DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2017.02.009

尚超[1]　吴重庆[2]

# 光纤通信高速信号偏振态检测系统定标的研究

**摘要**

目前的商用偏振分析仪检测速率较低,因此在检测光纤通信中高速信号的偏振态时,需要自行搭建测量系统并结合高速实时数字示波器使用.此时,系统定标就显得尤为重要,定标方法也将直接影响测量的准确性.针对光纤型高速偏振态检测系统提出了定标方法,先通过 Mueller 矩阵算法对其进行了理论分析,进而通过实验证明了该定标方法准确可行,测量误差水平小于±3%.

**关键词**

偏振态检测; Mueller 矩阵; Stokes 参量

**中图分类号** TP212.14

**文献标志码** A

**收稿日期** 2017-01-03

**资助项目** 国家高技术研究发展计划(2015AA016901);国家自然科学基金项目(61275075)

**作者简介**

尚超,男,博士后,研究方向为光通信与传感.08118354@bjtu.edu.cn

吴重庆(通信作者),男,教授,研究方向为光通信与传感.cqwu@bjtu.edu.cn

1　北京邮电大学 电子工程学院,北京,100876

2　北京交通大学 发光与光信息技术教育部重点实验室,北京,100044

## 0　引言

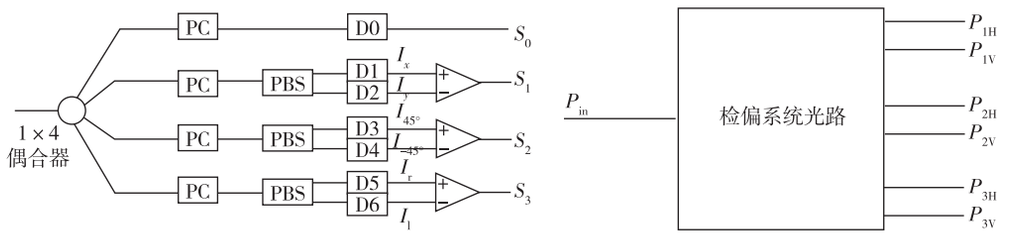
光纤通信中的偏振控制、偏振复用、偏振编码、偏振模色散补偿,以及光纤传感中的偏振敏感型光时域/频域反射技术等都是对光纤中的偏振效应不断深入研究的成果[1].在前沿的量子光通信领域中,由于光子偏振态具有良好的纠缠特性,量子通信可以采用调制光子偏振态的方法进行编码[2],量子密钥也可以采用偏振调制的方式进行编码[3].因此,高速偏振态发生、控制与检测技术对光通信、光传感等许多领域而言,有着重要的研究意义和实用价值.

光波偏振态探测的方法有很多[4-11],主要可分为两大类,第一大类是单路光波偏振调制探测法,其中具有代表性的方法有机械调制法、电光调制法等;第二大类是分光探测法,其又可以细分为分振幅探测法和分波前探测法.由于分光法不需要考虑机械或电光等调制的动态响应时间,所以从原理上就具有更快的测量速率.目前商用的光纤偏振分析仪大多采用分光探测法,例如 General Photonic 公司的 POD-101D 型在线偏振状态分析仪、THORLABS 公司的 IPM5300 型光纤共轴偏振分析仪、Agilent Technologies 公司的 N7781B 型偏振分析仪.

由于目前商用偏振分析仪的测量速率远远低于光通信的信道速率,所以在需要进行高速信号的偏振态测量时,往往需要依据所选用的偏振态测量算法,自行搭建测量系统的光路部分[12-14],并配合高速光电采集系统(例如高速光电接收器件与高速实时数字示波器组合使用)来完成测量.为了保证自建系统的测量准确性,选择正确的定标方法十分重要.本文针对基于波片型光纤偏振控制器的高速偏振态检测系统,提出了利用相对系统测量速率而言可视为低速的偏振分析仪作为定标基准仪,通过 Mueller 矩阵算法对定标方法进行了理论分析,并完成了实验验证.实验结果证明本文提出的定标方法准确可靠,能够保证高速偏振态检测系统的测量精度.

