

文章编号 1004-924X(2012)10-2184-08

线阵光学降水现象自动测量系统

高太长¹, 江志东^{1*}, 刘西川¹, 苏小勇^{1,2}, 翟东力³

(1. 解放军理工大学 江苏 南京 210007; 2. 解放军 68028 部队, 甘肃 兰州 730058;

3. 南京英恩特环境技术有限公司, 江苏 南京 210007)

摘要:采用平行光成像的方式,研制了基于线阵图像传感器的降水现象自动测量系统,用于揭示大气降水物理特征及本质。首先,根据降水粒子微物理特征和降水现象业务观测的需求,设计了光学系统及高速线阵图像数据采集处理平台。然后,针对降水观测系统连续运行条件下线阵实时采集数据量大、不便于传输及处理的特点,利用现场可编程门阵列(FPGA)芯片实现片内线阵数据实时二值化处理及编码传输。为消除平行光源性能漂移及传感器光强响应非均匀性等对成像阈值设置的影响,保证长期运行测量精度和一致性,设计了基于微处理器软核 MicroBlaze 的自适应阈值设置方案。在室内定标实验的基础上,与翻斗雨量计进行初步观测对比试验。实验室定标结果表明,系统最小分辨率优于 0.1 mm,实际同步观测累加降水量误差在 15%左右,两者变化趋势大致相同,有较好的线性相关性。提出的系统满足降水现象自动测量对稳定可靠、自动化、精细化的要求。

关键词:降水现象;光电测量;雨滴图像;线阵图像传感器;自适应阈值

中图分类号:P414.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122010.2184

Optical precipitation auto-measurement system based on linear image sensor

GAO Tai-chang¹, JIANG Zhi-dong^{1*}, LIU Xi-chuan¹,
SU Xiao-yong^{1,2}, ZHAI Dong-li³

(1. PLA University of Science & Technology, Nanjing 211107, China;

2. No. 68028 of PLA, Lanzhou 730058, China;

3. Ying EnTe Environment Technique Co., Ltd., Nanjing 211107, China)

* Corresponding author, E-mail: jzd19851102@126.com

Abstract: An optical precipitation auto-measurement system based on a linear image sensor was designed to reveal the physical mechanism and essence of the precipitation. First, according to physical characteristics of precipitation particles and the demand for precipitation observation, an optical unit and a data acquisition and processing platform for the high speed linear image sensor were designed. As the mass acquisition data were inconvenient for transmission and processing under a continuous operation, the real-time binarization and encoding processing of the linear image were carried out by Field Programmable Gate Array (FPGA). To eliminate the influence of performance excursion of parallel

收稿日期:2012-06-25;修订日期:2012-07-26.

基金项目:国家公益性行业科研专项资助项目(No. GYHY200806030)

light source and pixel photoelectric response nonuniformity on the setting thresholds and to ensure the measurement precision and coherence, an adaptive threshold setting scheme was proposed and realized based on a MicroBlaze soft-core processor in the FPGA. The comparison experiment with tipping bucket pluviometer based on calibration in a laboratory was carried out. Experimental result indicates that the resolution of precipitation auto-measurement system can achieve 0.1 mm, and the error of cumulative precipitation amount in synchronization observation is about 15%. Obtained results can satisfy the requirements of precipitation auto-measurement for stabilization and high precision.

Key words: precipitation; photoelectronic measurement; raindrop image; linear image sensor; adaptive threshold

1 引 言

降水是指液态、固态或混合态的水凝(冻)物从空中下落到地面上的现象^[1]。降水的时空分布异常是引发洪涝灾害、山体滑坡、泥石流等自然灾害的重要因素。目前业务中降水现象的观测仅限于利用雨量筒、翻斗雨量计等获取降水强度、降水量和降水时数等宏观描述量,其数据的时间和空间分辨率均较低,且降水类型识别依赖于人工目测,无法获得降水粒子的相态、形状、尺度、下落末速度和谱分布等微观信息,不能满足当前降水信息自动化和精细化测量的需求。

