

·特邀文章·

D. 光机式高速摄影系统及其应用

佟 恒 伟

(中科院西安光机所)

摘 要

在第十九届国际高速摄影与光子学会议上有关光机式高速摄影系统及其应用的论文共有十四篇,日本、瑞士和西德各一篇,其余七篇均由我国提供。

关键词: 高速摄影机; 微处理机; 高速摄影应用

苏联莫斯科光学物理测量研究所共有三篇论文。其中Yu, A. Drozhbin等人的论文《用于高速分幅记录的多反射镜系统》可以提供快速过程的多路同步扫描记录,以二维图象的方式再现此连续过程,其摄影频率可达 10^9 fps,画幅数超过100幅。第二篇文章《光机式高速分幅摄影机》采用双光学通道,反射镜面为 26×66 mm等腰三角形,胶片记录的图象可以24幅/秒的频率放映,当采用红外感光材料时,可适用于红外辐射领域,波长范围从 $0.3 \sim 15 \mu\text{m}$,第三篇论文的题目是《超高速转镜式摄影机》用于研究脉宽小于100 ns的高能激光器的时空特性,也是采用双光学通道记录,转镜尺寸为 20×26 mm的三角棱镜,转数为500000 rev/m,该相机可工作于紫外区,当波长为 $0.2 \mu\text{m}$ 时,反射镜的反射率达90%以上,所使用的材料为对紫外敏感的材料,转镜由空气涡轮驱动。第四篇是Knyazhensky, P等人提供的题目是《KC-35高速摄影机》,摄影频率可达4000 fps,设计者设计了一种独特的光学系统,可以省去通常的圆盘式快门,一种狭缝快门就可提供足够高的时间分辨率,而动载荷大大降低了,胶片采用双马达驱动。

控制系统包括以下三个主要回路:

- 1) 胶片速度稳定回路;
- 2) 供片稳定回路;
- 3) 收片稳定回路。

由于采用光学传感器和胶片张力测量系统,使得进入控制系统的外来干扰减至最小,从而保证了胶片速度的高精度控制,并减小了片门处胶片的弹性变形,从而使该相机具有较高的分辨率,较好的抗干扰性,热稳定性和低噪声性。

日本名古屋大学N. Sugiura等人的论文《用一种袋式透镜系统的自动调焦控制》,在系统中采用一种在橡胶圈的两端面分别贴上一片塑料薄膜和聚苯乙烯薄膜,中间充填硅油,用改变液体体积达到调焦的目的。

瑞士Wenberger AG公司的P. Keller《微处理器相机控制系统》一文介绍了基于微处理器的相机控制系统,采用数字控制,存贮数据并配备打印机等系统,能实现多达20台摄影机的同步联动,可以绘制加速度曲线,有效显示数据,主要用于汽车制造工业安

全中心和计算机控制中心遥控相机。

西德Herbrich, H. R. 《工业领域纹影照相应用的发展》一文,介绍了西德研制的一种纹影探测仪,其光源、聚光镜、狭缝和刀口座均可绕球面分析镜的光轴旋转 360° ,在工业中得到很广泛应用。

我国学者在这次高速摄影与光子学的国际会议上一共宣读了七篇论文,占本届国际会议此类论文的一半。

华东工学院应用物理系综合了内鼓轮式和反射镜式高速摄影机的优点设计了一种带有直角棱镜的内鼓轮式高速摄影机,具有转动惯量小,线速度高,携带方便及价格便宜等优点,当配备连续脉冲激光光源时,曝光时间可达 10^{-6} s,帧频达 10^3 fps。

洛阳无线电通讯学院研制的一种测量用高速摄影机,其频率可达200fps,由操作者遥控3台摄影机程序跟踪测量火箭的交叉误差,测量精度优于80弧秒。

中国科学院力学研究所的“激光光纤高速摄影机”应用光纤技术,将光纤变换器同时作为光快门和光源分配器,当使用1KHz扫描仪时帧频可达 10^6 fps,曝光时间 ≤ 0.7 μ s,每次可得16幅纹影照片,调整光纤间距可得到不等时间间隔记录,采用同一型号光纤就可构成高速干涉记录仪。