## 1　定标方法理论分析

本文讨论的光纤型高速偏振态检测系统示意如图 1 所示,在对定标方案进行理论分析时,除去用于检测总光强的一路,将高速偏振态测量系统的光路部分看成一个黑匣子,如图 1b 所示.假定在一个统一的空间坐标系下,可以存在满足 6 个输出端的偏振态关联的光路结




a. 检测系统结构框图　　b. 分析示意

图 1　检测系统结构框图和分析示意

Fig. 1　Structure (a) and schematic (b) of detection system

构,即将其看作是有 1 个输入端和 6 个输出端的器件,并且这 6 个端口输出的光功率应分别代表输入端光信号的 6 个偏振分量的光强:$I_{0°}$、$I_{90°}$、$I_{45°}$、$I_{-45°}$、$I_r$、$I_l$.参照图 1a 所示的系统结构,可以通过调节 3 个偏振分束器(PBS)前的 3 个偏振控制器(PC)获得满足上述关联的条件.

测量系统所用的偏振控制器为波片型偏振控制器,其具有结构简单、调节方便、成本较低等优点,它等效于 1/4 波片、1/2 波片、1/4 波片的级联[15],如图 2 所示.

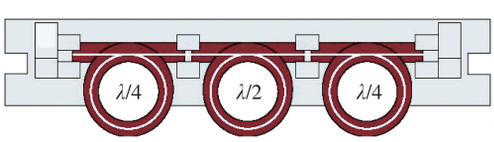



图 2　波片型偏振控制器示意

Fig. 2　Schematic of wave plate type polarization controller

此型偏振控制器的 Mueller 传输矩阵即为 3 个波片 Mueller 矩阵的乘积:$\boldsymbol{M}_{\frac{\lambda}{4}}(\theta_1)\boldsymbol{M}_{\frac{\lambda}{2}}(\theta_2)\boldsymbol{M}_{\frac{\lambda}{4}}(\theta_3)$,如下所示,其中 $\theta_1,\theta_2,\theta_3$ 分别为 3 个波片主轴相对基准坐标 $x$ 轴的夹角.

$$\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & A\cos2\theta_1\cos2\theta_3+\sin2\theta_1\sin2\theta_3 & A\sin2\theta_1\cos2\theta_3-\cos2\theta_1\sin2\theta_3 & B\cos2\theta_3\\ 0 & A\cos2\theta_1\sin2\theta_3-\sin2\theta_1\cos2\theta_3 & A\sin2\theta_1\sin2\theta_3+\cos2\theta_1\cos2\theta_3 & B\sin2\theta_3\\ 0 & -B\cos2\theta_1 & -B\sin2\theta_1 & A\end{bmatrix},$$

$$A=\cos[2(2\theta_2-\theta_1-\theta_3)],$$

$$B=\sin[2(2\theta_2-\theta_1-\theta_3)]. \tag{1}$$

偏振分束器的作用是将入射光分解为两束振动方向正交的线偏振光,两个输出尾纤为保偏光纤.输入段的单模光纤在稳定的情况下可认为其有固定的传输矩阵 $\boldsymbol{M}_{\mathrm{SMF}}$,对偏振态的影响恒定.因此,依据图 1b,每组输出偏振态与输入偏振态具有如下的关系:

$$\begin{cases}\vec{S}_{i\mathrm{Hout}}=\boldsymbol{T}^{-1,i}\boldsymbol{M}_{\mathrm{H}}\boldsymbol{T}^{i}\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{SMF3}}\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{PC}}\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{SMF2}}\boldsymbol{M}^{i}_{1\times4}\boldsymbol{M}_{\mathrm{SMF1}}\vec{S}_{\mathrm{in}},\\ \vec{S}_{i\mathrm{Vout}}=\boldsymbol{T}^{-1,i}\boldsymbol{M}_{\mathrm{V}}\boldsymbol{T}^{i}\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{SMF3}}\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{PC}}\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{SMF2}}\boldsymbol{M}^{i}_{1\times4}\boldsymbol{M}_{\mathrm{SMF1}}\vec{S}_{\mathrm{in}},\\ i=1,2,3,\end{cases} \tag{2}$$