早在 20 世纪 60 年代,国外就开始研究降水现象的自动测量,其中以光学降水测量技术为主,目前已实现了降水现象的连续、非接触自动观测,可提供高时间分辨率的降水粒子微物理信息。比较成熟的技术设备有芬兰 Vaisala 公司的 PWD 系列、美国 ASOS 的 LEDWI、WIVIS 的 OSI、OWI 系列等传感器,采用的原理主要有散射测量法、消光遮蔽法、图像采集法等^[2]。经过多年的实验和改进,已经有成熟产品应用于观测或对比试验^[3]。国内,吕达仁等^[4],王青梅等^[5]先后研究了基于降水粒子群散射信号测量的光学降水测量技术,但目前尚无成型产品,未见其相关数据的分析或业务观测运行的报道。岑家生等^[6]研究了降水粒子成像关键技术并构建了光学系统,研究指出需要高速 CCD 线阵图像传感器及相应的数据采集处理平台才能满足降水粒子成像的需求。图像采集技术的优势在于可以获取单个降水粒子的形状和振荡特性^[7],降水粒子图像信息可应用于雨滴微物理特征研究^[8],根据图像信息提取降水粒子的尺度和下落末速度信息,可进一步应用于天

气现象自动识别模型。因此成为降水测量技术的主要发展方向。

目前,基于图像采集技术的降水测量仪器以二维视频降水测量仪(Two-dimensional Video Disdrometer, 2-DVD)^[9]和气象粒子测量系统(Meteorological Particle Sensor, MPS)^[10]为代表。其中,2-DVD 采用双线阵 CCD 和正交光路,采样面积为 100 mm×100 mm,单个 CCD 线阵包含 512 个像元,最小分辨力为 0.19 mm,其缺点是对小粒子探测能力较弱;MPS 包含 64 个探元,采样面积为 200 mm×3.2 mm,最小分辨力为 0.05 mm,主要用于小粒子的探测,其不足是有效采样空间小,对大粒子的探测能力较差。

线阵传感成像技术应用于降水测量有以下几个特点^[11]:首先是测量对象包含多种相态,对应不同尺度和下落末速度,对线阵响应速度和采集速度要求高,为保证获取不同尺度、不同下落末速度降水粒子有效帧图像,线阵采集速度为 30 000 frame/s。由于线阵扫描速度快以及短时间内通过的降水粒子多,实时采集数据量大,且线阵降水测量系统需长期连续工作,对存储设备要求高,同时需设计快速算法进行处理。其次,降水测量系统采样区间为矩形区域,物距(降水粒子到成像镜头的距离)与降水粒子的下落位置有关,平行光源的性能参数如非均匀性和发散角都会影响测量精度,而每个降水粒子的测量误差会累积影响最终的测量结果。此外,降水测量系统需在户外长期连续工作,易受灰尘、高温、高湿等因素的影响,需考虑如何保证测量精度和测量数据的一致性。

