

动态偏振控制器驱动与性能监控系统设计*

王倩*, 朱俊, 何广强, 曾贵华

(上海交通大学电子工程系, 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200240)

摘要:以量子安全通信系统的硬件为实验平台, 研制了动态偏振控制器(DPC)的驱动模块和性能监控系统。设计中, 采用嵌入式 ARM 控制器通过自制的驱动模块驱动 DPC, 同时检测 DPC 的输出光强, 将其随工作电压变化的曲线直观显示于终端计算机上, 并测量出半波电压。实验结果与理论性分析验证了方案的可行性和可靠性。

关键词:偏振控制器(DPC); 半波电压; 光纤

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2007)10-1176-04

Study on the Design of DPC Drive Module and Performance Monitoring System

WANG Qian*, ZHU Jun, HE Guang-qiang, ZENG Gui-hua

(Department of Electronic Engineering, The State Key Laboratory on Fiber-Optic Local Area Networks and Advanced Optical Communication Systems, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The driving module and performance monitoring system for dynamic polarization controller(DPC) are designed and fabricated by employing the hardware of a quantum security communication system. The DPC is driven by the driving module through the control of ARM. Meanwhile, the output light intensity of DPC is detected and its curve according to the applied voltage is shown on the terminal computer screen by the specific software. The half-wave voltage can also be measured by analyzing the curve. The feasibility and reliability of the scheme are verified through the experimental result and theoretical analysis.

Key words: dynamic polarization controller(DPC); half-wave voltage; fiber

1 引言

偏振是量子光的一个重要和常用的性质。因此,在量子安全通信系统中,经常通过改变偏振态来进行编解码,而动态偏振控制器(DPC)作为一种改变输入光偏振态的光器件,直接参与传输数据的编解码,在量子通信中起着必不可少的作用。而在传统的光纤通信系统中,如何准确控制光纤中的偏振态成为实验的前提和关键,因为这关系着系统的稳定性和数据传输的误码率,采用 DPC 也是十分有效的办法^[1,2]。

但是,所有厂家在 DPC 出厂时并没有给出其重要指标半波电压的具体测量方法,而在实际运用中,半波电压又与给出的标称值不完全一致,导致了使用的不便。因此,在使用 DPC 时,需要有与之配套的驱动电路和性能监测系统。但是,如果成套购买的话,价格昂贵,在实际的工程开发中,不能达到最佳的性价比,会阻碍量子通信系统的开发和推广。因此,需要我们自主研制和开发 DPC 的驱动电路和性能监控系统。

本文介绍了 DPC 的工作原理,给出了其驱动模块和性能监控系统的设计,进行实验结果和理论结果的分析,展示了 DPC 在实际运用中的性能表现以及影响其性能的诸多因素。

2 DPC 的工作原理^[3]

采用美国 General Photonics Co. 的 PolaRITE. -PCD-002 DPC,其由 4 个光纤挤压器构成,相互以 45° 倾斜放置。设光纤挤压器 X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4 对应的外部施加的压力为 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 ,各挤压器对应的驱动电压为 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 并由电压信号驱动,产生相应的压力挤压光纤形成线性双折射,从而改变入射光的偏振态。

单模磁场的偏振态都可以用邦加球上的点来表示,如图 1 所示。

如果增加 X_1 或 X_3 的电压 V_1 或 V_3 ,即增加 X_1 或 X_3 的压力 F_1 或 F_3 ,则偏振态会绕着 OQ 轴顺时针旋转,相反,如果减少 V_1 或 V_3 ,则偏振态会绕着 OQ 轴逆时针旋转。另一方面,如果增加 X_2 的电压 V_2 ,即增加 X_2 的压力 F_2 ,则偏振态会绕着 OH 轴顺时针旋转;相反,如果降低 V_2 ,偏振态则会绕着 OH 轴逆时针旋转。由此可知,只要输入光的偏振态与 X_1 和 X_2 的方向都不垂直,那么输入光的偏振态都可以通过操作最少 2 个挤压器改变到任意一个偏振态。

这种挤压光纤型偏振控制代替了传统的半波片、 $\lambda/4$ 波片和半波片的结构,因而具有:1) 由于全光纤结构, DPC 插入损

* 收稿日期:2006-05-09 修订日期:2007-07-13

* E-mail: xclok81@gmail.com

耗很低,无反射;2) 控制速度快,响应时间 < 35 μs;3) 工作范围广,工作波长为 1260 ~ 1650 nm,这一特性可以简化系统设计,减小成本,使系统具有扩展性;4) 工作在 1550 nm 时,光纤挤压器工作的半波电压 < 30 V,而不是 1550 nm 波长的半波电压 V_{λ} ,可以用