式(2)中,$\vec{S}_{\mathrm{in}}$ 为光进入 1×4 耦合器的输入端口时的偏振态,$\vec{S}_{i\mathrm{Hout}}$ 和 $\vec{S}_{i\mathrm{Vout}}$ 分别表示偏振分束器 2 个正交端口的输出偏振态,$\boldsymbol{M}^{i}_{1\times4}$是 1×4 光分束器耦合区第 $i$ 路的传输矩阵,$\boldsymbol{M}_{\mathrm{SMF1}}$是 1×4 光分束器输入端单模光纤的传输矩阵,$\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{SMF2}}$是连接分束器耦合器区到偏振控制器间的单模光纤的传输矩阵,$\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{SMF3}}$为偏振控制器到偏振分束器分光端的单模光纤的传输矩阵,$\boldsymbol{T}^{i}$ 是偏振分束器的坐标系与统一坐标系之间的旋转矩阵.偏振控制两端到器件连接部分的坐标旋转矩阵可以看作包含于 $\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{PC}}$中.从偏振分束器的分光端面到水平轴输出端口的传输矩阵 $M_{\mathrm{H}}$ 和正交输出端口的传输矩阵 $\boldsymbol{M}_{\mathrm{V}}$ 分别为

$$\boldsymbol{M}_{\mathrm{H}}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}1&1&0&0\\1&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{M}_{\mathrm{V}}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}1&-1&0&0\\-1&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix}. \tag{3}$$

由于连接器件的这几段单模尾纤都比较短,在稳定的固定后对偏振态的影响比较小,分析时可以忽略其影响.至于耦合器的传输矩阵,耦合区对偏振态的影响较小,对偏振态演化起主要作用的是将光引入和引出耦合区的光纤尾纤[16].所以,当耦合器尾纤较短且被良好固定时,对于旋转矩阵 $\boldsymbol{T}^{i}$,也可以认为是 $\boldsymbol{M}^{i}_{\mathrm{PC}}$包含了它的坐标旋转效果.因此,传输矩阵可以化简为如下形式:

$$\begin{cases}\vec{S}_{i\mathrm{Hout}} = \boldsymbol{M}_{\mathrm{H}}\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}\vec{S}_{\mathrm{in}}, \\ \vec{S}_{i\mathrm{Vout}} = \boldsymbol{M}_{\mathrm{V}}\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}\vec{S}_{\mathrm{in}}, \quad i = 1,2,3.\end{cases} \tag{4}$$

将1×4光分束器的输入尾纤端口到光电探测器的光纤接头前,看作是偏振态检测系统的光路部分,依据式(4),可以得到测量$S_1$、$S_2$、$S_3$ 3个Stokes参量的3路传输矩阵组,当以$[1\ \ 1\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$、$[1\ \ 0\ \ 1\ \ 0]^{\mathrm{T}}$和$[1\ \ 0\ \ 0\ \ 1]^{\mathrm{T}}$3个基本偏振态作为定标基准时,每个矩阵$\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}$中的参数即可被计算出.下面以$P_{1\mathrm{H}}$端口为例说明,其输入输出偏振态的关系如下:

$$\begin{bmatrix}1\\1\\0\\0\end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}1&1&0&0\\1&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix}\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}\begin{bmatrix}1\\1\\0\\0\end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix}\frac{1}{2}\\\frac{1}{2}\\0\\0\end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}1&1&0&0\\1&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix}\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}\begin{bmatrix}1\\0\\1\\0\end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix}\frac{1}{2}\\\frac{1}{2}\\0\\0\end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}1&1&0&0\\1&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\end{bmatrix}\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}\begin{bmatrix}1\\0\\0\\1\end{bmatrix}. \tag{5}$$

$P_{i\mathrm{V}}$端口的关系式与式(5)等价,可以省略,其他2组端口同理.

