文章编号：1672-8785(2018)04-0018-04

一种近红外多通道可调光衰减器校准系统的设计与实现

徐玉华 闫继送 张爱国 李宝瑞 鞠军委

（中国电子科技集团公司第四十一研究所，山东 青岛 266555）

摘 要：针对中性密度滤光片(以下简称滤光片)型近红外多通道光衰减器，提出了一种校准系统设计方案，并通过搭建校准系统对其进行了验证。结果表明，与传统的校准方案相比，本方案不仅能够缩短多通道可调衰减器的校准时间，而且还能够提高仪器的校准精度。

关键词：多通道；可调光衰减器；自动校准系统；中性密度滤光片

中图分类号：TH74 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.1672-8785.2018.04.004

Design and Implementation of a Near-infrared Multichannel Variable Optical Attenuator Calibration System

XU Yu-hua, YAN Ji-song, ZHANG Ai-guo, LI Bao-rui, JU Jun-wei

(*The 41st Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao 266555, China*)

Abstract: A design scheme of the calibration system for a neutral density filter type near-infrared multichannel variable optical attenuator is proposed. To verify the scheme, a calibration system is built. The results show that compared with the traditional calibration scheme, this scheme not only can shorten the calibration time for the multi-channel variable optical attenuator, but also can improve the calibration accuracy of the instrument.

Key words: multichannel; variable optical attenuator; automatic calibration system; neutral density filter

0 引言

随着光纤通信系统的广泛应用，可调光衰减器已经成为光纤通信系统中一种重要的光无源器件，主要用于密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing，DWDM)各信道中的光功率均衡与调整[1]。随着 DWDM 波长间隔的减小，通道数越来越多，可调光衰减器与可配置光分插复用器(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer，ROADM)组成增益平衡 ROADM；与复用/解复用器(Multiplexer/Demultiplexer，MUX/DEMUX)组成增益平衡 MUX/DEMUX[2]。在这些应用中，为了减小体积、方便控制以及灵活配置，通常需要将多个可调光衰减器组成一个多通道可调光衰减

收稿日期：2018-03-01

作者简介：徐玉华(1981-)，男，山东青岛人，工学硕士，工程师，主要从事光通信仪器与测试技术等方面的研究。E-mail：48459428@qq.com

器[3]。随着光纤通信技术的快速发展，多通道光衰减器的市场需求量逐年递增。因此，如何提高多通道可调光衰减器的校准效率进而加快生产速度，已经成为各个生产厂家共同关注的问题。

1 滤光片型光衰减器的原理

如图 1 所示，滤光片型光衰减器的光衰减单元主要由条形滤光片、光纤准直器、精密丝杠、电机和编码模块等组件构成。在理想情况下，条形滤光片的线性区对某一波长近红外光信号光功率的衰减量会随滤光片的位置近似呈线性变化，如图 2 所示。将条形滤光片固定在精密丝杠的滑块上，利用电机的转动带动精密丝杠上的滑块在两个光纤准直器之间移动，以改变条形滤光片在两个光纤准直器之间的位置，从而实现光功率的连续衰减。整个光衰减单元具有体积小、结构紧凑等特点，而且能够实现大动态范围、高精度、连续衰减的光功率。将不同数量的光衰减单元装入整机并配备相应的驱动控制电路，便可组成 4 通道和 8 通道等多通道可调光衰减器。