为实现降水现象的连续、自动化、精细化测量,本文在研究线阵降水测量系统的工作原理和特点的基础上,设计并研制了线阵图像传感器驱

动电路及数据采集处理平台,设计了线阵数据的二值化和自适应阈值设置方案,并将该系统与翻斗雨量计进行同步对比观测,验证了本系统测量的准确性和一致性。

2 系统结构

线阵降水测量系统由光学系统、线阵图像传感器、数据采集传输模块、PC 机及上位机软件等部分组成。其中光学系统由平行光源和成像系统两部分组成,如图 1 所示。

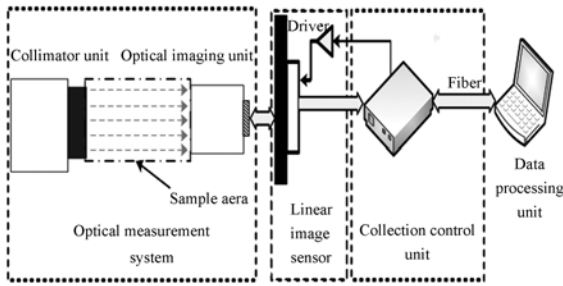


图 1 线阵降水测量系统框图

Fig. 1 Block diagram of linear precipitation measuring system

点光源发出的光经扩束、准直后产生均匀平行光,平行光束经成像系统后投射到线阵传感器阵列上。当降水粒子通过采样区域时,降水粒子遮挡平行光路,经成像系统按一定倍率成像于线阵传感器上,线阵图像传感器以一定的频率对被遮挡状态进行扫描采样,将线阵光强响应值和预先设置的成像阈值比较可得到相应的二值化曲线如图 2 所示,将不同时刻的阴影切片组合可得到降水粒子的二维图像如图 3 所示。根据线阵扫描频率及获取的降水粒子有效数据帧数,可以计算降水粒子的下落末速度。

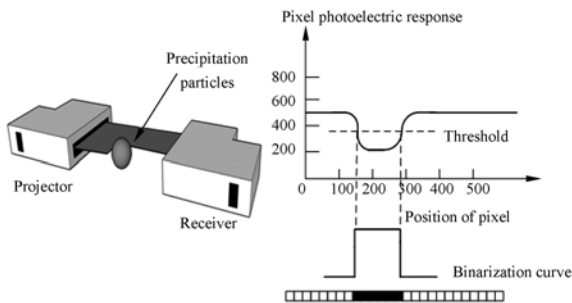


图 2 二值化示意图

Fig. 2 Diagram of binarization

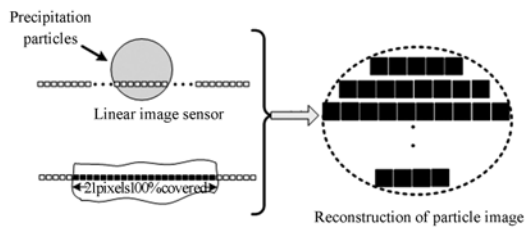


图 3 粒子成像示意图

Fig. 3 Diagram of particle imaging

2.1 光学测量模块

光学测量模块包括平行光源和成像系统两部分,用于实现降水粒子的准确成像获取。

平行光管采用高亮度 LED 光源,经过毛玻璃、光阑和准直透镜组后得到均匀、稳定的平行光。成像镜头位于平行光管出射端的前方,接收来自平行光管传出的平行光,按照一定的放大倍率投射到线阵图像传感器上。平行光管到成像镜头之间的距离和平行光管的直径确定了采样空间。

光学测量单元的核心线阵传感器有效像元数为 512,像元宽度 $\mu = 14 \mu\text{m}$,用于感应中心波长 $449 \sim 453 \text{ nm}$ 的 LED 产生的平行光源。平行光管的有效口径为 32.5 mm ,由传感器阵列的有效探元长度和平行光源的口径之比可知光学放大倍率 β 为 0.2214 ,传感器的理论分辨力为 $\mu/\beta = 0.063 \text{ mm}$ 。本系统中平行光的发散角精度优于 0.2 mrad ,考虑到平行光发散角的影响,为使发散角造成的采样误差小于仪器的采样分辨力,将平行光管和成像镜头间距离设置为 150 mm 。

2.2 采集控制模块

采集控制模块由传感器驱动电路、数据采集控制器、传输接口模块等部分组成,用于实现降水数据的实时采集与控制。

前端传感器电路由前置放大、A/D 转换、时间积分、温度控制电路等电路构成,实现线阵图像传感器光电转换后信号的放大和数字化。核心控制器可编程逻辑芯片 (FPGA) 采用 Xilinx 公司 Spartan-3 系列 XC3S400,完成线阵图像传感器的时序驱动、高速数据的采集与缓存、阈值比较和传输接口逻辑控制等功能。该芯片容量为 40 万门,片上分布式 RAM 和块 RAM 可用于构建 FIFO 和双口 RAM,便于高速数据的缓存。此外,外扩大容量 SDRAM 用于数据的缓存。传输接口选

