

相机用超高动态 CCD 特性分析及应用

康娟¹ 冯爱明² 徐时清² 李晨霞¹

(¹ 中国计量学院光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018)

(² 中国计量学院材料科学与工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要 比较介绍了相机用传统 CCD 和超级 CCD SR 的原理, 该超级 CCD SR 由面积较大、感光度高的“S 像素”和为拓宽动态范围而特设的小面积“R 像素”组成。实验以基于超级 CCD SR 的富士 F100fd 为信号采集器件, 对圆孔的夫琅禾费衍射图像进行采集, 最终的图像能够保证暗处正常表现的情况下噪声控制理想, 同时高亮度的部分没有溢出。实验数据表明, 与普通 CCD 相比动态范围可拓宽到约 4 倍, 验证了器件设计的合理性和有效性。

关键词 传感器; CCD 传感器; 高动态范围; 圆孔衍射; 超级 CCD

中图分类号 O436 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS200828s2.0262

Analysis and Application of Ultra-High Dynamic CCD Characters for Camera

Kang Juan¹ Feng Aiming² Xu Shiqing² Li Chenxia¹

(¹ College of Optical & Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

(² College of Materials Science and Engineering, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract The principles traditional CCD and supper CCD were compared "S-pixel" with large area and high light, "R-pixels" with small area for expanding the dynamic range constitute supper CCD. Based on Fujifilm F100fd with super CCD for signal acquisition devices, we captured the hole diffraction image, all which can reduce the number of noises and make the finally image keeping normal under dark environment with non-overflow under high-brightness. Compared with ordinary CCD, super CCD can expand the dynamic range to about four times, optical diffraction image were detected to verify the feasibility and correctness of the paper.

Key words sensors; CCD sensor; high dynamic range; hole diffraction; super CCD

1 引 言

电荷耦合器件(CCD)是所有成像器件的核心,也是各类非接触式测量常用的传感器件之一。CCD 传感器广泛应用于图像采集和光电测量领域,但其固有动态范围有时限制其实际应用,例如反差较大的目标图像的摄取和测量、激光光束诊断等^[1]。众所周知,图像的动态范围表示图像所包含的从“最暗”至“最亮”的范围。动态范围越大,所能表示的层次越丰富,所包含的色彩空间也越广。文献[2]就如何提高动态范围进行了报道,但归根结底都是基于普通 CCD 信号采集的基础上,采用不同的假设

前提构建算法处理模型,利用软件实现模型程序,最终通过不同算法实现 CCD 动态范围的提高。

由于 CCD 物理结构本身的缘故动态范围提高有限,无法达到实际所需。本文提到的影像传感器从 CCD 的感光单元物理结构和排列出发,比较了基于普通 CCD 和超级 CCD 数码相机在高光范围下的图像采集结果的差别,设计了基于富士 F100fd 相机的圆孔夫琅禾费衍射图像的采集。