以$P_1$端口测量时的理想Mueller矩阵关系为例,$P_1$端口的目的是检测$I_{0^\circ} - I_{90^\circ}$的值,当输入偏振态$\boldsymbol{S}_{\mathrm{in}} = [1\ \ 1\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$时,测量系统的$S_1$路最终的差分电路输出值应为最大,即PBS两端的输出光强为一路值达到最大而另一路值为零,对应Stokes参量为$[1\ \ 1\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$和$[0\ \ 0\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$;当输入偏振态$\boldsymbol{S}_{\mathrm{in}} = [1\ \ 0\ \ 1\ \ 0]^{\mathrm{T}}$时,测量系统的$P_1$端口的差分电路输出接近零值,即PBS两端的输出光强基本相同且为此路总光强的一半,对应Stokes参量为$[1/2\ \ 1/2\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$和$[1/2\ \ -1/2\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$;当输入偏振态$\boldsymbol{S}_{\mathrm{in}} = [1\ \ 0\ \ 0\ \ 1]^{\mathrm{T}}$时,测量系统$P_1$端口最终的差分电路输出也接近零值,即PBS两端的输出光强基本相同且为此路总光强的一半,对应Stokes参量也为$[1/2\ \ 1/2\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$和$[1/2\ \ -1/2\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$.

如果分别使用$[1\ \ 1\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$、$[1\ \ 0\ \ 1\ \ 0]^{\mathrm{T}}$和$[1\ \ 0\ \ 0\ \ 1]^{\mathrm{T}}$3个标准偏振态,通过调节$P_1$端口前的PC,即等效于调节级联的1/4波片、1/2波片、1/4波片的方位角,使其满足上述关系,也就实现了$P_1$端口前光路的定标.选择这3个在Poincaré球面上的特殊偏振态,一是方便观察,二是这3个点连线确定的1/8球面即可指明Poincaré球$x,y,z$轴的正方向.其他两路的定标同理.

通过上述传输矩阵,就可以分别计算$\boldsymbol{M}_{\mathrm{PC}}^{i}$中满足定标条件的3个方位角.以$P_1$端口为例,方位角$\theta_1$、$\theta_2$、$\theta_3$需要满足如下关系:

$$\begin{cases}\cos[2(2\theta_2 - \theta_1 - \theta_3)]\cos2\theta_1\cos2\theta_3 + \\ \qquad \sin2\theta_1\sin2\theta_3 = 1, \\ \cos[2(2\theta_2 - \theta_1 - \theta_3)]\sin2\theta_1\cos2\theta_3 - \\ \qquad \cos2\theta_1\sin2\theta_3 = 0, \\ \sin[2(2\theta_2 - \theta_1 - \theta_3)]\cos2\theta_3 = 0,\end{cases} \tag{6}$$

式(6)方程组有9组解(限制条件为$0 \leqslant \theta_1 < \pi, 0 \leqslant \theta_2 < \pi, 0 \leqslant \theta_3 < \pi$),这里不再赘述.$P_2$和$P_3$端口光路中PC等效波片3个方位角$\theta_1$、$\theta_2$、$\theta_3$需要满足的关系方程与上述类似,分别有12组解和6组解.

依据上述结论,可以得出满足定标要求的PC等效波片方位角$\theta_1$、$\theta_2$、$\theta_3$的值非唯一,即其位置关系存在多种组合,因而给波片型偏振控制器的调节过程带来了很大的灵活性,便于实际操作.

## 2 定标实验

采用上一节所讨论定标方法的校准系统原理框图如图3所示.

通过定标来实现3个PBS的6个输出端光功率分别与1×4耦合器的输入端光信号的6个偏振分量功率相对应.为了在线监测1×4耦合器的输入偏振态,在其前面接入一个分光比95∶5的1×2耦合器,“5%”输出端使用THORLABS公司的PA530型偏振分析仪进行监测.通过调节1×2耦合器前的PC,使偏振分析仪测得的偏振态依次为$[1\ \ 1\ \ 0\ \ 0]^{\mathrm{T}}$、$[1\ \ 0\ \ 1\ \ 0]^{\mathrm{T}}$、$[1\ \ 0\ \ 0\ \ 1]^{\mathrm{T}}$3个基准偏振态,每次改变输入偏振态后,调节1×4耦合器后的3个PC,使PA530测得的偏振态与6路输出光强满足表1所示的对应关系,依次完成对所有光路的定标.