$$V(\lambda) = V(1550 \text{ nm}) \times \frac{1550}{\lambda} \quad (1)$$

轻松换算出来。

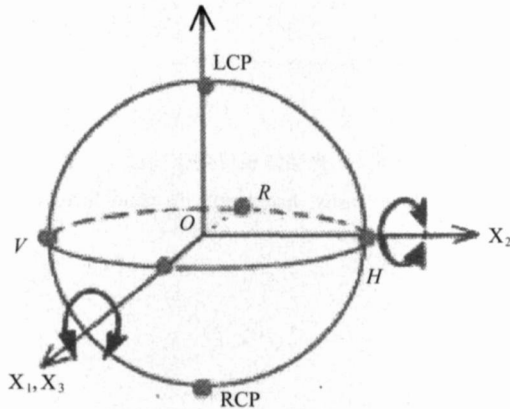


图 1 邦加球

Fig.1 Poincaré sphere

3 DPC 的驱动模块设计

DPC 的驱动电路和性能监控系统是通过如图 2 所示平台研制和开发的。

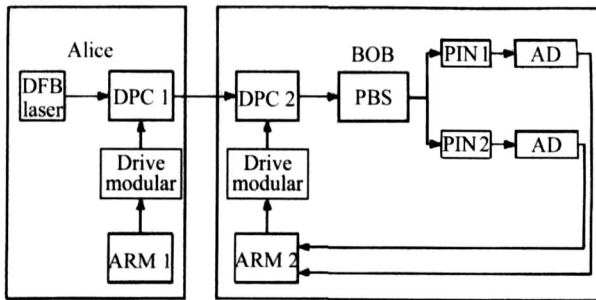


图 2 实验平台的结构图

Fig.2 Structure of the experiment arrangement

图 2 所示实验平台,实际上是基于相干光偏振调制的量子安全通信系统,其最大的特点是采用嵌入式系统 ARM 控制器来实现 DPC 的同步驱动和监控。平台使用 2 个 DPC,DPC 1 用于相干光偏振态的调制和加密,DPC 2 则用于解密。以 DPC 2 为例,在进行 DPC 2 的性能监控时,DPC 1 不工作。ARM 2 输出数据,驱动 DPC 2 改变输入光的偏振态。同时,将 AD 检测输出的光信号强度转化成数据,由 ARM 2 接收后传输给计算机,由性能监控软件处理。

根据 DPC 的工作原理,要想将输入光的偏振态改变到任意偏振态,至少需要同时驱动 2 个光纤挤压器。同时,DPC 又自带 15 倍电压放大模块,而工作在 1550 nm 波长时半波电压 < 30 V。因此,所需要提供的电压最大值为 $30 \times 2 / 15 = 4 \text{ V}$,驱

动模块需要提供 4 路 0 ~ 4 V 的可变电压用来驱动 DPC 的 4 个光纤挤压器。

如图 2 所示,DPC 的驱动模块将 ARM 控制器输出的 12 位数据(0 ~ 4095)通过数模器件转换成 0 ~ 5 V 模拟电压。其电路结构如图 3 所示。

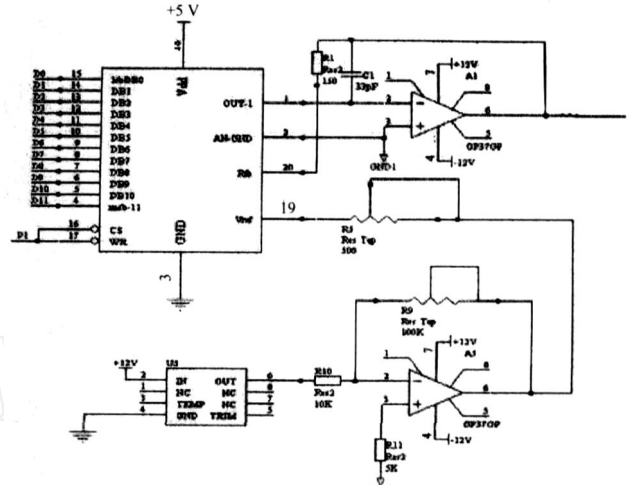


图 3 模块的电路设计

Fig.3 Circuit of the drive modular

其 4 路电压驱动设计均相同,都采用高精度的 12 位 DAC (AD7545) 的 5 V 单极性工作模式。AD7545 的参考电压由芯片 REF02 来提供,其电压浮动 < 5%,基本满足精度要求。

4 性能监控系统的设计和结果验证

加在 DPC 上的工作电压与偏振态间的对应关系是 DPC 的很重要的性能指标,反映了整个通信系统运作的性能。因此,在对 DPC 进行性能监控时,需要实时监测反馈的光强信号随工作电压的变化情况。性能监控系统除利用上述实验平台的硬件外,还要在 ARM 控制器上编写对应的软件,实现对 DPC 同步的驱动和监控,并将光强变化反馈回计算机,计算机通过特写编写的程序,将变化曲线显示出来。

