



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114401089 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 26

(21) 申请号 202210254915.X

(22) 申请日 2022.01.26

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114401089 A

(43) 申请公布日 2022.04.26

(62) 分案原申请数据  
202210094967.5 2022.01.26

(73) 专利权人 杭州慧明量子通信技术有限公司  
地址 310000 浙江省杭州市萧山区经济技术  
开发区北塘路436号

(72) 发明人 王士通 王慎 周宏飞

(51) Int. Cl.  
H04L 9/08 (2006.01)  
H04B 10/70 (2013.01)

(56) 对比文件

CN 113676323 A, 2021.11.19

CN 113708931 A, 2021.11.26

CN 113708932 A, 2021.11.26

US 2002131050 A1, 2002.09.19

US 2007248362 A1, 2007.10.25

审查员 苏星晔

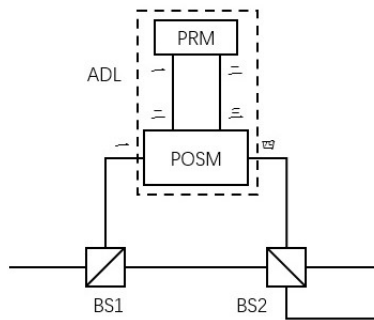
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统

(57) 摘要

一种可调延时干涉仪,包括第一分束器BS1、第二分束器BS2、偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM,第一分束器BS1的输入端口作为干涉仪的输入端口,第一分束器BS1的第二输出端口连接偏振光路选择模块POSM的第一端口,偏振光路选择模块POSM的第四端口连接第二分束器BS2的第二输入端口,构成不等臂马赫-曾德尔干涉仪;偏振光路选择模块POSM与偏振旋转模块PRM构成基本延时为T的可调延时回路ADL,本发明还公开了一种量子密钥分发系统。与现有技术相比,本发明可有效地通过偏振选择来实现大范围的延时调节,可以满足延时选择的随机性和高长度,同时可以最优化L值来最大化协议的密钥率。这种可调延时干涉仪结构简单,性能稳定,能够保证RRDPS-QKD协议的广泛应用。



1. 一种可调延时干涉仪,其特征在於,包括第一分束器BS1、第二分束器BS2、偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM,第一分束器BS1包括一个输入端口和第一输出端口、第二输出端口,第二分束器BS2包括第一输入端口、第二输入端口和第一输出端口、第二输出端口,第一分束器BS1的输入端口作为干涉仪的输入端口,第一分束器BS1的第一输出端口直接与第二分束器BS2的第一输入端口通过光纤相连,第一分束器BS1的第二输出端口连接偏振光路选择模块POSM的第一端口,偏振光路选择模块POSM的第四端口连接第二分束器BS2的第二输入端口,构成不等臂马赫-曾德尔干涉仪;第二分束器BS2的第一输出端口、第二输出端口分别作为干涉仪的两个输出端口,偏振光路选择模块POSM的第二端口、第三端口分别与偏振旋转模块PRM的第一端口、第二端口相连,偏振光路选择模块POSM与偏振旋转模块PRM构成基本延时为T的可调延时回路ADL,并位于干涉仪的长臂,用于通过调制光子偏振态改变光子在其内环回传播的时间,从而调节干涉仪的延时为T的N倍,所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第二偏振分束器PBS2,所述偏振旋转模块PRM包括第一环形器CIR1、第三偏振分束器PBS3和第一相位调制器PM1,所述第二偏振分束器PBS2的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口,其中第四端口的保偏光纤L1进行90°熔接;所述第一环形器CIR1的第一端口和第三端口分别作为偏振旋转模块PRM的第二端口和第一端口,所述第一环形器CIR1的第二端口与第三偏振分束器PBS3的第一端口通过保偏光纤45°熔接后相连;第三偏振分束器PBS3的第二端口和第三端口通过第一相位调制器PM1以及保偏光纤相连,构成萨格纳克环,偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM构成的回路基本延时为T,包括第一环形器CIR1与第二偏振分束器PBS2构成环形结构的长度Lc、2倍第一环形器CIR1与第三偏振分束器PBS3之间的光纤长度L1以及所述萨格纳克环的长度Ls所构成的长度对应的脉冲传播时间,即 $T=(Lc+2L1+Ls)/c$ ,其中c为光在光纤中的传播速度。