上海光机所研制的“无线电遥控高强度闪光灯”为在潮湿环境和减压环境下工作的高速记录仪提供同步闪光照明,释放能量为10~60J,闪光频率为0~100pps,脉宽2~35 μ s,闪光相位 360° 。

北京工业学院在提高摄影机性能和改进相机设计方面提供了二篇文章:其中一篇是分析斜光束反射镜扫描系统的结构参数,推导出适合于斜光束反射镜扫描的替代圆算法,借助于计算机采用最优化技术,具有省时,易得最优结果的特点。并用Shardin公式进行修正,强调了入射角范围及反射镜剖面形状的影响。另一篇为《两棱镜的三坐标图象稳定》,两棱镜作为一个整体来稳定光轴,各自旋转时减轻图象弯曲,并推导出一般情况下适用的简化公式如下:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \frac{1}{2}\varepsilon_1 - \frac{1}{4}\varepsilon_2\varepsilon_3 \\ \theta_2 &= -\frac{1}{2}\varepsilon_2 + \frac{1}{4}\varepsilon_1\varepsilon_3 \\ \theta_3 &= \frac{1}{2}\varepsilon_3 + \frac{1}{4}\varepsilon_1\varepsilon_2\end{aligned}$$

其中: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ——棱镜转角

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ——扰角

哈尔滨工业大学提出了评价高速测量设备性能指标的MF法。

MF包含以下3个因子:

- 1) 清晰度或锐度;
- 2) 信息总量;
- 3) 多功能性。

对于不同的系统和不同的应用环境有不同的MF值,文中提出了评价高速摄影系统的新概念和新的思想。

本届高速摄影与光子学国际会议上许多国家都展示了自己的产品,下面简单介绍几个国家的典型设备的主要性能指标:

法国SFAT公司展示了以下几种摄影机

GV150/35mm摄影机(间歇式)

帧频为2~150fps,片容量120m,LED显示,速度精度为 $\pm 1\%$,不稳定性 $\leq \pm 0.5\%$

UR1201/35mm棱镜补偿式摄影机

帧频:202,300,400,500,600,800,1000,1200幅/秒,画幅尺寸:18×24mm
片容量300m

UR3200/35mm棱镜补偿式摄影机

七种频率:800,1200,1600,2000,2400,2800,3200fps,画幅尺寸:18×24mm,片容量300m

美国CORDIN公司散发了介绍该公司的系列高速摄影机的资料,其中:

转镜式分幅摄影机

124型:帧数:26,帧频:10000~5000000fps,画幅尺寸:25.4×19mm,孔径:F/11,分辨率:40,68lp/mm,胶片尺寸:35mm

126型:帧数:26,52或104,帧频:10000~20000000fps,画幅尺寸:25.4×4mm~25.4×16mm,孔径:F/11,分辨率:40,68lp/mm,胶片尺寸:35mm.

119型:帧数:130,帧频:50000~25000000fps,画幅尺寸:4×14mm~8×11mm,孔径:F/12.8,分辨率:28,68lp/mm,胶片尺寸:35mm.

120型:帧数:26,帧频:10000~1000000fps,画幅尺寸:31.6×64mm,孔径:F/11,分辨率:40,68lp/mm,胶片尺寸:70mm.

121型:帧数:26,帧频:10000~2500000fps,画幅尺寸:38×60mm,孔径:F/18,分辨率:20,40lp/mm,胶片尺寸:70mm.