4.1 软件设计思想

ARM 控制器在整个性能监控系统中起着十分重要的作用。一方面,要向 DPC 发送以一定间隔递增的数据信号(0 ~ 4095);另一方面,又要接收 AD 检测光强后转换出来的数据,并将其传送给计算机,供专门软件描绘半波电压曲线。ARM 控制器的软件流程图,如图 4 所示。

4.2 理论分析

对于图 2,如果设定 DPC 1 的各挤压器电压初始值 $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 0$,则可以作为测试 DPC 2 各光纤挤压器半波电压的装置图。以 DPC 2 的 X_2 为例,给出半波电压的计算方法。已知,如果增加 X_2 的电压 V_2 ,则偏振态轨迹绕 OH 顺时针旋转,旋转 1 周的电压变化对应 2 倍的半波电压。入射光的 Stokes 参量^[4]为

$$\begin{cases} S_0 = (E_x)^2 + (E_y)^2 \\ S_1 = (E_x)^2 - (E_y)^2 \\ S_2 = 2 E_x E_y \cos \phi \\ S_3 = 2 E_x E_y \sin \phi \end{cases} \quad (2)$$

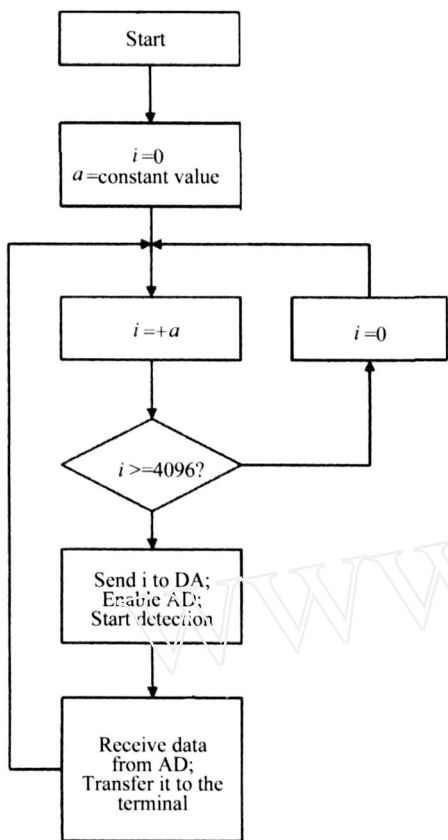


图4 软件流程图

Fig. 4 Flow diagram of the ARM software

由于DPC为无源器件,能量守恒,理想情况下 S_0 不变。又由于偏振态运动轨迹绕轴 OH 旋转,所以参量 S_1 也不变。 S_1 和 S_0 不变,则表示给定偏振态下的入射光光波在快轴 OX 和慢轴 OY 上的投影 E_{0x} 和 E_{0y} 不随时间变化。增加 V_2 引起 S_2 和 S_3 变化的本质就是 E_{0x} 和 E_{0y} 间的相位差 $\delta = \delta_y - \delta_x$ 随 V_2 进行周期性变化^[5]。

设定入射光相位初始值 $\delta_x = 0, \delta_y = +\pi/4$, X_2 电压引起的相位差变化为 δ ,又因为光纤的快慢轴和PBS的快慢轴一般情况下不重合,为求得普遍情况,可以假设二者间的夹角为 θ ,则从PBS 2个出口出来的光波模^[6]分别为

$$\begin{cases} T_1 = E_{0x} \cos(\delta - \omega t) \cos \theta - E_{0y} \cos(\delta + \pi/4 + \theta - \omega t) \sin \theta \\ T_2 = E_{0x} \cos(\delta - \omega t) \sin \theta + E_{0y} \cos(\delta + \pi/4 + \theta - \omega t) \cos \theta \end{cases} \quad (3)$$

因为只观察PBS 1个出口的光强变化可以确定DPC的半波电压,取 T_1 为研究对象,强度为 $P = \int_0^{2\pi} T_1^2 dt / \omega$,设 E_{0x} 的初始相位 $\delta_x = 0, E_{0x} = E_{0y} = 1, \theta = \pi/4$,在DPC 1的 X_2 上应用的相位为 $\delta = 0, \pi/6, \pi/3$ 和 $\pi/2$ 时,绘制PBS 1个出口的光强 P 随相位差 δ 的变化曲线如图5所示^[7]。

4.3 实验验证

采用图2所示的系统可以测定DPC的各光纤挤压器的半波电压。可以设定DPC 1和DPC 2的 X_1, X_3 和 X_4 的电压 V_1, V_3 和 V_4 均为0,即可以采用不同的相位 δ ,然后让DPC 2的 V_2 在0~5 V变化,可测得DPC 2和 X_2 的半波电压,如图6所示。