2. 一种量子密钥分发系统,包括发射端Alice以及接收端Bob,接收端Bob包括权利要求1中一种可调延时干涉仪,其特征在於,发射端Alice包括依次相连的激光器LD、强度调制器IM、相位调制器PM和衰减器ATT,所述发射端Alice经过光纤信道与接收端Bob的可调延时干涉仪的输入端口相连,可调延时干涉仪的两个输出端口分别连接一路单光子探测器SPD。

## 一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及量子相位编码技术领域,特别涉及一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统。

### 背景技术

[0002] 量子密钥分发协议(quantum key distribution, QKD)可以为远距离的通信双方提供无条件安全的密钥分发,其信息理论安全性由量子力学的基本原理来保障。其中海森堡不确定性原理保证了一切窃听行为必将导致信道中传输的量子态发生改变,从而产生误码。根据误码来估算窃听者得到的原始密钥的信息量,从而保证通信过程的安全性,达到通信双方的最远传输距离。因此信号扰动是所有现有量子密钥分发协议中约束潜在信息泄露的必要监控因素。环回差分相位量子密钥分发协议(Round-robin-differential phase shift QKD, RRDPS-QKD)将相位错误与比特错误之间的联系切断,不需要通过监控信道扰动的比特错误来估计相位错误,该协议原则上对大数据块脉冲的信道干扰具有很强的鲁棒性,因而被称为高容错率量子密钥分发协议。然而,RRDPS-QKD协议对设备的接收装置要求很高。接收端干涉仪需要具有多种延时,其可以容纳的脉冲延时数量直接决定了该协议的密钥率、容错率和安全性。现有技术中接收端干涉仪的可选延时数量和最大延时量是确定的,因此RRDPS-QKD协议的脉冲环回长度L能够达到的最大值就已经固定。一种现有技术的接收端干涉仪如图1所示,该方案采用4种延时的干涉仪,利用1x4BS随机选择不同的延时光路。然而,这种被动选择的单向式可调延时干涉装置会消耗大量的单光子探测器,而且延时选择范围小,最大L值仅为5,对误码的容忍性没有明显提高。

[0003] 由于现有技术中干涉仪的最大延时量是确定的,即L值是固定的,而固定的L值不能用于优化协议的密钥率。并且现有技术中实现多种延时的干涉仪结构庞大复杂,增加了系统的复杂度和成本,降低了该协议的实用性。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术存在以上缺陷,本发明提出一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统,用以解决现有技术中干涉仪的最大延时量是确定的,即L值是固定的,而固定的L值不能用于优化协议的密钥率以及干涉仪结构庞大复杂的技术缺陷。

[0005] 本发明提供一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统如下:

[0006] 本发明的技术方案是这样实现的:

[0007] 一种可调延时干涉仪,包括第一分束器BS1、第二分束器BS2、偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM,第一分束器BS1包括一个输入端口和第一输出端口、第二输出端口,第二分束器BS2包括第一输入端口、第二输入端口和第一输出端口、第二输出端口,第一分束器BS1的输入端口作为干涉仪的输入端口,第一分束器BS1的第一输出端口直接与第二分束器BS2的第一输入端口通过光纤相连,第一分束器BS1的第二输出端口连接偏振光路选择模块POSM的第一端口,偏振光路选择模块POSM的第四端口连接第二分束器BS2的第二输

入端口,构成不等臂马赫-曾德尔干涉仪;第二分束器BS2的第一输出端口、第二输出端口分别作为干涉仪的两个输出端口,偏振光路选择模块POSM的第二端口、第三端口分别与偏振旋转模块PRM的第一端口、第二端口相连,偏振光路选择模块POSM与偏振旋转模块PRM构成基本延时为T的可调延时回路ADL,并位于干涉仪的长臂,用于通过调制光子偏振态改变光子在其内环回传播的时间,从而调节干涉仪的延时为T的N倍。