用以太网驱动芯片 DM9000A,采用 TCP/IP 方式进行通信。系统主要硬件模块如图 4 所示。

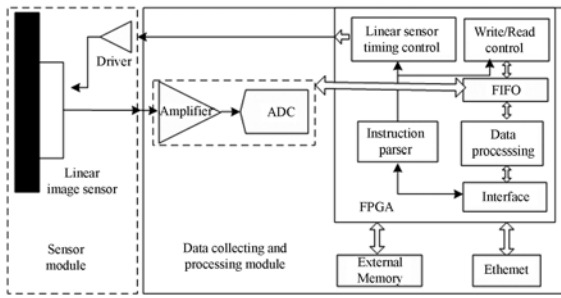


图 4 线阵降水测量系统硬件框图

Fig. 4 Hardware block diagram of linear precipitation measuring system

3 数据处理算法

数据处理算法主要包括仪器的定标处理、数据的二值化处理以及降水粒子图像特征提取等。

3.1 定标处理及二值化方案

线阵信号的二值化方法有固定阈值法、浮动阈值法和微分法^[12]。其中固定阈值法对光源要求较高,测量精度低,而微分法测量精度高但电路复杂且不稳定。浮动阈值法是将线阵信号反馈到阈值,使其随线阵信号变化,从而保证测量精度。二值化法有软件和硬件实现两种方法。软件二值化是在上位机进行处理,该方法适合低速和非连续采集数据量较小的场合。硬件二值化电路通常利用高速电压比较器,将实时采集线阵信号和预先设置的电平进行比较得到二值化数据流,此类电路集成度低,且不利于阈值参数的调整。

根据图 2,成像阈值的设置是影响测量精度的关键,阈值的大小直接影响相应时刻降水粒子投影的水平尺度,进而影响后期降水粒子形状的提取。为保证测量精度和长期测量数据的一致性,阈值的设置需综合考虑平行光源的发散性、线阵图像传感器像元对光强响应的非均匀性和环境因素等。

考虑本系统中线阵需要高速采集,实时数据量大且需要在野外自然环境中连续运行,一般的定标方案和二值化方案^[13-14]不适合本系统,因此设计了 FPGA 片内的高速线阵数据二值化处理及编码压缩,突破了线阵降水测量系统中线阵高速扫描、实时数据量大的关键技术需求。同时设

计并基于 FPGA 内微处理器软核 MicroBlaze 实现了自适应阈值方案,解决了光源和传感器性能漂移等影响成像阈值进而影响测量精度的问题。

二值化处理利用 FPGA 内逻辑资源和高速并行运行的特点实现片内线阵数据的实时二值化^[15],将实时采集的线阵像元光强响应值和预先设置的阈值进行比较,得到相应的二值化曲线。随后编码压缩模块检测二值化曲线的起始和结束位置,将每一帧的包含粒子遮挡光路信息的数据用几个字节的数据表示,进一步减少数据传输量,以便后期数据拼图处理。

自适应阈值设置方案是利用 FPGA 内嵌微处理器软核 Microblaze 定时(如每隔 1 h)对实时采集的数据进行统计,统计时间设为 1 s,求取统计时间内每一个线阵像元光强响应的平均值,然后将每个点的响应平均值乘以一个比例系数得到每个像素的成像阈值,写入双口 RAM 中供阈值比较编码模块调用,如图 5 所示。这里统计时间的选择主要考虑了实际传感器性能漂移和温漂为缓慢过程,阈值统计过程也可选择在系统启动或者定时自检时进行。