1×4耦合器输入端的偏振态$\vec{S}_{\mathrm{in}}$与偏振分析仪测得的偏振态$\vec{S}_{\mathrm{anyl}}$之间的关系可写为$\vec{S}_{\mathrm{in}} = \boldsymbol{M}_{1\times2}\boldsymbol{M'}_{1\times2}^{-1}\vec{S}_{\mathrm{anyl}}$,其中,$\boldsymbol{M}_{1\times2}$是1×2耦合器连接1×4

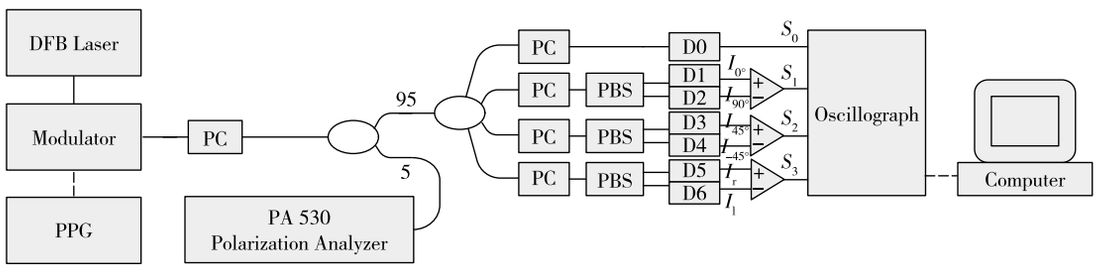



图 3　高速偏振态检测定标系统原理

Fig. 3　Schematic of calibration for high speed polarization measurement system

**表 1　校准时输出光强关系**

Table 1　Relationship between input SOPs and output light intensities for calibration

| 偏振态 | $P_1$ | | $P_2$ | | $P_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I_{0°}$ | $I_{90°}$ | $I_{45°}$ | $I_{-45°}$ | $I_r$ | $I_l$ |
| $[1,1,0,0]^T$ | 1 | 0 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 |
| $[1,0,1,0]^T$ | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 | 1/2 | 1/2 |
| $[1,0,0,1]^T$ | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 |

耦合器的传输矩阵，$\boldsymbol{M}'_{1\times2}$ 是 1×2 耦合器连接偏振分析仪的传输矩阵.使 1×2 耦合器输出端光纤尽可能短且稳固,可以最大程度地减小两端口信号光偏振态的差异,并使偏振分析仪测得的偏振态与 1×4 耦合器的输入偏振态之间保持固定的相对关系且基本一致,因此可以将测量系统的参考坐标系和偏振分析仪的参考坐标系相统一.

在定标实验中,使用 DFB(Distributed Feedback)激光器作为光源,外调制器的驱动电信号由 PPG(Pattern Pulse Generator)提供.定标参考光信号的速率为 200 Mb/s, 10 bit 周期性编码，码型为“10000 00000”.PA530 型偏振分析仪速率很低,速率200 Mb/s 的周期性光信号在其20 Hz 左右的采样频率面前基本可以被 PA530 认为是直流光,此时 PA530 测得的偏振态可认为是比特“1”(有光输出)光信号的偏振态.使用周期性脉冲光定标可以测试系统的最大偏振态采集速率,同时还可以根据示波器测得的 3 路脉冲信号的时延差异来微调测量系统多路光程的差异,提高测量精度.

定标时需要使用 6 个示波器通道检测 3 组输出光强,输入光信号的偏振态分别为$[1\quad 1\quad 0\quad 0]^T$、$[1\quad 0\quad 1\quad 0]^T$、$[1\quad 0\quad 0\quad 1]^T$ 时,示波器采集到的 6 路输出光信号经光电转换后的电压波形如图 4 所示.