[0008] 优选地,所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第一偏振分束器PBS1,所述偏振旋转模块PRM包括第一光开关OS1和第二光开关OS2,所述第一偏振分束器PBS1的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口,其中第四端口的保偏光纤进行90°熔接;所述第一光开关OS1的第二端口和第二光开关OS2的第二端口通过90°光纤熔接后相连,形成路径a,所述第一光开关OS1的第三端口和第二光开关OS2的第三端口直接相连形成路径b,所述路径a和路径b长度相同,所述第一光开关OS1的第一端口和第二光开关OS2的第一端口分别作为偏振旋转模块PRM的第二端口和第一端口,偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM构成的回路基本延时为T。

[0009] 优选地,所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第二偏振分束器PBS2,所述偏振旋转模块PRM包括第一环形器CIR1、第三偏振分束器PBS3和第一相位调制器PM1,所述第二偏振分束器PBS1的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口,其中第四端口的保偏光纤L1进行90°熔接;所述第一环形器CIR1的第一端口和第三端口分别作为偏振旋转模块PRM的第二端口和第一端口,所述第一环形器CIR1的第二端口与第三偏振分束器PBS3的第一端口通过保偏光纤45°熔接后相连;第三偏振分束器PBS3的第二端口和第三端口通过第一相位调制器PM1以及保偏光纤相连,构成萨格纳克环,偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM构成的回路基本延时为T,包括第一环形器CIR1与第二偏振分束器PBS2构成环形结构的长度Lc、2倍第一环形器CIR1与第三偏振分束器PBS3之间的光纤长度L1以及所述萨格纳克环的长度Ls所构成的长度对应的脉冲传播时间,即 $T = (Lc + 2L1 + Ls) / c$ ,其中c为光在光纤中的传播速度。

[0010] 优选地,所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第二环形器CIR2和第四偏振分束器PBS4,所述偏振旋转模块PRM包括第五偏振分束器PBS5、第二相位调制器PM2和反射镜M,所述第二环形器CIR2的第一端口和第三端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口和第四端口,所述第四偏振分束器PBS3的第二端口和第三端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第二端口和第三端口;所述第二环形器CIR2的第二端口与第四偏振分束器PBS4的第一端口通过光纤L2相连;所述第五偏振分束器PBS5的第一端口和反射镜M的端口分别作为PRM的第一端口和第二端口;所述第四偏振分束器PBS4的第二端口与第五偏振分束器PBS5的第一端口通过保偏光纤L3进行45°熔接后相连;第五偏振分束器PBS5的第二端口和第三端口通过第二相位调制器PM2以及保偏光纤相连,构成萨格纳克环;所述第四偏振分束器PBS4的第三端口与反射镜M通过光纤L4相连。

[0011] 本发明还提供了一种量子密钥分发系统,包括发射端Alice以及接收端Bob,接收端Bob包括上述任意一种可调延时干涉仪,发射端Alice包括依次相连的激光器LD、强度调制器IM、相位调制器PM和衰减器ATT,所述发射端Alice经过光纤信道与接收端Bob的可调延

时干涉仪的输入端口相连,可调延时干涉仪的两个输出端口分别连接一路单光子探测器SPD。

[0012] 与现有技术相比,本发明有以下有益效果:

[0013] 本发明的一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统,有效地通过偏振选择来实现大范围的延时调节,可以满足延时选择的随机性和高长度,同时可以最优化L值来最大化协议的密钥率。这种可调延时干涉仪结构简单,性能稳定,能够保证RRDPS-QKD协议的广泛应用。

#### 附图说明

[0014] 图1为现有技术的接收端干涉仪的原理图;

[0015] 图2为本发明可调延时干涉仪的原理图;

[0016] 图3为本发明可调延时回路实施例一的原理图;

[0017] 图4为本发明可调延时回路实施例二的原理图;

[0018] 图5为本发明可调延时回路实施例三的原理图;

