

文章编号: 1002-2082(2004)06-0009-03

空间光通信 APT 技术中 CCD 多次采样的分析与研究

张文涛¹, 朱保华²

(1. 桂林电子工业学院 电子工程系, 广西 桂林 541004;

2. 桂林电子工业学院 信息材料科学与工程系, 广西 桂林 541004)

摘要: 利用 CCD 器件进行光学检测, 普遍采用二值化的脉冲计数法, 即每个脉冲都代表了一个像元间距, 所以 CCD 的检测分辨率只能达到像元间距的大小。虽然在光学系统中可以采用增加系统放大倍数的方法来提高 CCD 的检测分辨率, 但是由于成像系统的像差、球差以及衍射效应的存在, 光学系统最多只能放大几十倍, 因此 CCD 的检测分辨率只能达到微米量级。为进一步提高 CCD 的检测分辨率, 本文提出了一种全新的方法, 即多次采样处理, 以此将 CCD 的分辨率提高到亚像元的精度。经过分析论证以及软件的仿真模拟, 证实了该方法的可行性。

关键词: 空间光通信; APT; 多次采样

中图分类号: TN386.5-34

文献标识码: B

The Analysis and Study of Multiple-sampling of CCD in the APT Technology of Optical Communication

ZHANG Wen-tao¹, ZHU Bao-hua²

(1. Dept of electronic engineering, GLIET, Guilin 541004, China;

2. Dept of information material science and engineering, GLIET, Guilin 541004, China)

Abstract: It is the method of pulse count that can be used to carry out the optical detection with CCD, and it is said that each pulse denotes a pixel, so the detective resolution only have one pixel. Although the detecting resolution can be enhanced by increasing the amplification ratio, the detective resolution only achieve micron level, since the existence of the aberration, spherical aberration and diffraction effect. In order to improve CCD's detective resolution ulteriorly, a new method of multiple-sampling is brought forward in this paper. With the method, the detective resolution can be raised to the level of sub-pixel.

Keywords: space optical communication; APT; multiple-sampling

1 CCD 多次采样理论分析

在光通信 APT 子系统中, 利用 CCD 对目标进行捕获和跟踪的过程中, 经过一段固定的观察时间 t 之后, 光电传感器 CCD 将其接收到的光信号转变成电信号。将 CCD 的每一个探测像元的输出收集起来并进行记数比较, 具有最大记数的那个探测像元即被认为是光信号的中心位置。单凭 CCD 的一次采样处理来判定目标在探测器上的成像位置, 其位置分辨率是很低的, 只能达到一个像元的精

度。在探测器面积一定的情况下, 要想提高 CCD 的位置分辨率, 只能依靠增加像元的个数 s , 减小每个像元的线度 p , 但是这样做在技术上实现起来是非常困难的。因此, 我们采用在技术上可以实现的 CCD 多次采样处理来提高目标光束的分辨率。下面以一维 CCD 为例进行研究和分析。

设 CCD 上每个探测像元的线度均为 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, 将输出信号进行记数并比

收稿日期: 2003-08-09; 修回日期: 2004-06-24

作者简介: 张文涛(1976-), 男, 山东济南人, 讲师, 现从事蓝绿激光对潜通信系统的研究工作。

较,就可以确定目标成像在哪个像元上,如图1(a2)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元的线度,即移动距离为 $\frac{p}{2}$;然后,再次对上述目标在探测器上的成像进行采样,经过这次采样处理后,也可以将目标

成像位置确定在某一个像元之上,如图1(b2)所示。将这2次采样结果叠加在一起,则可以将目标的成像位置确定在某半个像元内,从而将一个像元的精度提高到 $\frac{1}{2}$ 像元的精度,如图1(c)所示。

