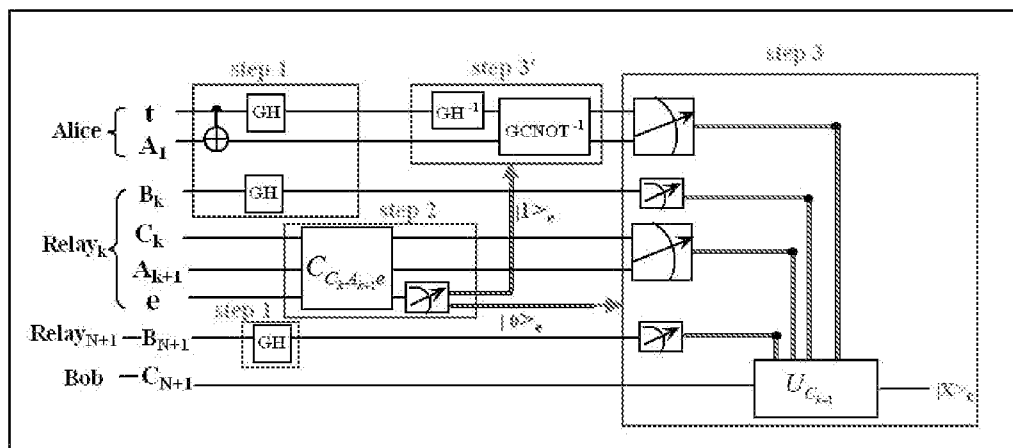


图 3

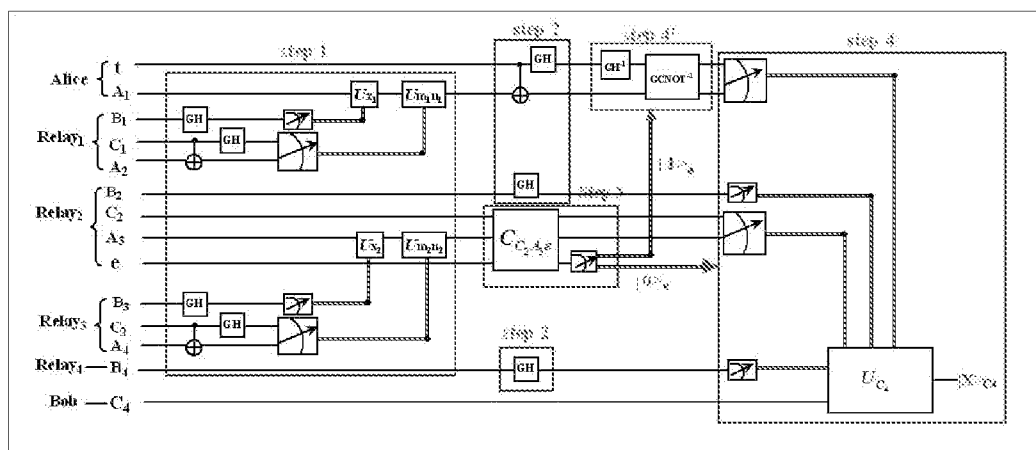


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/078320

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 10/70(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 信道, 调制, 权, 转移, 高维, 多跳, 无损, 隐形, 传送, 发送, 接收, 终端, 中间节点, 调制节点, GHZ信道, 传送信息, 辅助粒子, 么正操作, 成功, 测量操作, 失败, 恢复, channel, tone, transfer, hop, lossless, invisible, transfer, send, receive, terminal, intermediate node, tone-node, GHZ channel, transfer information, helper particle, unitary operation, success, measurement operation, failure, recovery

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110572219 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 13 December 2019 (2019-12-13) description, paragraph [0087]-paragraph [0160], claims 1-3, and figures 1-3	1-10
X	CN 108900254 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 27 November 2018 (2018-11-27) description, paragraph [0069]-paragraph [0150], claims 1-4, and figures 1-5	1-10
X	CN 110350968 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 18 October 2019 (2019-10-18) description, paragraph [0053]-paragraph [0106], claims 1-5, and figures 1-5	1-10
A	CN 112804009 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 14 May 2021 (2021-05-14) entire document	1-10
A	US 2007298745 A1 (MOTOROLA INC.) 27 December 2007 (2007-12-27) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 May 2022

Date of mailing of the international search report

26 May 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/078320

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110572219	A	13 December 2019	None			
CN	108900254	A	27 November 2018	None			
CN	110350968	A	18 October 2019	WO	2021008508	A1	21 January 2021
				US	2022045770	A1	10 February 2022
CN	112804009	A	14 May 2021	None			
US	2007298745	A1	27 December 2007	KR	20090035491	A	09 April 2009
				WO	2008002692	A1	03 January 2008
				EP	2041896	A1	01 April 2009
				CN	101479970	A	08 July 2009

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/078320

A. 主题的分类 H04B 10/70 (2013.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H04B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 信道, 调制, 权, 转移, 高维, 多跳, 无损, 隐形, 传送, 发送, 接收, 终端, 中间节点, 调制节点, GHZ 信道, 传送信息, 辅助粒子, 么正操作, 成功, 测量操作, 失败, 恢复, channel, tone, transfer, hop, lossless, invisible, transfer, send, receive, terminal, intermediate node, tone-node, GHZ channel, transfer information, helper particle, unitary operation, success, measurement operation, failure, recovery		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 110572219 A (苏州大学) 2019年12月13日 (2019 - 12 - 13) 说明书第[0087]段-第[0160]段, 权利要求1-3, 图1-3	1-10
X	CN 108900254 A (苏州大学) 2018年11月27日 (2018 - 11 - 27) 说明书第[0069]段-第[0150]段, 权利要求1-4, 图1-5	1-10
X	CN 110350968 A (苏州大学) 2019年10月18日 (2019 - 10 - 18) 说明书第[0053]段-第[0106]段, 权利要求1-5, 图1-5	1-10
A	CN 112804009 A (苏州大学) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 全文	1-10
A	US 2007298745 A1 (MOTOROLA INC.) 2007年12月27日 (2007 - 12 - 27) 全文	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2022年5月16日		2022年5月26日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		王成苗 电话号码 (86-10)53961686

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/078320

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110572219	A	2019年12月13日	无			
CN	108900254	A	2018年11月27日	无			
CN	110350968	A	2019年10月18日	WO	2021008508	A1	2021年1月21日
				US	2022045770	A1	2022年2月10日
CN	112804009	A	2021年5月14日	无			
US	2007298745	A1	2007年12月27日	KR	20090035491	A	2009年4月9日
				WO	2008002692	A1	2008年1月3日
				EP	2041896	A1	2009年4月1日
				CN	101479970	A	2009年7月8日