200型:帧数:12或24,帧频:50000~7840000fps,画幅尺寸:8×13mm~18×23mm,扫描速度:0.35~27.6mm/ μ s,扫描记录尺寸:23×130mm,孔径:F/6.5~F/16,空间分辨率:28,56lp/mm(分幅式),48lp/mm(扫描式),时间分辨率:21~7.7ns,胶片尺寸:Polaroid胶片或4×5切片(分幅式),35mm(扫描式)。

转镜式扫描相机:

132型:扫描速度:0.2~20或30mm/ μ s,画幅尺寸:60×310mm,胶片尺寸:70mm,孔径:F/11,时间分辨率:2ns,空间分辨率:56lp/mm.

134型:扫描速度:3~30mm/ μ s,画幅尺寸:60×665mm,胶片尺寸:70mm,孔径:F/11,时间分辨率:2ns,空间分辨率:56lp/mm.

136型:扫描速度:1.5~15mm/ μ s,画幅尺寸:60×670mm,胶片尺寸:70mm,孔径:F/11,时间分辨率:3ns,空间分辨率:56lp/mm.

激光照明阴影相机系统:

1361型:帧数:80,帧频:100000~1000000fps,画幅尺寸:17.8×25mm,分辨率20,28lp/mm,胶片尺寸:35mm,曝光时间:25ns.

其他连续调整相机:

330型: 帧数: 80, 帧频: 10000~200000fps, 孔径(分幅式): F/32, 分辨率: 20, 28lp/mm, 扫描画幅尺寸: 25×430mm, 分幅画幅尺寸: 17.8×25mm, 扫描速度: 10.64 mm/ μ s

140型: 帧数: 80, 帧数: 25000~2250000fps, 分幅画幅尺寸: 16×25mm, 孔径: F/22, 分辨率: 35, 48lp/mm, 胶片尺寸: 35mm。

旋转鼓轮式分幅相机:

350型: 帧数: 224, 帧频: 500~35000fps, 画幅尺寸: 10×7.5mm, 最大速度时记录时间: 6.4ms, 曝光时间: 0.75, 1.5, 3.0 μ s (最高速度时), 孔径: F/11, 分辨率: 48.56 lp/mm, 胶片尺寸: 35mm。

317型: 帧频: 500~16000fps, 帧数: 46, 最高速时记录时间: 2.86ms, 画幅尺寸: 24.8×17.2mm, 曝光时间: 1.5或3.0 μ s, 孔径: F/18, 分辨率: 28, 34lp/mm 胶片尺寸: 35mm。

374型: 帧数: 500~100000fps, 帧数: 500, 画幅尺寸: 10×7.5mm, 最高速时记录时间: 5ms, 曝光时间: 1/2光阑时0.8 μ s, 全光阑时1.6 μ s, 孔径: F/16, 分辨率: 40, 68lp/mm, 胶片尺寸: 70mm。

377型: 帧频: 1000~200000fps, 帧数: 500, 画幅尺寸: 10×7.5mm, 最高速时记录时间: 2.5ms, 曝光时间: 1/2光阑时0.8 μ s, 孔径: F/16, 分辨率: 40, 48lp/mm, 胶片尺寸: 70mm或双路35mm。

旋转鼓轮式扫描相机:

351型: 扫描速度: 1.66~0.13mm/ μ s, 画幅尺寸: 25×856mm, 相对孔径: F/4.0, 时间分辨率: 0.4 μ s, 最高速时记录时间: 6.4ms, 胶片尺寸: 35mm。

318型: 扫描速度: 0.36mm/ μ s, 画幅尺寸: 25×873mm, 相对孔径: F/4.0, 时间分辨率: 0.2 μ s, 最高速时记录时间: 2.86ms, 胶片尺寸: 35mm。

370型: 扫描速度: 0.30mm/ μ s, 画幅尺寸: 60×1000mm, 相对孔径: F/5.6, 时间分辨率: 0.25 μ s, 最高速记录时间: 3.33ms, 胶片尺寸: 70mm。

袁艳同志帮助整理并抄写本文, 在此致谢!