图1中,(a1)是目标成像强度在阵列上的分

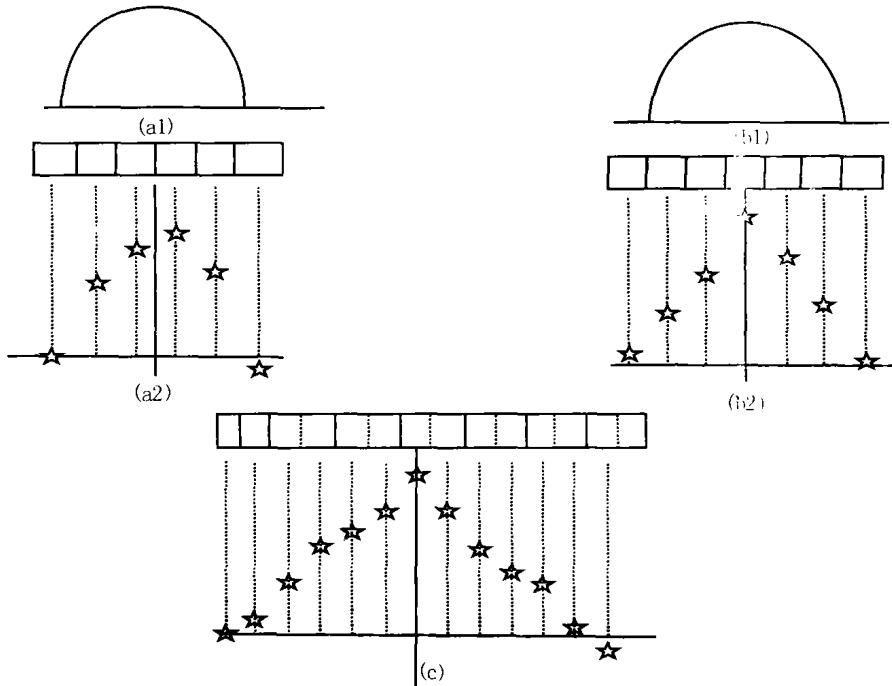


图1 CCD 的多次采样示意图

Fig. 1 Schematic diagram of multiple-sampling of CCD

布;(a2)是 CCD 每个像元对成像的采样;(b1)是阵列移动 $\frac{p}{2}$ 后,目标成像强度在阵列上的分布;(b2)是 CCD 每个像元对成像的第二次采样;(c)是将上述 2 次采样进行叠加处理的结果。

重复上述步骤,将 2 次叠加后的采样再次进行叠加,则可以进一步提高位置分辨率。由于背景光的影响,以及光路、电路和处理系统本身的精度有限,因此不能无限度地提高其分辨率。

对采样的数据进行处理时,设落在光电探测器 (CCD) 上的信号光和背景噪声光的强度分别为 I_s 和 α_B^2 , I_s 和 α_B 是空间坐标 (x, y) 及时间 t 的函数。在光束非常窄的情况下,有:

$$I_s = I_0 \delta(x - x_s) \tag{1}$$

式中, $\delta(x - x_s)$ 是狄拉克 δ 函数; x_s 是信号光束的实际位置; I_0 是已知的 y 与 t 的函数。我们的目的就是运用某一方法来估测 x_s' 的大致位置,以此来代表 x_s 的实际位置。为此,我们可以采用重心算

法来求出信号光在 CCD 探测器上的重心位置 x_s' , 即 x_s 的大致位置。CCD 采集到光斑信号后,经图像采集卡转换,变成一幅具有不同灰度等级的图像。为了计算光斑的重心坐标,在程序中打开一个 $n \times 1$ 的大数组: $A[n][1]$ 。把每个像素对应的灰度值 (0 ~ 255) 从原始的图像中读入到该数组中,其中 $A[i][1]$ 表示这一线阵 CCD 第 i 个像素的灰度值,它是该点处光信号强度的反映。得到灰度数组后,便可以用重心法求出重心的坐标:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n A[i, 1] \cdot i}{\sum_{i=1}^n A[i, 1]} \tag{2}$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \tag{3}$$

式中, X 为光斑在线阵 CCD 上的一维重心坐标 (图像的左上角为坐标原点的位置,即 $i=1$ 点处), 可采用标准偏 Δ (3 式) 来反映测量结果的精确度。

同时,我们还注意到 CCD 的多次采样叠加处理可以提高 CCD 在正常工作状态下的信噪比,即把一小段时间内采集到的图像叠加后,用信号强度将其成比例增加。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,从而提高信噪比。

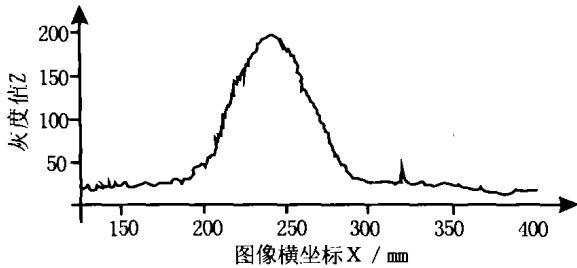


图 2 叠加前重心 O 附近采样信号的一维灰度图

Fig. 2 1D gray-image of sampling signal near the barycentric coordinate O before overlapping

