

文章编号:1004-4213(2011)05-0785-4

基于 LabVIEW 的连续变量相位检测系统

周武林, 黄春晖

(福州大学 物理与信息工程学院, 福州 350108)

摘要:构造了一种连续变量相位检测平台. 发射端采用相位调制器产生连续的相移, 接收端使用零差探测器测量光场的正则相位, 选用 NI 的高性能数据采集卡 PCI6111E 控制整个系统. 使用 LabVIEW 虚拟仪器模块化编程技术, 包括 PID 控制、DAQmx 数据采集和三角拟合, 缩短系统开发时间, 提高编程效率. 通过琼斯矩阵理论推导和实验验证了连续变量相位检测系统的可行性, 结果表明零差探测器输出电压与相位调制器输入电压成余弦关系, 为连续变量量子密钥分配研究提供了一种新方法.

关键词:连续变量; 零差检测; 相位检测; LabVIEW

中图分类号: TN918

文献标识码: A

doi: 10. 3788/gzxb20114005. 0785

0 引言

量子保密通信根据海森堡测不准原理和量子不可克隆原理, 保证了信息传输的绝对安全, 具有良好的应用前景^[1]. 连续变量量子保密通信发送端采用幅度调制和相位调制把信号加载到量子载波上, 检测端采用零差测量光场的正则幅度和正则相位^[2]. Grosshans 等人演示了基于相干态的连续变量保密通信实验装置, 但是由于没有足够快的相位调制器, 相位没有随机地调制^[3]. 虚拟仪器(LabVIEW)是一种图形化编程语言, 采用图形模式的结构和框图构建程序代码, 它提供了大量的函数和模块化编程方便用户定制所需程序^[4].

本文通过琼斯矩阵理论推导, 实验验证了改变相位调制器的输入电压, 即能得到确定的输出偏振态, 并且零差探测器输出电压与相位调制器输入电压成余弦关系.

1 系统结构

在图 1 中, LD 为半导体激光器 LDI800 及其驱动器 SDL5412 (美国 Laser Drive); PM 为宽带宽相位调制器 Model 4002M 及其驱动器 Model 3211 (美国 NewFocus); PZT 为压电陶瓷 PST150 以及驱动器 MiniPiA101 (德国 Toptica); PCI-DAQ 为数据采集卡 PCI6111E (美国 NI); DA/DB 为自

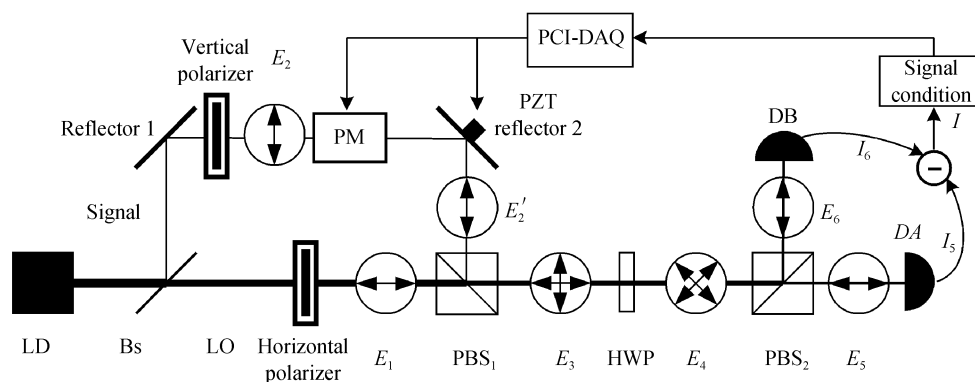


图 1 系统结构
Fig. 1 Schematic view of the system

基金项目:福建省教育厅重点科技项目(No. JA08001)资助

第一作者:周武林(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为量子保密通信. Email: N081120009@fzu.edu.cn