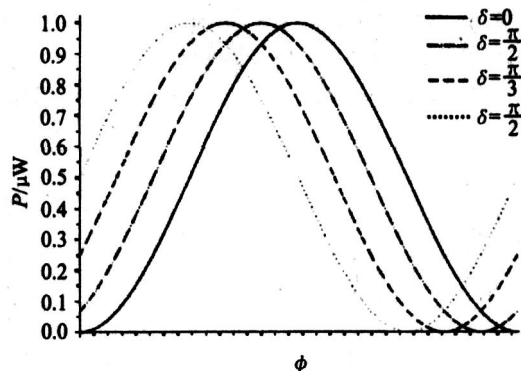


图5 光强随相位变化曲线

Fig. 5 The intensity change with the phase increasing

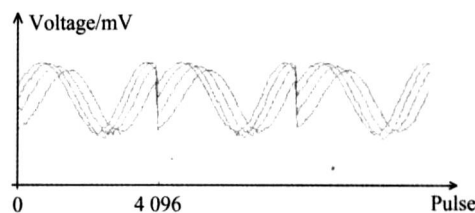


图6 光强随电压变化曲线

Fig. 6 The intensity change with the applied voltage increasing

4.4 理论和实验结果的比较

1) 通过比较图6和图5发现,实验结果与理论分析基本一致,即检测出的光强与施加在DPC上的应用电压服从正弦变化规律。而且,图6中,以脉冲数表示的电压周期 T 与理论分析的半波电压关系为

$$2V = 15 \times T \times C \quad (4)$$

其中: C 表示DA转换的精度;因子15表示驱动模块输出电压后DPC自带电压放大器将其放大的倍数。由此,又可以验证实验和理论的一致性。

2) 观察图6可以发现,曲线有突变的现象。这是由于驱动模块提供0~5 V电压,而光强变化1个周期对应的电压是0~4 V。所以,光强变化1个多周期,DA输出5 V后,突变输出0 V,光强也随之突变。

3) 图6显示,在初始相位差 δ 不同时,测量曲线的峰值并不和理论分析完全一致,而且曲线有抖动,不平滑。主要原因是椭圆偏振态不能在光纤中很好的保持。假设2种情况:第1种情况,DPC 1加 δ_1 ,DPC 2加 δ_2 ,第2种情况,DPC 1加0,DPC 2加 $\delta_1 + \delta_2$ 。理论上,这2种情况结果应该相同。但是,实际情况有差异,这种差异就是椭圆偏振态不能在光纤中很好保持造成的。

5 结论

研究了针对DPC设计的驱动模块和性能监控系统。驱动模块采用12位高精度DA芯片,设计结构简单,转换精度高,稳定可靠。而性能监控系统则利用了嵌入式系统控制功能强大,并与计算机通信接口简单且速度快的特点,使用ARM控制器同步驱动并且监控,再在Windows下编写应用程序,显示其监控下的光强随工作电压的变化曲线,直观地反映了偏振态

随 DPC 工作电压的变化情况。实验的结果与理论分析的结果基本一致,更表明了方案的可行性。这套性能监测的方法将成为 DPC 应用时有力的辅助工具。

参考文献:

- [1] LI Yan,ZHANG Jin,YU Jirong, et al. A dynamic chromatic dispersion compensation technique in a 40 Gbit/s optical fiber communication system[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子·激光), 2006,17(10):1216-1219. (in Chinese)
- [2] DUAN Gao-yan,ZHANG Xiao-guang,YU Li, et al. Effect of polarization dependent loss on the performance of polarization mode dispersion compensation systems[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子·激光),2006,17(7):862-866. (in Chinese)
- [3] Eric Comdorif. High speed data encryption over 25 km of fiber by two mode coherent quantum cryptography[J]. Optical Letters,2003,28(21):2040-2042.
- [4] Shimizu H,Yamazaki S,Ono T. Highly practical fiber squeezer polarization controller[J]. Journal of Lightwave Technology,1991,9(10):1217-1224.
- [5] Walker N G,Walker G R. Polarization control for coherent communication[J]. Journal of Lightwave Technology,1990,8(3):438-458.
- [6] LIAO Yan-biao. Polarization Optics[M]. Beijing:Science Press,2003. (in Chinese)
- [7] David S Waddy. Fast state of polarization changes in aerial fiber under different climatic conditions[J]. IEEE Photonics Technology Letters,2001,13(9):457-467.

作者简介:

王 倩 (1981 -),女,河北邯郸人,硕士研究生,主要从事量子通信的研究。

www.cnki.net