定标完成后,将 3 组光电探测电路的差值输出信号线连接至示波器,调节 1×2 耦合器前的 PC,输入一个任意偏振态.PA530 测得的偏振态与示波器探测的 $S_1$、$S_2$、$S_3$ 3 路 Stokes 参量波形如图 5 所示.

图 5 中周期性光信号的速率为 200 Mb/s,由 PA530 测得的光信号“1”比特的偏振态的归一化 Stokes 参量为$[1\quad 0.256\quad 0.760\quad 0.598]^T$,由示波器读出的 $S_1$、$S_2$、$S_3$ 3 路波形中“1”比特信号的电压峰-峰值分别为 95、286 和 229 mV,其代表的归一化 Stokes 参量为$[1\quad 0.251\quad 0.757\quad 0.605]^T$,与 PA530 的测量值基本一致.经多次测试后计算得出测量系统的误差小于±3%.如果采用速率更高的光电转换电路和超高速实时数字示波器,则可以大大提高测量系统的偏振态采集速率.

## 3　结论

针对光纤型高速偏振态检测系统提出了利用低速偏振分析仪进行定标的方法,并通过 Mueller 矩阵算法进行理论分析来确定实施步骤,在实验中采用周期性编码速率为 200 Mb/s 的光信号作为定标参考光源,并依次调节输入信号光的偏振态为 3 个基准偏振态来完成高速测量系统的定标.实验结果证明提出的定标方法准确可行,误差水平可以保证高速偏振态检测系统完成高精度的测量.

## 参考文献

References

[1] Goldstein D. Polarized light [M]. 2nd Ed. New York: Marcel Dekker, Inc, 2003

[2] Mink A, Tang X, Ma L J, et al. High speed quantum key distribution system supports one-time pad encryption of real-time video[C]// Proceeding of SPIE, 2006, 6244, DOI: 10.1117/12.664114

[3] Jofre M, Gardelein A, Anzolin G, et al. Fast optical source for quantum key distribution based on semiconductor optical amplifiers [J]. Optics Express, 2011, 19(5): 3825-3834