导师(通讯作者):黄春晖(1959-),男,教授,主要研究方向为量子通信与集成电路设计. Email: hchfzu@163.com

收稿日期:2010-11-04;修回日期:2011-01-17

制的零差检测电路^[5-6]. 激光器(LD)出射光束, 经过分束器(BS); 一路强光(图中粗线部分)作为本征光(LO), 经过水平偏振片后, 其偏振方向为水平方向 E_1 ; 另一路弱光(图中细线部分)作为信号光(signal), 经过垂直偏振片、相位调制器(PM)和压电陶瓷(PZT)后, 其偏振方向为垂直方向 E_2 ; 两束光经过耦合器(PBS₁)合成为互相正交偏振态 E_3 , 通过半波片(HWP)同时改变两束光偏振态, 形成互相垂直偏振态 E_4 ; 最后通过分束器(PBS₂)和零差检测电路分别检测水平部分 E_5 和垂直部分 E_6 , 两者之差经过信号调理后, 由 PCI 采集卡进行数据采集.

2 原理分析

为了更好地说明系统工作原理, 本文采用琼斯矩阵对整个系统进行描述, 将所用到的光学器件以及由其所构成的所有器件, 全部用琼斯矩阵表示^[7-9].

激光器入射任意偏振态, 其琼斯矩阵可以表示为

$$E = \begin{pmatrix} a & b \end{pmatrix}^T \quad (1)$$

本征光可以表示为 $E_1 = \begin{pmatrix} a & 0 \end{pmatrix}^T$; 信号光可以表示为

$$E_2 = \begin{pmatrix} 0 & b \end{pmatrix}^T \quad (2)$$

经过相位调制器改变信号光相位 δ 后, 信号光的偏振态变为

$$E_2' = \begin{pmatrix} 0 & be^{i\delta} \end{pmatrix}^T \quad (3)$$

两束光经过耦合器后

$$E_3 = \begin{pmatrix} a & be^{i\delta} \end{pmatrix}^T \quad (4)$$

半波片的琼斯矩阵为

$$G_{\text{QWP}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

则

$$E_4 = G_{\text{QWP}} \cdot E_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} a+be^{i\delta} \\ a-be^{i\delta} \end{pmatrix} \quad (6)$$

经过分束器 2 后, 水平部分可以表示为

$$E_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot E_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} a+be^{i\delta} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

垂直部分可以表示为

$$E_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot E_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ a-be^{i\delta} \end{pmatrix} \quad (8)$$

水平部分的光电流为

$$I_5 = E_5^* \cdot E_5 = \{a^2 + b^2 + abe^{i\delta} + abe^{-i\delta}\} / 2 \quad (9)$$

垂直部分的光电流为

$$I_6 = E_6^* \cdot E_6 = \{a^2 + b^2 - abe^{i\delta} - abe^{-i\delta}\} / 2 \quad (10)$$

两者之差为

$$I = I_5 - I_6 = ab(e^{i\delta} + e^{-i\delta}) = 2ab \cos \delta \quad (11)$$

根据相位调制器原理 $\delta = \pi \cdot V/V_\pi$, 其中 V_π 是相位调制器的半波电压. 设零差检测电路跨阻放大倍数为 R , 最终采集卡检测到的电压为

$$V_{\text{card}} = I \cdot R = 2Rab \cdot \cos(\pi \cdot V/V_\pi) \quad (12)$$

由此可见, 对于任意偏振态的入射光, 只要改变相位调制器输入电压, 即可改变信号光的相位, 从而得到不同的偏振态. 通过零差检测电路和采集卡, 能够确定输出的偏振态, 并且零差检测输出电压与相位调制器的输入电压成余弦关系.

3 实验结果与分析

由于系统容易受外界干扰, 影响本征光和信号光的相位差, 所以需要预扫描, 锁定两路光的相位差. 采用 LabVIEW PID 模块编程如图 2, PID 控制原理为: $u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$. 式中, $u(t)$ 为输出; $e(t)$ 为误差; $ec(t)$ 为误差变化率; k_p 、 k_i 、 k_d 为比例、积分、微分系数. 程序设置线性 P、积分 I 和微分 D 值分别为 0.31、0.5、0.01, 设定点为 0, 控制 PZT 推动反射镜 2, 改变两路光的光程差, 从而达到相位调节, 使信号光和本征光的相位差保持稳定.

