

文章编号: 0258-7025(2006)06-0788-03

空间光通信中 CCD 亚像素的分辨率

张文涛

(同济大学物理系, 上海 200092; 桂林电子工业学院电子工程系, 广西 桂林 541004)

摘要 在空间光通信跟踪、瞄准和捕获(APT)系统中,探测终端的位置分辨率对整个通信系统的性能起着巨大的影响,为了使终端探测器的分辨率达到系统的要求,进一步提高跟踪、瞄准和捕获系统的性能,提出了一种新的提高探测器 CCD 分辨率的方法,即多次采样处理。通过将两次采样的数据进行叠加处理,然后利用软件进行控制,可使 CCD 的位置分辨率提高到亚像素的精度。模拟结果表明,利用该多次采样处理可以将 CCD 的位置分辨率提高到 1/2 像素,1/4 像素或更高的精度。同时该方法还可以抵消诸如散粒噪声、暗电流噪声起伏等噪声,从而使信噪比得到提高。

关键词 光通信;多次采样;亚像素;跟踪、瞄准和捕获

中图分类号 TN 929.12;TN 386.5 **文献标识码** A

Sub-Pixel Resolution of CCD in Optical Communication

ZHANG Wen-tao

Department of Physics, Tongji University, Shanghai 200092, China

(Department of Electronics Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract In acquisition, pointing and tracking (APT) system of optical communications, the resolution of detector is very important for whole system. In order to meet the specification of the communications, improve the performance of APT ulteriorly, a new method is put forward in this paper, it is multiple-sampling for detecting data. According to this method, two results of sampling are added together and disposed by procedure, this can make resolution of charge coupled device (CCD) attain sub-pixel. From the simulation of this method, the resolutions of CCD get to 1/2, 1/4 pixel or more. At the same time, this method can also improve the signal-noise-ratio (SNR) of data. So, the method has been proved to be effective to improve the resolution to sub-pixel for CCD in APT system.

Key words optical communication; multiple-sampling; sub-pixel; acquisition, pointing and tracking

1 引 言

跟踪、瞄准和捕获(APT)技术中的粗、精探测器在系统中起着至关重要的作用,它的探测精度直接决定着整个系统。目前在跟踪、瞄准和捕获系统中常用的光电探测器件有像限探测器件,位置敏感探测器件,CCD等。鉴于跟踪、瞄准和捕获技术的特点,一般用 CCD 来进行粗扫描,对光束进行捕获,同时进行精扫描,完成跟踪、定位的功能。跟踪、瞄准和捕获系统的主要技术指标有光束发散角、捕获范围、跟踪精度等^[1,2]。

在空间光通信跟踪、瞄准和捕获系统中,需要有

较高分辨率的终端探测器及探测手段。对于提高 CCD 分辨率的措施,北京理工大学曹一磊等^[3]采用了定位检测算法来检测 CCD 探测器位置信息和 CCD 探测器的定标数据,从而达到了亚像素 CCD 位置对准的目的;浙江大学王凌等^[4]从调制传递函数值的定义出发,导出了线阵 CCD 亚像素成像的调制传递函数对分辨率的影响,并对该调制传递函数作了具体的数值计算,其计算结果显示,理论上亚像素成像获得图像的分辨率几乎能够达到 CCD 分辨率的两倍。苏州大学钱霖等^[5]在研究 CCD 亚像素分辨率时分析了三种插值方法的计算公式,并对“亚

收稿日期:2005-11-09;收到修改稿日期:2005-12-27

作者简介:张文涛(1976—),男,山东济南人,讲师,同济大学博士研究生,主要从事原子光刻技术、空间光通信技术方面的研究。E-mail:glietzw@163.com

像素”技术的插值计算进行了模拟,模拟结果表明图像分辨率确能提高“半个探测器像素”的空间分辨率。本文提出了一种多次采样处理方案,并进行计算机模拟。结果表明,可以将 CCD 的分辨率提高到亚像素的精度,亦即在一定程度上提高了整个跟踪、瞄准和捕获系统的分辨率。

2 理论分析

多次采样理论在不改变 CCD 硬件设施的条件下,通过软件设置,将 CCD 的分辨率提高到亚像素的水平。同时,在所设计的软件中只需要改变相关参数,就可以分别使“亚像素”达到 $1/2$ 像素, $1/4$ 像素, $1/8$ 像素或更高的水平。

在光通信跟踪、瞄准和捕获子系统中,利用 CCD 对目标进行捕获、跟踪的过程中,在一个固定的观察时间 T 之后,光电传感器件 CCD 将其接收到的光信号转变成电信号。将 CCD 的每一个探测像素的输出收集起来进行计数比较,具有最大计数的那个探测像素即认为是光信号中心的位置所在。单凭 CCD 的一次采样进行处理来判定目标在探测器上成像的位置,其位置分辨率很低,这样只能精确到一个像素的精度。在探测器面积一定的情况下,要想提高 CCD 的位置分辨率,只能依靠增加像素的个数 S , 减小每个像素的线度 P 。而这样做在技术上实现起来非常困难。可以采用 CCD 的多次采样处理来提高对目标光束的分辨率,同时在技术上又是可以实现的^[6~8]。