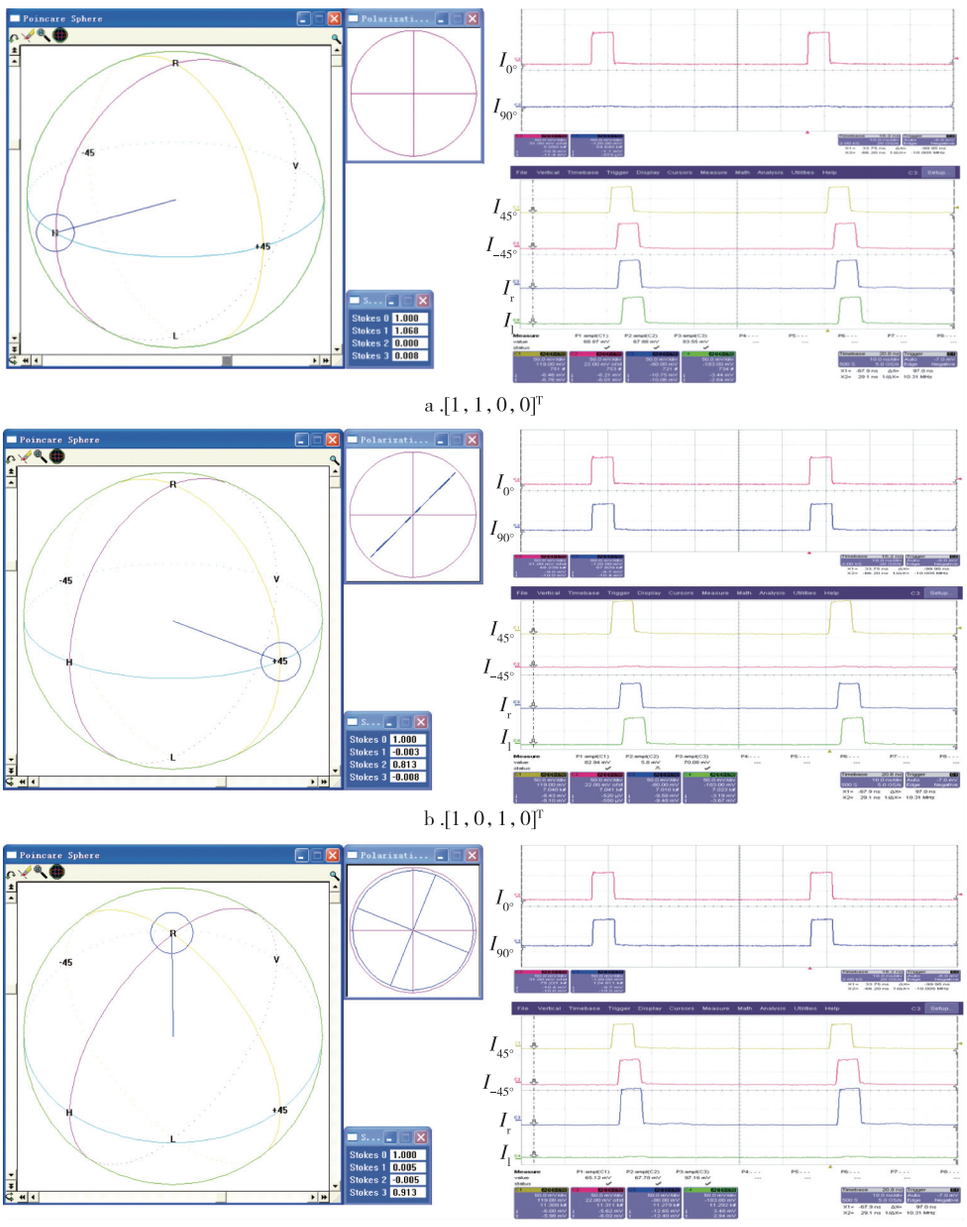



图 4　输入偏振态分别为[1,1,0,0]$^T$、[1,0,1,0]$^T$、[1,0,0,1]$^T$ 时的 6 路光强波形

Fig. 4　Waveforms of 6 light intensities at input SOP of[1,1,0,0]$^T$(a),[1,0,1,0]$^T$(b),and[1,0,0,1]$^T$(c)

[4] 邵卫东,王培纲,王桂平,等.分光偏振计技术研究[J].中国激光,2003,30(1):60-64
SHAO Weidong, WANG Peigang, WANG Guiping, et al. Study on spectropolarimeter [J]. Chinese Journal of Lasers, 2003, 30(1): 60-64

[5] Namihira Y, Wakabayashi H. Real-time measurements of polarization fluctuations in an optical fiber submarine cable in a deep-sea trial using electrooptic $LiNbO_3$ device [J]. Journal of Lightwave Technology, 1989, 7(8): 1201-1206

[6] Azzam R M A. Division-of-amplitude photopolarimeter (DOAP) for the simultaneous measurement of all four Stokes parameters of light[J]. Optica Acta, 1982, 29(5): 685-689

[7] 杜西亮,戴景民.光栅分振幅光偏振测量系统的研制[J].光电工程,2006,33(7):57-62
DU Xiliang, DAI Jingmin. New grating-based division-of-amplitude photopolarimeter [J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(7): 57-62

[8] Ura S, Sunagawa H, Suhara T, et al. Focusing grating couplers for polarization detection[J]. Journal of Lightwave Technology, 1988, 6(6): 1028-1033

[9] Azzam R M A, Elminyawi I M, El-Saba A M. General analysis and optimization of the four-detector photopolarimeter[J]. Journal of the Optical Society of America A, 1988, 5(5): 681-689