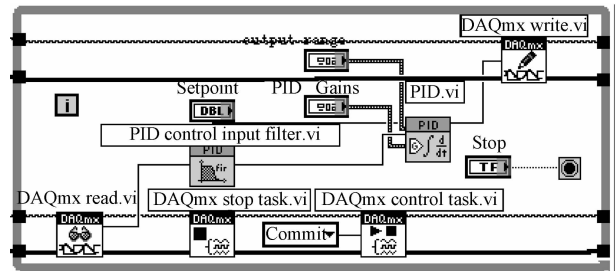


图 2 PID 相位锁定

Fig. 2 PID phase lock

PZT 稳定相位差后, 采用 LabVIEW 的 DAQmx 模块编程如图 3. 相位调制器的输入电压为 1 kHz 的三角波, 并以 1M 采样率对零差检测电路输出电压进行采集, 得到如图 4 的结果. 图 4 中, 三角波信号(右坐标纵轴)为电光调制驱动器的输入电压值; 类似正弦波形的信号(左坐标纵轴)为零差检测电路输出电压.

为了进一步分析输入电压与输出电压的关系, 采用 LabVIEW 三角拟合模块编程(图 5), 其拟合函数原型为 $f = a \cdot \cos(b \cdot x + c) + d$, 拟合后为 $y = 0.22 \cdot \cos(0.95 \cdot x + 1.41) - 1.486$. 图中两条曲线拟合度为 99%, 由此可见理论推导结果和实验所得结果在图形上完全吻合, 即电光调制器的输入

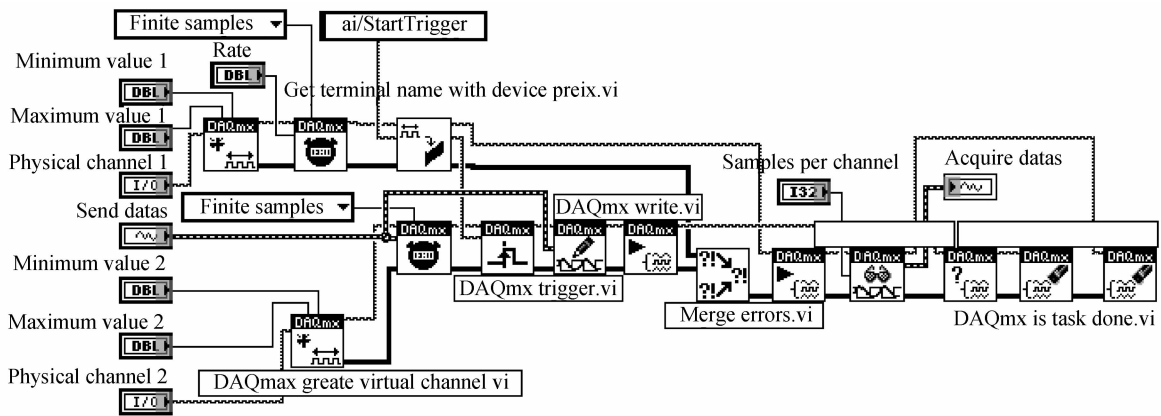


图 3 LabVIEW DAQmx 编程
Fig. 3 LabVIEW DAQmx program

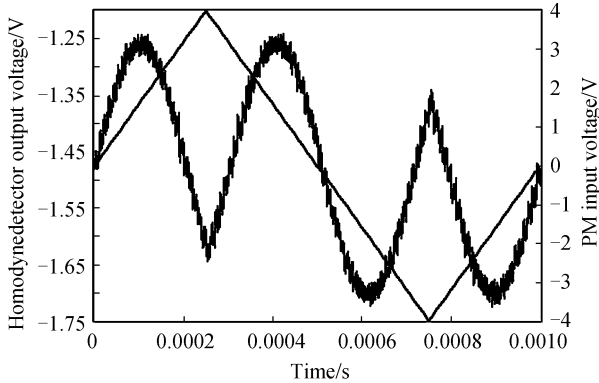


图 4 相位调制器的输入电压与零差检测输出电压的关系
Fig. 4 The relationship between the PM input voltage and the homodyne detector output voltage