[0019] 图6为本发明量子密钥分发系统的原理图。

#### 具体实施方式

[0020] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明进行清楚、完整地描述。

[0021] 如图2所示,一种可调延时干涉仪,包括第一分束器BS1、第二分束器BS2、偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM,第一分束器BS1包括一个输入端口和第一输出端口、第二输出端口,第二分束器BS2包括第一输入端口、第二输入端口和第一输出端口、第二输出端口,第一分束器BS1的输入端口作为干涉仪的输入端口,第一分束器BS1的第一输出端口直接与第二分束器BS2的第一输入端口通过光纤相连,第一分束器BS1的第二输出端口连接偏振光路选择模块POSM的第一端口,偏振光路选择模块POSM的第四端口连接第二分束器BS2的第二输入端口,构成不等臂马赫-曾德尔干涉仪;第二分束器BS2的第一输出端口、第二输出端口分别作为干涉仪的两个输出端口,偏振光路选择模块POSM的第二端口、第三端口分别与偏振旋转模块PRM的第一端口、第二端口相连,偏振光路选择模块POSM与偏振旋转模块PRM构成基本延时为T的可调延时回路ADL,并位于干涉仪的长臂,用于通过调制光子偏振态改变光子在其内环回传播的时间,从而调节干涉仪的延时为T的N倍。

[0022] 具体延时调节过程如下:

[0023] 光脉冲从第一分束器BS1的输入端口进入不等臂马赫-曾德尔干涉仪,被第一分束器BS1分成幅度和偏振均相同的子脉冲P1和P2,其中P1走干涉仪的短臂到达第二分束器BS2,P2走干涉仪的长臂从POSM的第一端口进入,在POSM和PRM组成的可调延时回路ADL内环回传播。通过PRM来切换P2的偏振态为水平或竖直偏振,从而调节P2在可调延时回路里传播的圈数N,使得P2的延时为 $N \cdot T$ 。最后P2从POSM的第四端口出射然后到达第二分束器BS2,相对P1到达第二分束器BS2的时间延迟了 $N \cdot T$ 。

[0024] 如图3所示,本发明可调延时回路实施例一:

[0025] 所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第一偏振分束器PBS1,所述偏振旋转模块PRM包括第一光开关OS1和第二光开关OS2,所述第一偏振分束器

PBS1的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口,其中第四端口的保偏光纤进行90°熔接;所述第一光开关OS1的第二端口和第二光开关OS2的第二端口通过90°光纤熔接后相连,形成路径a,所述第一光开关OS1的第三端口和第二光开关OS2的第三端口直接相连形成路径b,所述路径a和路径b长度相同,所述第一光开关OS1的第一端口和第二光开关OS2的第一端口分别作为偏振旋转模块PRM的第二端口和第一端口,偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM构成的回路基本延时为T。

[0026] 实施例一延时调节过程包括为:

[0027] 水平偏振态H的光脉冲P2从POSM的第一端口进入,在可调延时回路内沿逆时针传播。P2首先被PBS1透射,从POSM的第三端口出射进入OS1。当控制OS1和OS2的状态使P2走路径a时,P2的偏振态变为垂直偏振V,经OS2之后进入PBS1的第二端口被透射,最后经90°熔接点之后偏振态变为水平偏振H,此时P2在可调延时回路中只传播了一圈,延时量为T。当控制OS1和OS2的状态使P2走路径b时,P2的偏振态仍为水平偏振H,经OS2之后进入PBS1的第二端口被反射,变成垂直偏振V再次到沿逆时针在可调延时回路中传播,此时控制OS1和OS2的状态使P2走路径b,P2再次到达PBS1时由于偏振态为垂直偏振V,会从PBS1的第二端口透射,最后经90°熔接点之后偏振态变为水平偏振H,此时P2在可调延时回路中传播了2圈,延时量为2T。可依次类推当N>2时,控制OS1和OS2的状态使P2在可调延时回路中传播第一圈和第N圈时走路径b,在第2圈到第N-1圈时走路径a,即可调节P2的延时为N\*T。下表为P2的延时量与其在可调延时回路中传播圈数及每一圈在PRM中所走路径的关系:

延时	T	2T	3T	4T	N*T
圈数	1	2	3	4	N
路径	a	bb	<u>bab</u>	<u>baab</u>	<u>b(N-2)ab</u>

[0029] 如图4所示,本发明可调延时回路实施例二:

[0030] 所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第二偏振分束器PBS2,所述偏振旋转模块PRM包括第一环形器CIR1、第三偏振分束器PBS3和第一相位调制器PM1,所述第二偏振分束器PBS1的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口、第二端口、第三端口和第四端口,其中第四端口的保偏光纤L1进行90°熔接;所述第一环形器CIR1的第一端口和第三端口分别作为偏振旋转模块PRM的第二端口和第一端口,所述第一环形器CIR1的第二端口与第三偏振分束器PBS3的第一端口通过保偏光纤45°熔接后相连;第三偏振分束器PBS3的第二端口和第三端口通过第一相位调制器PM1以及保偏光纤相连,构成萨格纳克环,偏振光路选择模块POSM和偏振旋转模块PRM构成的回路基本延时为T,包括第一环形器CIR1与第二偏振分束器PBS2构成环形结构的长度Lc、2倍第一环形器CIR1与第三偏振分束器PBS3之间的光纤长度L1以及所述萨格纳克环的长度Ls所构成的长度对应的脉冲传播时间,即 $T = (Lc + 2L1 + Ls) / c$ ,其中c为光在光纤中的传播速度。

[0031] 实施例二延时调节过程包括为:

[0032] 水平偏振态H的光脉冲P2从POSM的第一端口进入,在可调延时回路内沿逆时针传播。P2首先被PBS1透射,从POSM的第三端口出射进入PRM进行偏振旋转。首先从CIR1的第一

端口进入,从其第二端口出射,经45°偏振旋转之后偏振态变为45°线偏振。45°偏振态可写为  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle + |V\rangle)$ ,其中H分量为水平偏振态,沿保偏光纤慢轴(s)传播;V分量为竖直偏振态,沿保偏光纤快轴(f)传播。P2从PBS3的第一端口进入,H分量被透射从PBS3第二端口输出,在萨格纳克环内沿逆时针方向传播,记为脉冲P21;V分量被反射从PBS3第三端口输出,在萨格纳克环内沿顺时针方向传播,记为脉冲P22。其中P21经过PM1时调制相位  $\varphi$ ,P22经过PM1时不调相,二者分别再次返回PBS3时合成一束光脉冲P2',经过45°偏振旋转之后,偏振态变为  $i \sin(\varphi) |H\rangle - \cos(\varphi) |V\rangle$ 。

[0033] 当调制相位  $\varphi = 0$ 时,P2'的偏振态变为竖直偏振V,到达CIR1时从其第二端口进入第三端口,然后从PBS2的第二端口透射到第四端口,经过90°偏振旋转之后,最终从POSM的第四端口出射,偏振态为水平偏振H,所经历的延时为  $t=T=(Lc+2L1+Ls)/c$ ,相当于在可调延时回路中传播1圈。

[0034] 当调制相位  $\varphi = \pi$ 时,P2'的偏振态变为水平偏振H,到达CIR1时从其第二端口进入第三端口,然后从PBS2的第二端口反射到第三端口,再次进入PRM进行偏振旋转。当调制相位  $\varphi = 0$ 时,P2'的偏振态变为竖直偏振V,到达CIR1时从其第二端口进入第三端口,然后从PBS2的第二端口透射到第四端口,经过90°偏振旋转之后,最终从POSM的第四端口出射,偏振态为水平偏振H,所经历的延时为  $t=2T=2(Lc+2L1+Ls)/c$ ,相当于在可调延时回路中传播2圈。

[0035] 依次类推当  $N>2$ 时,通过调节相位  $\varphi$ 使P2在可调延时回路中传播第一圈到第N-1圈时进入PBS2的第二端口偏振为水平偏振H,在第N圈时进入PBS2的第二端口偏振为竖直偏振V,即可调节P2的延时为  $N*T$ 。下表为P2的延时量与其在可调延时回路中传播圈数及每一圈PM1调制相位  $\varphi$ 的关系:

延时	T	2T	3T	4T	N*T
圈数	1	2	3	4	N
相位 $\varphi$	0	$\pi$ 0	$\pi$ $\pi$ 0	$\pi$ $\pi$ $\pi$ 0	$(N-1) \pi$ 0

[0037] 如图5所示,本发明可调延时回路实施例三:

[0038] 所述可调延时回路ADL的结构为:所述偏振光路选择模块POSM为第二环形器CIR2和第四偏振分束器PBS4,所述偏振旋转模块PRM包括第五偏振分束器PBS5、第二相位调制器PM2和反射镜M,所述第二环形器CIR2的第一端口和第三端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第一端口和第四端口,所述第四偏振分束器PBS3的第二端口和第三端口分别作为偏振光路选择模块POSM的第二端口和第三端口;所述第二环形器CIR2的第二端口与第四偏振分束器PBS4的第一端口通过光纤L2相连;所述第五偏振分束器PBS5的第一端口和反射镜M的端口分别作为PRM的第一端口和第二端口;所述第四偏振分束器PBS4的第二端口与第五偏振分束器PBS5的第一端口通过保偏光纤L3进行45°熔接后相连;第五偏振分束器PBS5的第二端口和第三端口通过第二相位调制器PM2以及保偏光纤相连,构成萨格纳克环;所述第四偏振分束器PBS4的第三端口与反射镜M通过光纤L4相连。

[0039] 实施例二延时调节过程包括为：

[0040] 水平偏振态H的光脉冲P2从POSM的第一端口进入，首先从CIR2的第一端口到第二端口，并从PBS4的第一端口透射到达PBS5的第一端口，经45°偏振旋转之后偏振态变为45°线偏振。其中H分量被透射从PBS5第二端口输出，在萨格纳克环内沿逆时针方向传播，记为脉冲P21；V分量被反射从PBS5第三端口输出，在萨格纳克环内沿顺时针方向传播，记为脉冲P22。其中P21经过PM2时调制相位 $\varphi$ ，P22经过PM2时不调相，二者分别再次返回PBS5时合成一束光脉冲P2'，经过45°偏振旋转之后，偏振态变为 $i \sin(\varphi) |H\rangle - \cos(\varphi) |V\rangle$ 。

[0041] 当调制相位 $\varphi = \pi$ 时，P2'的偏振态变为水平偏振H，到达PBS4时直接透射，从其第二端口进入第一端口，然后经CIR2输出，最终从POSM的第四端口出射，偏振态为水平偏振H，所经历的延时为 $t = (2L_2 + 2L_3 + L_s) / c$ 。

[0042] 当调制相位 $\varphi = 0$ 时，P2'的偏振态变为竖直偏振V，到达PBS4时反射从其第二端口进入第三端口，然后被反射镜M反射后回到PBS4的第三端口，被反射到第二端口后偏振态变为水平偏振H，再次进入PRM进行偏振旋转。当调制相位 $\varphi = \pi$ 时，P2'的偏振态变为水平偏振H，到达PBS4时直接透射，从其第二端口进入第一端口，然后经CIR2输出，最终从POSM的第四端口出射，偏振态为水平偏振H，所经历的延时为 $t = [2L_2 + 2(2L_3 + L_s) + 2L_4] / c$ 。

[0043] 依次类推当 $N > 2$ 时，P2在萨格纳克环内第一次到第N-1次调制相位 $\varphi = 0$ ，第N次调制相位 $\varphi = \pi$ ，即可调节P2的延时为 $t = [2L_2 + N(2L_3 + L_s) + 2(N-1)L_4] / c$ 。下表为P2的延时量与其在可调延时回路中传播圈数及每一圈PM1调制相位 $\varphi$ 的关系：

[0044]	延时	$(2L_2 + 2L_3 + L_s) / c$	$[2L_2 + 2(2L_3 + L_s) + 2L_4] / c$	...	$[2L_2 + N(2L_3 + L_s) + 2(N-1)L_4] / c$
	相位 $\varphi$	$\pi$	$0 \pi$	...	$(N-1)0 \pi$