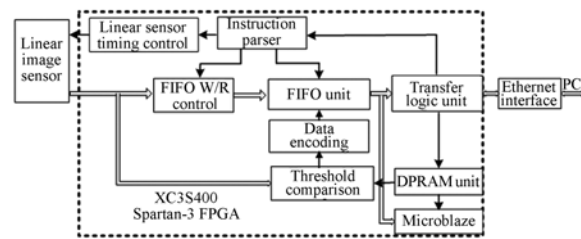


图 5 基于 Microblaze 的阈值设置框架

Fig. 5 Threshold setting based on Microblaze

根据统计后数据进行阈值设置,如图 6 所示,在阈值系数一定的情况下,可得到不同光强条件下每个像素点的阈值。若因为光源或者传感器性能变化使得响应曲线发生变化,利用 MicroBlaze 定时进行阈值统计和设置,可使阈值能够适应光强及传感器性能的变化。

定标过程在二值化电路和阈值设置方案的基础上进行,在无遮挡时,统计一定时间内线阵响应的平均值,设定阈值比例系数,利用不同直径的玻璃棒(折射指数和雨滴相近)遮挡光路,得到响应的二值化编码计算后和原始玻璃棒直径比较,通过选择不同的阈值比例系数,为基于 Microblaze 的阈值设置方案提供基础参数。利用不同直径的

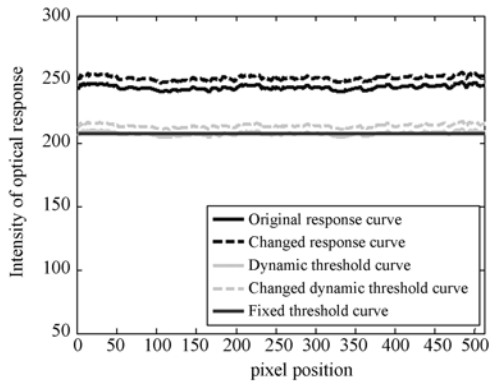


图 6 自适应阈值设置

Fig. 6 Adaptive threshold setting

玻璃棒结合阈值设置方案^[16]对系统进行校准标定,选取初始信号的 50% 作为仪器的动态阈值比例系数,对于直径小于 6 mm 的玻璃棒测量误差优于 0.1 mm。目前,每一个线阵像元采用的是同一个比例系数,后期可考虑更有效的系数设置方案。

基于 FPGA 芯片实现高速线阵二值化处理及自适应阈值设置的高度集成方案,同时也为定标过程的工程实现提供了便利条件。

3.2 降水粒子图像特征提取

降水粒子图像特征提取前首先进行二值化编码数据的拼合,在拼合过程中需考虑“速度形变效应”、水平风影响以及粒子重合时的处理^[16]等问题。“速度形变效应”如图 7 所示。

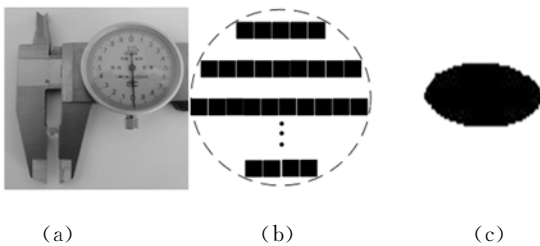


图 7 粒子形变效应示意图

Fig. 7 Diagram of shape distortion

图 7(a)为实验用直径为 5 mm 的光学玻璃球,图 7(b)为线阵获取的粒子投影切片的理论拼图,图 7(c)为实际测量效果,即不加处理直接拼合的玻璃球原始图像。由图 7(c)可以看出,玻璃球以一定的下落末速度经过采样区间,造成直接拼合图像时的压缩。

为消除形变压缩效应,基于像素填充法和插

值拟合法^[17]对原始拼合图像进行订正。像素填充法根据雨滴的长轴、线阵扫描频率以及雨滴遮蔽线阵对应的有效像元个数等信息来对图像进行插值填充。订正后的光学玻璃球如图 8 所示。