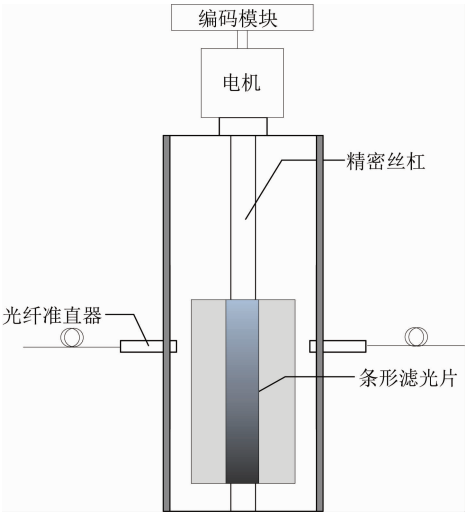


图 1 滤光片型光衰减单元的结构图

2 滤光片型光衰减器的校准原理

由于同一块滤光片的不同位置与同一波长的近红外光源的衰减量之间近似成线性关系，同一滤光片相同位置的衰减值会随近红外光源

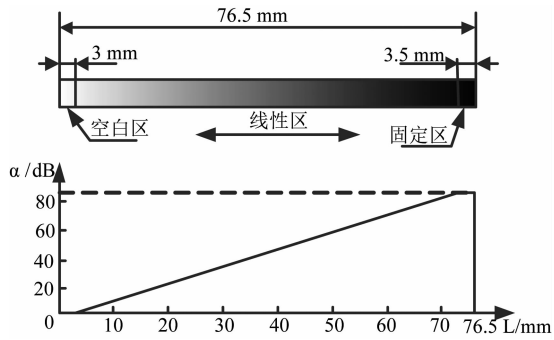


图 2 理想状态下条形滤光片的衰减量与位置的关系图

波长的增加而呈下降趋势(如图 3 所示)。为了在近红外区域的 1260 nm～1650 nm 全波段内实现光功率的连续可调衰减，需要对每一块滤光片在不同波长光源下的衰减值进行校准。然而受生产时间和成本的限制，不可能对每个波长点的衰减值都进行校准。因此，在兼顾校准时间和校准精度的情况下，一般选择 1310 nm、1490 nm、1550 nm 三个常用波长点再加上两端的 1260 nm 和 1650 nm 波长点进行校准。对于非校准波长点的衰减值，则通过利用校准波长点的校准数据进行线性拟合的方式来实现。

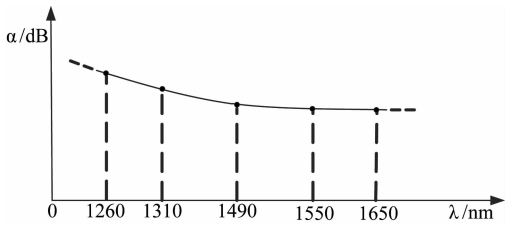


图 3 滤光片相同位置的衰减值与波长的关系图

3 传统的校准方案

在传统的校准方案中，搭建图 4 所示的自动校准系统，即先用 GPIB 通信电缆将计算机、待校准的可调光衰减器和标准光功率计连接起来，然后启动计算机中事先编译好的自动校准程序对可调光衰减器和功率计进行初始化，接着对某一通道中某个波长的光衰减值进行校准。校准过程如下：计算机发送 GPIB 命令，让衰减器驱动电机带动滤光片以每步 N 个编码脉冲(以下简称脉冲)数向前移动，然后

利用 GPIB 命令采集功率计的功率衰减值，最终得到一个关于条形滤光片位置与衰减值关系的文件；完成以上工作后，计算机会对该文件进行一系列的数据分析以及数据插值与修正处理，生成一个关于衰减值与滤光片位置关系的文件，然后把该文件写入衰减器的 FLASH 以供主控 CPU 查表使用。

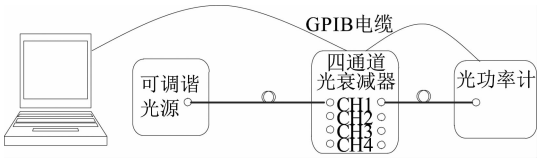


图 4 传统的衰减值自动校准系统

4 线性拟合算法

针对同一校准波长的光源，当滤光片移动 m 和 n 个脉冲，所得衰减值分别为 T_m 和 T_n 时，对于在 T_m 与 T_n 之间的任意衰减值 T_k，需要移动 k 个脉冲。k 可由式(1)求得。通过在自动校准程序的数据处理中使用式(1)，可以拟合出关于衰减值与滤光片位置关系的数据。

$$k=n+\frac{(T_k-T_n)}{(T_m-T_n)}\cdot(m-n) \qquad (1)$$

针对多个校准波长的光源，当波长 λ_1 和 λ_2 所对应的衰减值为 T 时，需要分别移动 m 和 n 个脉冲；那么当任意波长 λ 所对应的衰减值同样为 T 时，则需要移动 k 个脉冲。k 可由式(2)求得。通过在多通道衰减器的驻机软件中使用式(2)，可以拟合出关于非校准波长点的衰减值与滤光片位置关系的数据。

$$k=n+\frac{(\lambda-\lambda_2)}{(\lambda_1-\lambda_2)}\cdot(m-n) \qquad (2)$$

5 新设计的校准方案

图 5 所示为本文提出的衰减值自动校准系统。利用分路器将光源分成四路，分别接入近红外多通道光衰减器的 4 个通道；同时利用多通道光功率计对光衰减器输出端的功率进行采集。这样一次便可完成某个波长点 4 个通道的衰减值校准。通过依次更换不同波长的校准光源，可以依次得到其他 4 个校准波长的校准数据，从而大大提高校准效率。

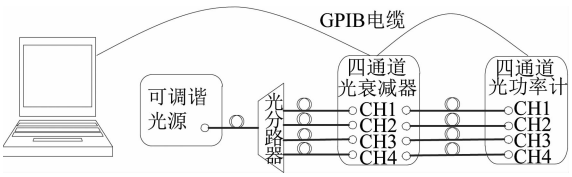


图 5 衰减值自动校准系统的原理图

对于某一波长的近红外光来讲，受镀膜工艺的影响，线性滤光片的衰减量与位置之间不会像图 2 那样呈现理想的线性关系。在传统的校准方案中，滤光片以每步 N 个固定脉冲数向前移动，得到图 6 所示的条形滤光片位置与衰减值的关系。可以看出，前 10 dB 的曲线呈现一定的弧度，这样插值出来的衰减值误差相对于 10 dB 以后的部分就比较大。为此，我们对传统校准方案进行了改进。对于图 6 所示的前 10 dB 这样的弧形区，我们采用更小的脉冲步数；对于 10 dB 以后的区域，我们仍然采用每步 N 个脉冲数向前移动。这样弧形区就会被伸展和放大，使得插值出来的衰减值误差大大降低。图 7 所示为改进方案的具体结果。