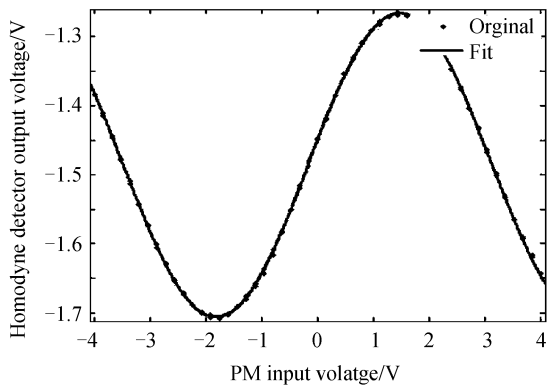


图 5 LabVIEW 三角拟合
Fig. 5 LabVIEW triangle fit

电压与零差检测电路输出电压的光强一一对应,输出光强的确与相位调制器的输入电压成余弦关系变化。

4 结论

本文结合电光相位调制器、偏振分束器等光学器件和零差检测电路,构建了基于 LabVIEW 的连续变量相位检测系统.采用LabVIEW模块化编程

缩短了开发周期,通过琼斯矩阵理论推导和实验结果验证了改变相位调制器的输入电压,即能得到确定的输出偏振态,并且输出电压与相位调制器输入电压成余弦关系,为连续变量量子密钥分配研究提供了一种新的方法。

参考文献

- [1] 曾贵华. 量子密码学[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [2] 马瑞霖. 量子密码通信[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [3] GROSSHANS F, ASSCHE G V, WENGER J, et al. Quantum key distribution using gaussian-modulated coherent states[J]. *Nature*, 2003, **421**: 238-241.
- [4] TRAVIS J, KRING J. LabVIEW 大学实用教程[M]. 乔瑞萍, 译. 3 版. 北京:电子工业出版社, 2008.
- [5] CHEN Chu, HUANG Chun-hui. Improved version of coherent light detection system design[J]. *Laser & Infrared*, 2008, **38**(6): 580-582. 陈楚,黄春晖.改进型相干光检测系统的设计[J]. *激光与红外*, 2008, **38**(6): 580-582.
- [6] CHEN Shao-hua, HUANG Chun-hui. Application of LabVIEW in homodyne coherent light detection system[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2009, **26**(3): 371-375. 陈少华,黄春晖. LabVIEW 在零差相干光检测系统的应用[J]. *量子电子学报*, 2009, **26**(3):371-375.
- [7] LEONHARDT U. Measuring the quantum state of light[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [8] TANG Zhi-lie, LI Ming, WEI Zheng-jun, et al. The quantum key distribution system based on polarization states produced by phase modulation [J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(6): 2534-2539. 唐志列,李铭,魏正军,等. 相位-偏振编码量子保密通信系统的研究[J]. *物理学报*, 2005, **54**(6):2534-2539.
- [9] WEI Ya-dong, TANG Zhi-lie, LIU Xiao-bao, et al. Study on sending after verify scheme in quantum channel for quantum key distribution system based on polarization coding[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(7): 1852-1857. 魏亚东,唐志列,刘小宝,等. 基于相位调制偏振态 QKD 系统的量子信道校正发送方案[J]. *光子学报*, 2009, **38**(7): 1852-1857.

Continuous Variable Phase Detection System Based on LabVIEW

ZHOU Wu-lin, HUANG Chun-hui

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, CHINA)

Abstract: A new continuous variable phase detection platform was built. In the proposed platform, electro-optic modulator was used as the transmitter to produce continuous phase shift, homodyne detection circuit was used as the receiver to measure the phase of the light field, and high performance NI data acquisition card PCI6111E was used to control the entire system. The LabVIEW program technologies, including PID control, DAQmx data acquisition and triangle fit, which can reduce system development time, were used to improve the programming efficiency. The feasibility of the continuous variable phase detection system was validated by Jones matrix theory and experiments, which shows the cosine relation between the output voltage of homodyne detection and the input voltage of phase modulator. The new scheme provides a new approach for continuous variable quantum key distribution.

Key words: Continuous variable; Homodyne detection; Phase detection; LabVIEW