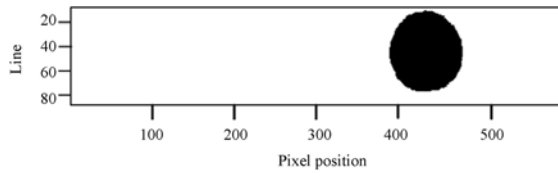


图 8 修正后图像

Fig. 8 Image after adjustment

在此基础上进行图像边缘识别,提取降水粒子的形状、尺度等信息,结合雨滴模型,得到降水粒子的等效直径 D 。对于等效直径为 D 的雨滴,其降落末速度为:

$$v_t = \frac{Df}{M}, \quad (1)$$

式中: f 为线阵扫描频率, M 为等效直径为 D 的雨滴对应的有效扫描行数。在得到降水粒子的等效直径和下落末速度的基础上,可计算相关的微物理特征:

$$N(D) = \frac{n}{v_t \times s \times t}, \quad (2)$$

由式(2)可计算雨滴谱 $N(D)$, s 为采样面积, t 为采样时间, n 为采样时间内通过有效采样面积 s 的雨滴数目。

4 初步实验结果

线阵降水测量传感器调试成功后,2011 年 8 月、9 月和 12 月在解放军理工大学气象学院实验楼顶与 XYZ06 型自动气象站的翻斗式雨量计进行了同步对比观测。XYZ06 型自动气象站配套的翻斗式雨量计最小分辨率为 0.1 mm,准确度为 ± 0.4 mm (< 10 mm) 和 $\pm 4\%$ (> 10 mm)。图 9 给出了试验时间为 2011 年 12 月 07 日 09:08~11:22 的实验结果,主要进行累计降水量和 1 min 降水量趋势的对比。

12 月 07 日线阵降水传感器和翻斗式雨量计观测的累计降水量分别为 0.98 mm 和 1.14 mm,两者累计降水量的相对误差相对于翻斗式雨量计为 14.04%,两者相关系数为 98.7%。根据多次同步观测结果,线阵降水测量值较翻斗式雨量计

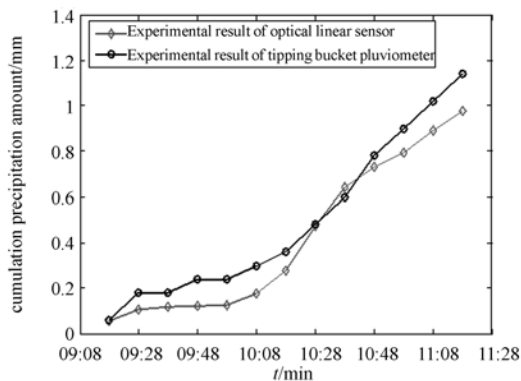


图 9 累计降水量对比

Fig. 9 Comparison of accumulated rainfall amount

测量值稍偏小,但两者的变化趋势基本相同,具有较好的线性相关性。总体而言,系统具有较高的可靠性、环境适应性,为实现连续运行和业务观测能力,需进一步研究数据订正算法以及进行长期的对比观测实验。

5 结 论

针对降水资料精细化测量的需求,提出了利

用线阵图像传感器高速扫描对降水粒子群目标进行高速成像的测量方案。首先设计并研制了发散角小于 0.2 mrad 的平行光源和成像光路,其满足线阵高速曝光时的光强响应需求,有效采样面积为 $32.5 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 。其次,设计了以 FPGA 为核心的降水粒子图像采集和数据处理平台,能够满足线阵图像传感器 $30\,000 \text{ frame/s}$ 的高速扫描时的时序驱动控制和数据缓存传输等需求。针对线阵降水测量系统连续工作时线阵高速扫描、实时数据量大等关键技术需求,在 FPGA 片内实现了高速线阵数据的实时二值化处理及编码压缩,以便于数据的实时传输及后期的相关算法处理。此外,设计并实现了基于 FPGA 内微处理器软核 MicroBlaze 的自适应阈值方法,解决了光源和传感器性能漂移等影响成像阈值进而影响测量精度的问题。结合图像拼合算法、边缘提取和特征提取算法,在此基础上初步实现了降水现象的昼夜连续自动观测,为获取降水精细化微物理信息提供了手段。