设 CCD 上每个探测像素的线度均为 P , 以探测器的中心为原点建立坐标系,每次采样的时间间隔为 T 。经过一次采样后,将输出信号进行计数比较,就可以具体确定目标成像在哪个像素上,如图 1(c) 所示。经过一次采样处理后,由控制系统驱使探测器整体向某一个方向移动半个像素的线度,即移动距离为 $P/2$, 然后再一次对上述目标在探测器上的成像进行采样。同样,经过这次的采样处理后,也可以将目标成像位置确定在某一个像素之上,如图 1(d) 所示。然后,将这两次采样的结果叠加在一起,则可以将目标成像的位置确定在某半个像素内,从而将一个像素的精度提高到亚像素,即 $1/2$ 像素的精度,如图 1(e) 所示。

图 1(a) 为目标成像强度在阵列的分布, (c) 为 CCD 每个像素对成像的采样; (b) 为阵列移动 $P/2$ 后,目标成像强度在阵列上的分布, (d) 为 CCD 每个

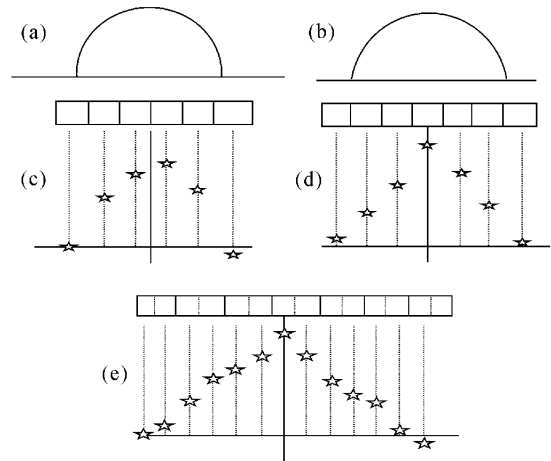


图 1 CCD 的多次采样示意图

Fig. 1 Schematic of multiple-sampling

像素对成像的第二次采样; (e) 为将上述的两次采样进行叠加处理。如将两次叠加后的采样结果再一次进行叠加,重新按照上述的步骤处理,则可以将位置分辨率进一步提高。由于背景光的影响,光路、电路及处理系统本身的精度有限,不能对其分辨率作无限的提高。同时,还会注意到 CCD 的多次采样叠加处理可以使 CCD 在正常工作状态下提高信噪比,即把一小段时间内采集到的图像叠加后,可用信号强度将成比例增加,同时,由于叠加的平均效应,可以抵消诸如散粒噪声、暗电流噪声起伏等噪声,从而使信噪比得到提高^[9,10]。另外,在空间光通信技术中,捕获、对准、跟踪要求系统的实时性要强,这就对 CCD 处理数据的速度提出了相应的要求。但以目前的 CCD 技术水平,加之数据采集卡的性能不断提高,完全能达到跟踪、瞄准和捕获的实时处理要求。

3 随机数据模拟结果

图 2,3 为利用软件对 CCD 多次采样理论随机数据的模拟结果。在模拟过程中,所设定的参数为:像素尺寸为 $14 \mu\text{m}$, 像素个数为 2048, 动态范围为 $1500:1$, 响应度为 $6.0 \text{ V/lx} \cdot \text{s}$, 光谱范围为 $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$, 总传输效率 $>92\%$ 。图 2(a) 中各柱状条表示各个像素所采集到的信号强度,可以看出,柱状图中最高的位置即代表了光斑中心所在 CCD 上的位置,从而经过一次采样后可以将 CCD 的位置分辨率确定在一个像素的精度。图 2(b) 为在第一次采样的基础上将 CCD 位置移动半个像素位置后再次进行采样的结果。可以看到,经过第二次采样同样可

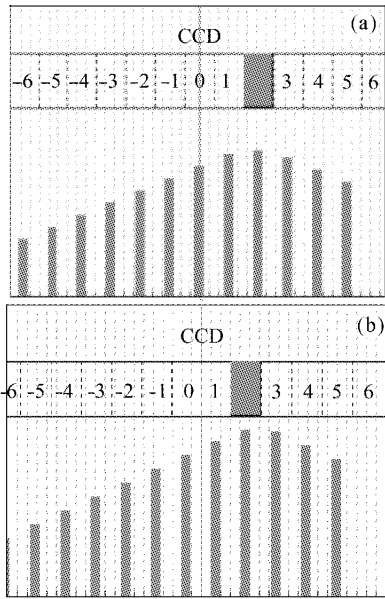


图 2 第一次采样(a)和第二次采样(b)的结果
Fig. 2 Results of first sampling (a) and second sampling (b)