2 CCD 理论分析

CCD 感光单元的物理排列顺序主要有三种方

式，如图 1 所示。

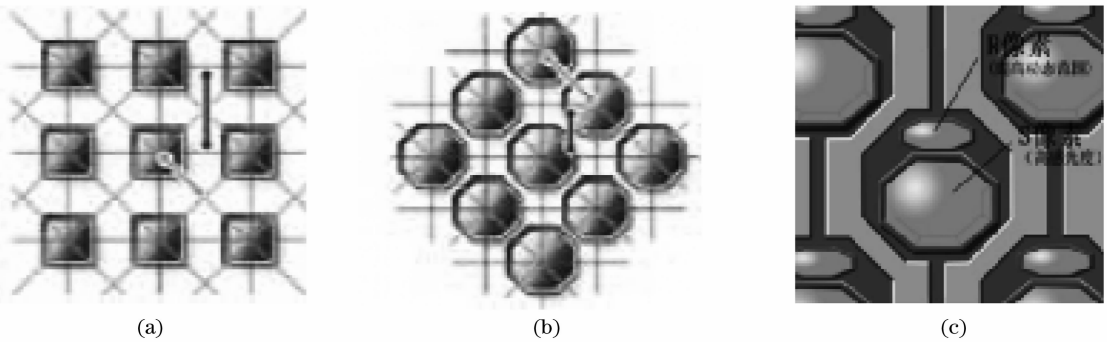


图 1 CCD 物理结构发展过程。(a) 普通 CCD; (b) 超级 CCD; (c) 超级 CCD SR

Fig.1 CCD physical development. (a) normal CCD; (b) super CCD; (c) super CCD SR

传统 CCD 排列如图 1(a) 所示，即常见的矩阵式排列。但随着 CCD 像素数竞争的激烈，单位面积上的像素数越来越多，导致每个像素的尺寸变小，进而决定灵敏度、信噪比、动态范围等性能的信号电荷量越少，从而导致综合性能的降低和画质的劣化。日本富士公司开发出“蜂窝式”超级 CCD，如图 1(b) 所示。超级 CCD 将像素旋转 45° 排列，可缩小对图像拍摄无用的多余空间，光线集中的效率较高，使得感光性、信噪比和动态范围都有所提高。超级 CCD 在进行插值时，于插值获得的中间像素由紧邻的优质真实像素计算出，而且插在水平与垂直轴线上^[3]，与矩阵式 CCD 相比可有效提高分辨率。但这两种 CCD 并没有改变测量的动态范围，富士公司针对动态范围的提高要求开发了第 8 代超级 CCD SR，结构如图 1(c) 所示。超级 CCD SR 由面积较大，高感光度的“S 像素”和为拓宽动态范围而特设的小面积“R 像素”组成，它的每个像素点使用了一大一小的两个感光性能不同的感光单元，分别称为主单元和副单元。主单元感光度高，提供主要的成像信号，但高光信号会溢出；副感光单元感光度低，能记录高光信号的变化，作为补充信号提供给数据处理过程，扩大动态范围。

3 超级 CCD SR 实验应用分析

3.1 动态范围测试

在再现影像方面，影像传感器动态的拓展有利于扩展景物从低照到高亮度之间细节的表现力，这一特性对于日常实验中特殊环境下实验现象的记录或特殊物质的无损检测等都很具有实际意义^[4]。比如在暗室环境下进行的夫琅禾费衍射试验，为了更好地观察试验现象，都会在暗室中观察以获取最佳的

观察条件和效果。如果要将试验现象记录下来，普通的影像记录设备在高反差的环境下会力不从心，但超高动态范围的 CCD 将显示出其出色的性能^[5]。实验中采用以超级 CCD SR 为核心成像器件的富士 F100fd 数码相机进行图像的采集，该相机可设定 100%，200% 和 400% 的动态范围。不同的动态范围设定所能再现的亮度等级范围测试结果如图 2 所示，EV 表示拍摄时曝光量的大小，正值表示曝光量需增加，反之则减少。由图 2 可见，100% 和 400% 的动态范围其 EV 值相差两倍，而 EV 值所反映的实际是被摄物体的亮度。也就是说，400% 动态范围下可再现被摄对象的亮度范围是 100% 动态范围下的 2 倍。从图 2 中也可见超宽动态范围主要是能极大地扩展高亮度部分的表现范围，以更接近人眼的视觉特性^[6]。