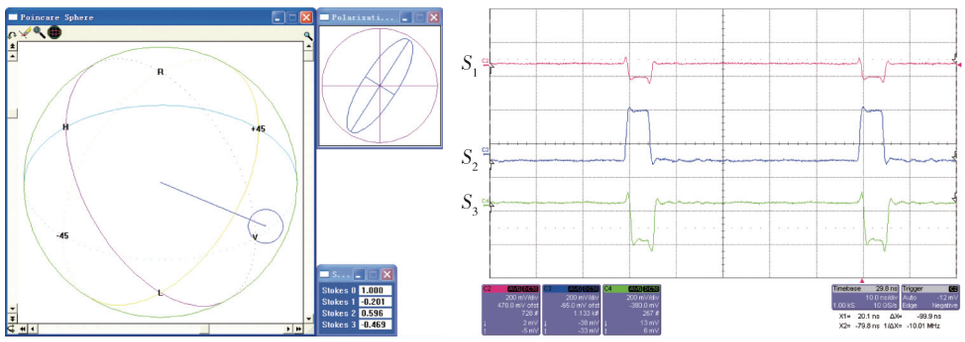



图 5　输入偏振态与探测 Stokes 参量波形(200 Mb/s)

Fig. 5　Waveform of detected SOP and Stokes parameters (200 Mb/s)

[10] Azzam R M A. Longitudinal polarization-dependent of light from an optical fiber to a coupling side-bonded planar proximity detector: Application to integrated azimuthally distributed multidetector photopolarimeters[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1990, 2(12): 893-895

[11] Wiggeren G D V, Roy R. High-speed fiber-optic polarization analyzer: Measurements of the polarization dynamics of an erbium-doped fiber ring laser[J]. Optics Communications, 1999, 164(1/2/3): 107-120

[12] 阴亚芳.高速偏振态测量方法的研究[J].西安邮电学院学报,2005,10(3):8-10
YIN Yafang. Study on the method of SOP measurement with high speed[J]. Journal of Xi'an University of Post and Telecommunications, 2005, 10(3): 8-10

[13] 吕鑫,蒋卓勤,李迎春.偏振态的高速实时测量方法的研究[J].光学技术,2010,36(6):866-870
LÜ Xin, JIANG Zhuoqin, LI Yingchun. Study on the measurement of SOP with high-speed and real-time[J]. Optical Technique, 2010, 36(6): 866-870

[14] 孙明璇,王健,吴重庆,等.全光纤高速模拟信号偏振态测量系统的研究[J].光电技术应用,2015,30(2):17-22
SUN Mingxuan, WANG Jian, WU Chongqing, et al. Research on all optical fiber high-speed analog signal polarization state measurement system[J]. Electro-Optic Technology Application, 2015, 30(2): 17-22

[15] 张晓光,段高燕,席丽霞.偏振控制器完成任意偏振态变化的最小自由度研究[J].光学学报,2009,29(5):1173-1176
ZHANG Xiaoguang, DUAN Gaoyan, XI Lixia. Research on least number of degrees of freedom for transformation among arbitrary state of polarizations[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(5): 1173-1176

[16] 何娜,吴重庆,卫炎,等.熔锥平行排列 3×3 单模光纤耦合器的研究[J].中国激光,2004,31(3):323-327
HE Na, WU Chongqing, WEI Yan, et al. Fused planar 3×3 single mode fiber coupler[J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(3): 323-327

# Calibration of optical fiber high-speed polarization state measurement system

SHANG Chao[1]　WU Chongqing[2]

1　School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing　100876

2　Key Lab of Education Ministry on Luminescence and Optical Information Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing　100044

**Abstract**　Due to the relatively low sampling rate of current commercial polarization state analyzers, a specialized measurement system will need to be built with the use of high-speed real-time digital oscilloscopes if the detection of polarization state for a high-speed signal is required. At this point, the system calibration becomes particularly important, and the calibration method will directly decide the measurement accuracy. A calibration method is proposed for an optical fiber high-speed polarization state detection system. This method is theoretically analyzed by Mueller matrix, and then it is proved that the calibration method is feasible and accurate, of which the measurement error is less than ±3%.

**Key words**　measurement of polarization state; Mueller matrix; Stokes parameters