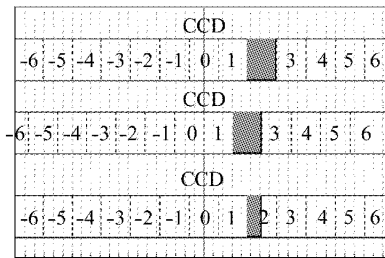


图 3 两次采样结果的叠加
Fig. 3 Analysis of twice-sampling

以将此时光斑的位置确定在某个像素上。图 3 是将两次采样的结果进行叠加处理的结果,其中上面两个实心小方框表示第一次和第二次采样时所确定的光斑位置,第三个实心方框表示的是经过叠加处理后可以将光斑的中心位置确定在某半个像素的位置(图中为第二个像素的左半边),即将精度提高到 $1/2$ 像素。上述的参数可以通过模拟界面进行不同的设置,从而得到不同参数下的模拟结果。从模拟的情况来看,所分析和利用的 CCD 多次采样理论是正确的、可行的。通过 CCD 的多次采样处理可以将 CCD 的分辨率进一步提高到亚像素,如 $1/4$ 像素, $1/8$ 像素等。

4 结 论

提出了一种有效提高 CCD 分辨率的多次采样处理方法。该方法是采用对 CCD 采集数据的多次

采样,进而叠加处理的方式,使得 CCD 的检测分辨率由一个像素提高到亚像素的精度。该方法在提高 CCD 分辨率的同时还可以在实施过程中抵消诸如散粒噪声、暗电流噪声起伏等噪声,从而使信噪比得到提高,改善了整个跟踪、瞄准和捕获终端检测系统的信噪比。从模拟情况来看,经过 CCD 两次采样的叠加处理,可以分辨出光斑的中心位置位于某个 CCD 像素的左侧还是右侧,即可以将 CCD 的分辨率提高到亚像素,即 $1/2$ 像素的精度。进一步利用多次采样的理论进行处理,可以将光电探测器 CCD 的分辨率提高到更高的精度,如 $1/4$ 像素, $1/8$ 像素。

参 考 文 献

- Toni Tolker Nielsen. Pointing, acquisition and tracking system for the free space laser communication system SILEX [C]. *SPIE*, 1995, **2381**:194~205
- Hu Yu, Liu Hua. Technology and development of free-space laser communication [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 1998, **27**(5): 453~460
- 胡渝,刘华. 空间激光通信技术及其发展[J]. *电子科技大学学报*, 1998, **27**(5):453~460
- Cao Yilei, Gao Chunqing. Analysis on the accuracy of beam parameter measurement by using CCD array [J]. *Optical Technique*, 2004, **30**(5):583~586
- 曹一磊,高春清. 基于面阵 CCD 的激光光束参数测量系统精度分析[J]. *光学技术*, 2004, **30**(5):583~586
- Wang Ling, Feng Huajun, Xu Zhihai. Evaluation of subpixel imaging quantity of CCD sensor based on modulation transfer function [J]. *J. Zhejiang University (Engineering Science)*, 2004, **38**(7):845~847
- 王凌,冯华君,徐之海. 基于调制传递函数的 CCD 亚像元成像质量评价[J]. *浙江大学学报(工业版)*, 2004, **38**(7):845~847
- Qian Lin, Ye Yan. Primary investigation on improving spatial resolution of CCD imaging [J]. *Optical Technique*, 2002, **28**(4):374~375
- 钱霖,叶燕. 一种提高 CCD 像元分辨率方法的初步探讨[J]. *光学技术*, 2002, **28**(4):374~375
- Yao Xincheng, Li Zhaolin, Guo Honglian *et al.*. A new method with CCD subpixel resolution [J]. *Chin. J. Scientific Instrument*, 2002, **23**(1):61~64
- 姚新程,李兆霖,郭红莲等. 一种实现 CCD 亚像元位移分辨率的新方法[J]. *仪器仪表学报*, 2002, **23**(1):61~64
- Chen Xiaoli, Feng Yong, Long Funian. Analysis on the subpixel dynamic imaging system of a high speed TDI CCD camera [J]. *Optical Technique*, 2004, **30**(1):74~77
- 陈晓丽,冯勇,龙夫年. 高速 TDI CCD 亚像元动态成像系统分析[J]. *光学技术*, 2004, **30**(1):74~77
- Kai M. Hock. Effect of oversampling in pixel arrays [J]. *Opt. Engng.*, 1995, **34**(5):1281~1287
- Hao Yuncai, Yang Bingxin, Zhang Guorui. Image quality of space line CCD camera with imaging methods of fine signal sampling [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(10):1408~1412
- 郝云彩,杨秉新,张国瑞. 线阵 CCD 相机细分采样成的像质研究[J]. *光学学报*, **2000**, **20**(10):1408~1412
- Chen Hongqiang, Li Jing, Li Weimin *et al.*. The study of simulation experiment using plane CCD to measure the micro-move of stars [J]. *Optical Technique*, 2000, **26**(5):454~456
- 陈鸿强,李静,李为民等. 用面阵 CCD 模拟测定星光漂移的方案研究[J]. *光学技术*, 2000, **26**(5):454~456