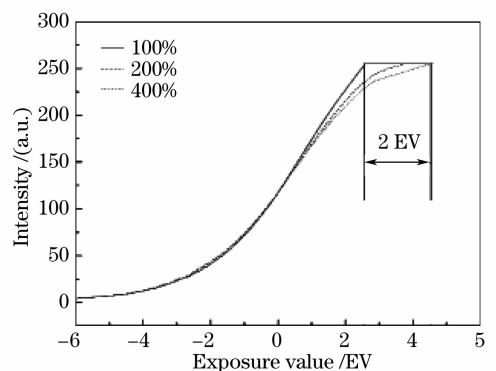


图 2 不同动态范围再现高光部的曲线图

Fig.2 Highlight reconstruct graph of different dynamic range

3.2 圆孔衍射图的 CCD SR 采集分析

把基于超高动态范围 CCD SR 的富士 F100fd 数码相机用和该公司以非超宽动态范围 CCD 为核心的 F50fd 数码相机用于圆孔的夫琅禾费衍射试验

结果的数字化采集记录, 当它们采集图像时, 均采用相同的参量设定(如曝光时间 1/60 s, F5.1), 采

集结果如图 3 所示。

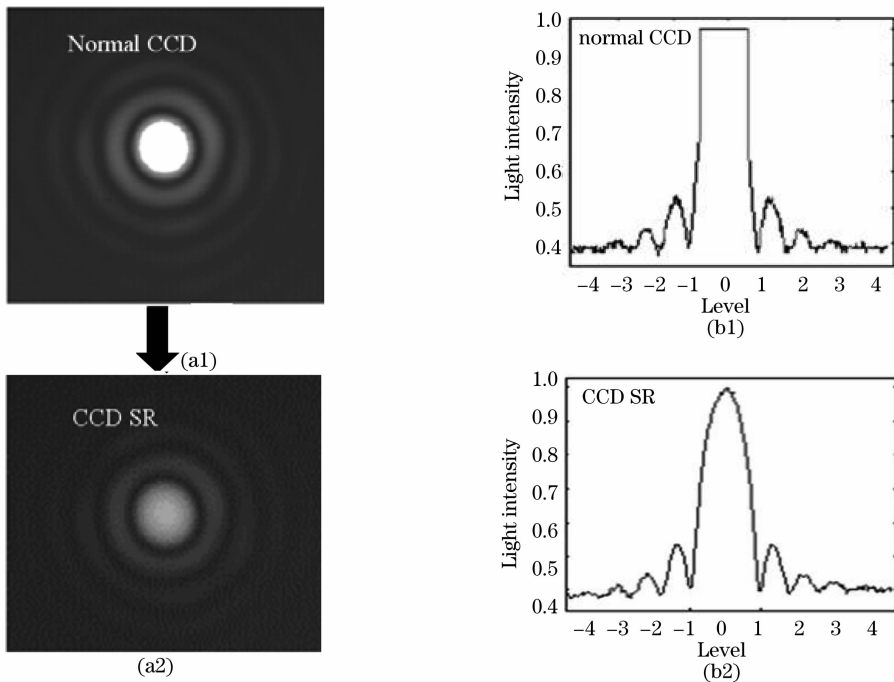


图 3 圆孔的夫朗和费衍射实验。(a) 能量分布图; (b) 衍射图

Fig. 3 Hole diffraction experiment. (a) energy distribution; (b) diffraction pattern

从图 3(a)可见, 由于圆孔的夫琅禾费衍射的中心光强较强, 而边缘光强较弱, 普通 CCD 为核心的 F50fd 数码相机的动态范围基本上不足以表现整个亮度范围, 将获得的图像使用计算机软件对图像中的光斑能量进行分析, 横轴表示光斑的位置, 纵轴表示光斑的能量分布, 结果如图 3(b)所示。为了获得周边光环的能量分布, 普通动态范围的图像中心高亮度部分产生了明显的溢出现象, 中间的饱和像元无法正确回复实际照度, 如图 3(b1)所示, 这和真实情况不符。但基于超级 CCD SR 的数码相机充分利用 400% 的动态范围, R 像素能接受 S 像素容易溢出的高光部分的细节, 较真实地反映了衍射条纹的能量分布, 再现了实际的衍射图像, 如图 3(b2)所示。分析其原因, 可见 CCD SR 利用了普通 CCD 没有利用的暗部信号和噪点的辨别能力, 减轻了高感度时的噪声来提高动态范围, 实验结果亦证明高动态范围的 CCD 影像传感器中 R 和 S 两种像素信号形成画像, 大幅度提高了明暗的范围(即动态范围)。

调节衰减片, 得到衍射图像中央能量不同的衍射图, 用照度计测量中央圆环和边界暗环的能量比, 得出在能量比 4 倍以上后, 普通 CCD 无法真实

反映衍射图形, 出现中心过曝现象, 而超级 CCD SR 不受此影响, 真实地反映了圆孔衍射图形。

4 结 论

分析了光敏单元不同物理排列方式的 CCD 结构对信息采集结果的影响, 重点介绍了富士公司的超级 CCD SR 的原理及超宽动态范围技术的具体应用。实验测得超级 CCD SR 在 400% 动态范围下可再现被摄对象的亮度范围是 100% 动态范围下的 2 倍。实验采用圆孔的夫琅和费衍射现象为 CCD 传感器分析测试对象, 得出夫琅禾费衍射图中央亮部和边缘暗部的能量比超过 4 倍以上。实验结果体现了超高动态范围的优势, 为超高动态范围的 CCD 应用奠定了理论基础, 为实现高反差、高亮暗对比的环境下对非接触测量、人体内窥等医学上的应用具有非常重要的意义。

参 考 文 献

- 1 Ma Xiaoyu, Rao Changhui, Zhang Xuejun. Performance comparison of photon-multiplier-tube-based and CCD-based photoelectric devices[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(5): 882~888
- 2 马晓焮, 饶长辉, 张学军. 三种光电器件用于天体光度测量时的性能比较[J]. *光学学报*, 2007, 27(5): 882~888

- 2 Mark A. Robertson, Sean Borman, Robert L. Stevenson. Dynamic range improvement through multiple Exposure [C]. Proc. of the Int. Conf. on Image Processing, Chicago: IEEE, 1999, 159~163
- 3 Zhou Jiankang, Shen Weimin, Tang Minxue *et al.*. Extended dynamic-range techniques of CCD measurements [J]. *Opt-Electronic Engineering.*, 2006, **33**(10): 96~100
周健康, 沈为民, 唐敏学 等. CCD 测量动态范围的扩展技术 [J]. 光电工程, 2006, **33**(10): 96~100
- 4 Wang Qingyou. CCD Application Technology [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2000
- 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000
- 5 Lin Jiaming. Characteristic analysis of super wide dynamic CCD camera 63W1[J]. *Optical Technology*, 2001, **27**(6): 570~571
林家明. 超高动态 CCD 摄像机 63W1 的特性分析[J]. 光学技术, 2001, **27**(6): 570~571
- 6 Xie Xudong, Chen Bo, Liu Hua *et al.*. Calibration of linear dynamic range for CCD system [J]. *High Power Laser and Partical Beams*, 2000, **12**(Z2):182~184
谢旭东, 陈 波, 刘 华 等. CCD 系统线性动态范围的标定 [J]. 强激光与粒子束, 2000, **12**(Z2): 182~184