参考文献:

- [1] 孙学金,王晓蕾,李浩,等. 大气探测学[M]. 北京:气象出版社,2009.
SUN X J, WANG X L, LI H, *et al.*. *Atmospheric Sounding*[M]. Beijing: Meteorological Press, 2009. (in Chinese)
- [2] 高太长,刘西川,刘磊,等. 基于光学方法测量降水的关键技术研究[C]. 第十二届中国科协年会, 2010.
GAO T CH, LIU X CH, LIU L, *et al.*. Research on key techniques about precipitation measuring by optical methods [C]. *The 11th Annual Meeting of China Association for Science and Technology*, 2010. (in Chinese)
- [3] VUERICH E, MONESI C, MALASPINA F, *et al.*. The WMO field intercomparison of rainfall intensity(RI) gauges: measurements and preliminary results [C]. *TECO-2008 WMO Technical Conference*.
- [4] 吕达仁,吴北婴. 激光闪烁相关法测雨遥感方程[J]. 科学通报, 1984, 29(17):1056-1959.
LU D R, WU B Y. Remote sensing equation for rain measurement by laser scintillation method[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1984, 29 (17): 1056-1959. (in Chinese)
- [5] 王青梅,杨艳玲,谢邦力. 利用雨的光闪烁效应测量降水强度[J]. 量子电子学,1994,11(3):198-204.
WANG Q M, YANG Y L, XIE B L. Measurement of rain rates by optical scintillation [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 1994, 11(3):198-204. (in Chinese)
- [6] 岑家生,王青梅,罗晖,等. 降水粒子的成像探测技术及仪器初探[J]. 大气与环境光学学报,2011,06(6),415-422.
CEN J SH, WANG Q M, LUO H, *et al.*. Preliminary study of raindrop measurement technology and instrument by imaging[J]. *Journal of Atmospheric and Environmental Optics*, 2011, 6 (6): 415-422. (in Chinese)
- [7] MIKLOS S, SUBIR K M, KAROLINE D, *et al.*. Shapes and oscillations of falling raindrops-A review

- [J]. *Atmospheric Research*, 2010, 94(4):416-425.
- [8] BEARD K V, BRINGI V N, THURAI M. A new understanding of raindrop shape [J]. *Atmospheric Research*, 2010, 97(4):396-415.
- [9] SCHONHUBER M U U, POIARES J P V, BAPTISTA, *et al.*. Measurements of precipitation characteristics by a new distrometer [C]. *Proc. Conf. Atmospheric Physics and Dynamics in the Analysis and Prognosis of Precipitation Fields, Rome, Italy*, 1994.
- [10] BAUMGARDNER D, KOK G, DAWSON W, *et al.*. A new groundbased precipitation spectrometer: The meteorological particle sensor (MPS) [C]. *The 11th Conference on Cloud Physics*, 2002: American Meteorological Society.
- [11] 江志东. 基于线阵 CMOS 的降水现象观测仪器设计及初步实现 [D]. 解放军理工大学硕士学位论文, 2011.
- JIANG ZH D. *Design and Primary Implementation of Instrument for Precipitation Based on Linear CMOS Image Sensor* [D]. Nanjing: University of Science and Technology of Chinese People's Liberation Army, 2011. (in Chinese).
- [12] 徐树兴, 王宝光, 郑义忠. 薄膜宽度在线测量系统关键技术的研究 [J]. *传感技术学报*, 2006, 19(6): 2478-2480.
- XU SH X, WANG B G, ZHENG Y ZH. Study on in-line surface defect detection system for steel strip based on linear CCD sensor [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2006, 19(6): 2478-2480. (in Chinese)
- [13] 伍济钢, 宾鸿赞. 机器视觉的薄片零件尺寸检测系统 [J]. *光学 精密工程*, 2007, 1(15):124-130.
- WU J G, BIN H Z. Dimensional inspecting system of thin sheet parts based on machine vision [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 1(15):124-130. (in Chinese)
- [14] 凌伟, 王志乾, 高峰端. 光电测量系统畸变的实时数字校正 [J]. *光学 精密工程*, 2007, 2(15):277-282.
- LING W, WANG ZH Q, GAO F D. Real time digital correction for distortion in photoelectronical measuring system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 2(15):277-282. (in Chinese)
- [15] 江志东, 高太长, 孙海洋, 等. 线阵 CMOS 图像采集及编码传输的实现 [J]. *传感技术学报*, 2012, 24(4):554-558.
- JIANG ZH D, GAO T CH, SUN H Y, *et al.*. Implementation of linear CMOS image data acquisition and data encode compression [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2012, 24(4): 554-558. (in Chinese)
- [16] 孙海洋. 降水光学自动测量方法研究 [D]. 解放军理工大学硕士学位论文, 2011.
- SUN H Y. *Research on the Method of Automatic Optical Measurement of Precipitation* [D]. Nanjing: University of Science and Technology of Chinese People's Liberation Army. (in Chinese)
- [17] 苏小勇. 基于线阵 CCD 的降水测量系统校准方法及应用技术研究 [D]. 解放军理工大学硕士学位论文, 2012.
- SU X Y. *Research on the Calibration and Application of Precipitation Measurement System Based on linear CCD* [D]. Nanjing: University of Science and Technology of Chinese People's Liberation Army, 2012. (in Chinese)