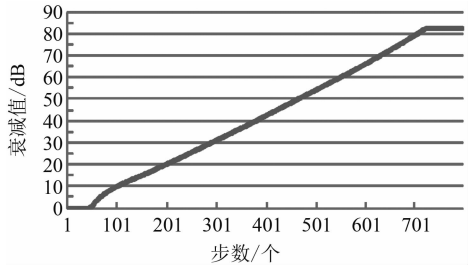


图 6 传统校准方案的校准结果

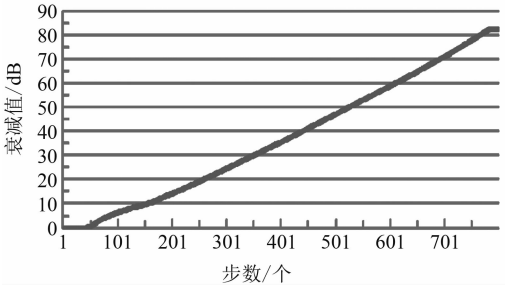


图 7 改进方案的校准结果

图 8 和图 9 所示分别为采用传统校准方案和改进校准方案校准时衰减值前 10 dB 的测试结果。可以看出，采用改进校准方案时的准确度比采用传统校准方案时有了很大提高。

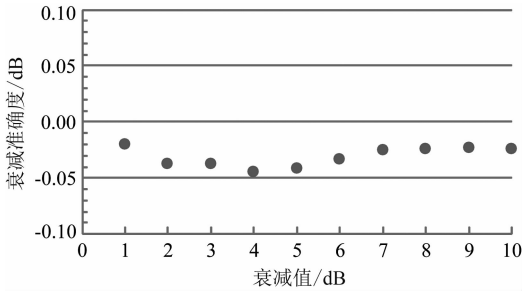


图 8 传统校准方案的测试结果

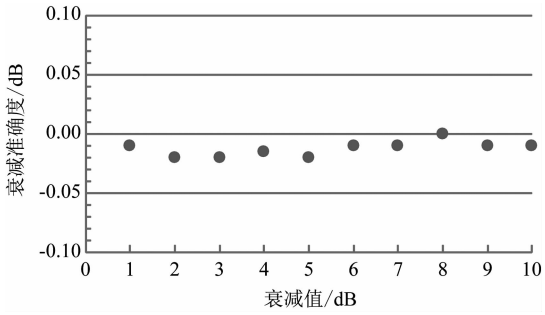


图 9 改进方案的测试结果

6 结束语

与传统的光衰减器自动校准系统相比，本文提出的近红外多通道可调光衰减器自动校准系统具有校准速度快、精度高等特点，而且其每次校准的通道数可以根据具体情况进行扩展，解决了当前多通道光衰减器校准效率低和精度差的难题。

参考文献

[1] 李建林，陈陶，孙刚. 一种手持式可调光衰减器研究 [J]. **光通信研究**，2013，**17**(3)：54-56.

[2] 魏会敏，罗风光，曹明翠，等. 基于低电压驱动 MEMS 的可调光衰减器的设计与性能分析 [J]. **光电子·激光**，2006，**17**(6)：685-687.

[3] 尹邦政，朱静. 多通道数字可调光衰减器模块的设计与实现 [J]. **光机电信息**，2011，**28**(8)：70-73.

(上接第 11 页)

参考文献

[1] 牛继勇. 空间目标红外偏振特性获取关键技术研究 [D]. 北京：中国科学院大学，2015.

[2] Ratliff B M，Boger J K，Fetrow M P，et al. Image Processing Methods to Compensate for IFOV Errors in Microgrid Imaging Polarimeters [C]. *SPIE*，2006，**6240**：62400E.

[3] Jones M W，Persons C M. Performance Predictions for Micro-polarizer Array Imaging Polarimeters [J]. *SPIE*，2007，**6682**：668208.

[4] 孙秋菊，王鹏，黄文霞. 红外偏振成像在伪装目标识别中的应用研究 [J]. **红外**，2016，**37**(1)：18-22.

[5] 陈烁. 基于 USB3.0 与 FPGA 的图像采集处理系统研究 [D]. 深圳：深圳大学，2017.

[6] 魏学通，蔡迎波，李德彪，等. InGaAs 近红外图像非均匀性处理研究 [J]. **光学与光电技术**，2011，**9**(4)：31-34.

[7] Zhang Q，Gu G. Real-time Blind-pixel Detection and Compensation Technology Based on Two-point Parameters and Self-adaptive Window [J]. *Infrared Technology*，2013，**35**(3)：139-145.

[8] 孟洋. 实时红外图像对比度增强技术研究 [D]. 西安：西安电子科技大学，2014.