[0045] 通过设置各光纤的长度可以使得延时量与脉冲周期相匹配。

[0046] 如图6所示，本发明还提供了一种量子密钥分发系统，包括发射端Alice以及接收端Bob，接收端Bob包括上述任意一种可调延时干涉仪，发射端Alice包括依次相连的激光器LD、强度调制器IM、相位调制器PM和衰减器ATT，所述发射端Alice经过光纤信道与接收端Bob的可调延时干涉仪的输入端口相连，可调延时干涉仪的两个输出端口分别连接一路单光子探测器SPD。

[0047] 综合本发明各个实施例可知，本发明的一种可调延时干涉仪及量子密钥分发系统，有效地通过偏振选择来实现大范围的延时调节，可以满足延时选择的随机性和高长度，同时可以最优化L值来最大化协议的密钥率。这种可调延时干涉仪结构简单，性能稳定，能够保证RRDPS-QKD协议的广泛应用。



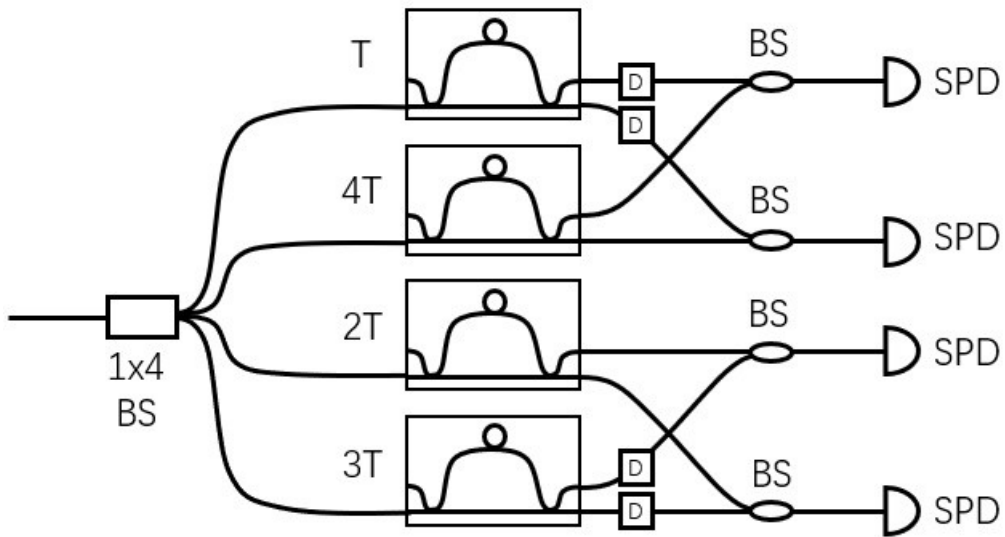


图1

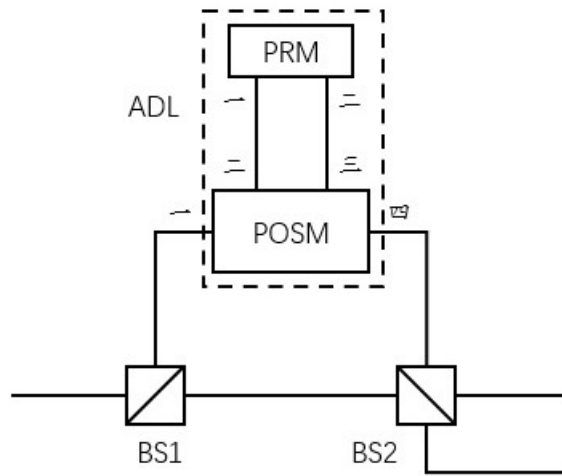


图2

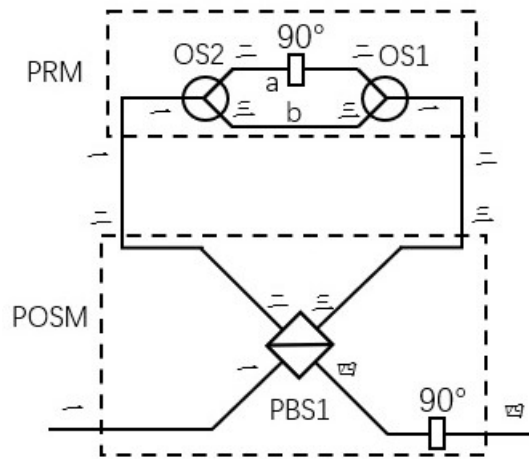


图3

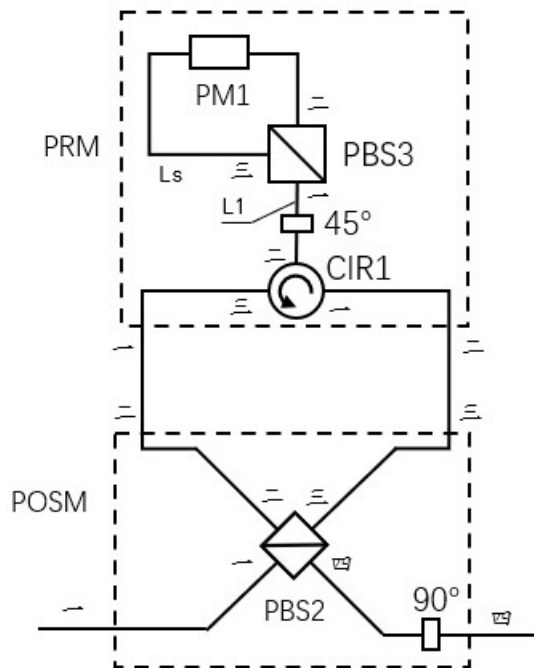


图4

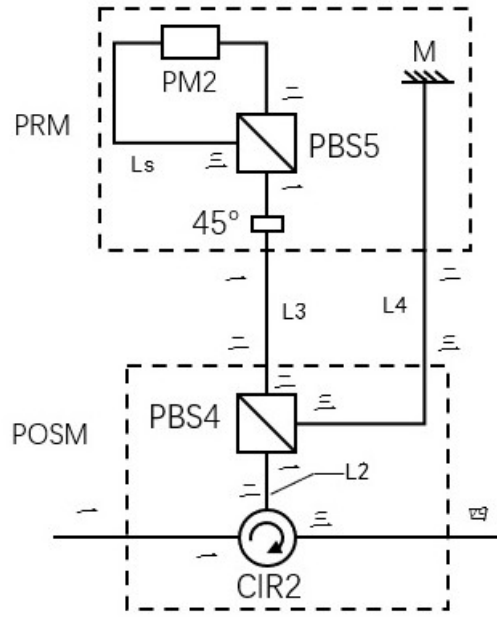


图5

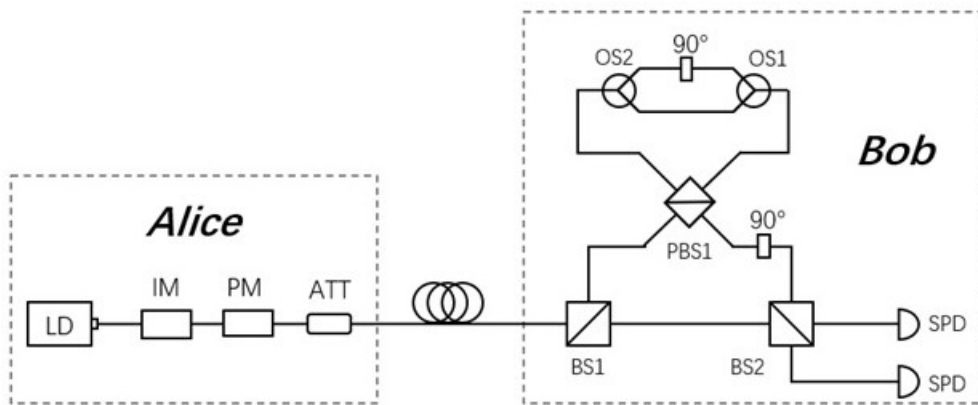


图6