作者简介:



高太长 (1958—), 男, 山西太原人, 教授, 博士生导师, 1982 年于空军气象学院获得学士学位, 主要从事军事大气探测技术方面的研究。E-mail: 2009gaotc@gmail.com



江志东 (1985—), 男, 江苏泰州人, 博士研究生, 2008 年、2011 年于解放军理工大学分别获得学士、硕士学位, 主要从事天气现象自动观测方面的研究。E-mail: jzd19851102@126.com



刘西川(1985—),男,河北清河人,博士研究生,2007年、2010年于解放军理工大学分别获得学士、硕士学位,主要从事地面气象探测及大气物理方面的研究。Email: liuxc85@gmail.com



翟东力(1968—),男,江苏扬州人,副教授,1991年、1994年于空军气象学院分别获得学士、硕士学位,主要从事遥测技术、智能仪器方面的研究。Email: zhaidl@vip.sina.com



苏小勇(1985—),男,陕西渭南人,2008年、2012年于解放军理工大学气象学院分别获得学士、硕士学位,主要从事光学仪器测试方法的研究。Email: sxyxt@163.com

(本栏目编辑:曹 金)

● 下期预告

用于阵列样品检测的扫描式表面等离子体共振生物传感器

齐攀^{1,2},李莹³,冯明创^{1,3},钟金钢^{1,3*}

(1. 暨南大学 光电工程系,广东 广州 510632;

2. 广东交通职业技术学院 电子工程系,广东 广州 510650;

3. 暨南大学 光电信息与传感技术广东普通高校重点实验室,广东 广州 510632)

针对阵列样品的定量检测,构建了一种用于阵列样品检测的扫描式表面等离子体共振生物传感器。首先根据平面棱镜耦合的角度扫描方式下最佳旋转轴位置和双棱镜探测光路搭建了阵列扫描式表面等离子体共振生物传感器。然后计算了可探测阵列样品的点密度。最后以蒸馏水和浓度分别为 5 mg/ml、10 mg/ml、15 mg/ml、20 mg/ml、25 mg/ml、30 mg/ml 和 35 mg/ml 的葡萄糖溶液作为待测阵列样品进行了多样品点的表面等离子体共振实验。实验测得阵列样品的共振角分别为 73.745°、73.919°、74.052°、74.185°、74.306°、74.408°、74.549°和 74.660°,葡萄糖溶液浓度与共振角线性关系良好,实验证明了该方法和装置的可行性。该装置对提高阵列样品点密度,实现高精度定量检测具有重要意义,在生物分析中具有广泛的应用前景。