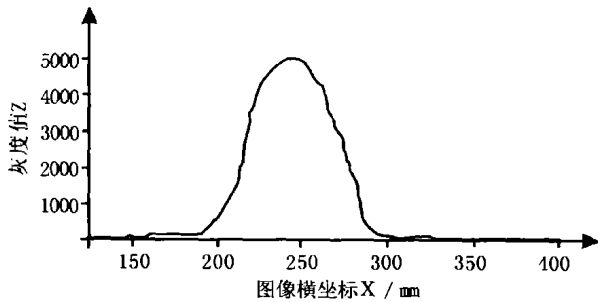


图 3 叠加后重心 O 附近采样信号的一维灰度图

Fig. 3 1D gray-image of sampling signal near the barycentric coordinate O after overlapping

2 CCD 多次采样的计算机随机数据模拟

下面是利用软件对 CCD 多次采样理论的随机

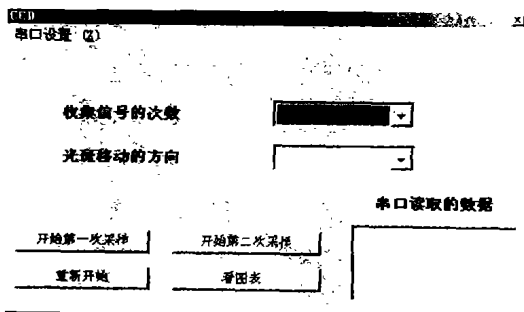


图 4 CCD 多次采样的计算机模拟界面

Fig. 4 Simulated interface of multiple-sampling with CCD

数据模拟。从模拟的情况看,所分析和利用的 CCD 多次采样理论是正确和可行的。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

元的精度,如 $\frac{1}{2}$ 像元、 $\frac{1}{4}$ 像元等。

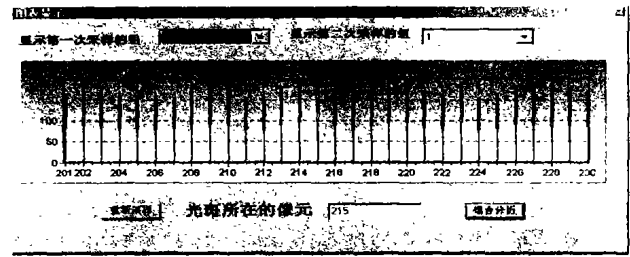


图 5(a) CCD 第一次采样模拟图

Fig. 5 (a) Simulating diagram of the first sampling with CCD

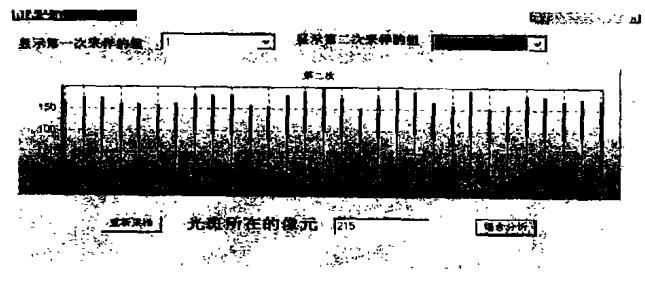


图 5(b) CCD 第二次采样模拟图

Fig. 5 (b) Simulating diagram of the second sampling with CCD

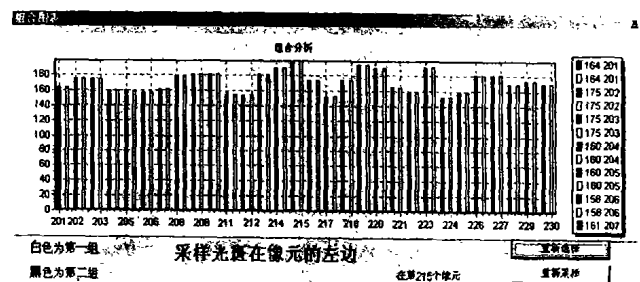


图 5(c) CCD 两次采样信号的叠加模拟图

Fig. 5(c) Simulating diagram of twice-sampling signal overlapping with CCD

3 结论

从上述模拟情况来看,经过 CCD 两次采样的叠加处理,可以分辨出光斑的中心位于某个 CCD 像元的左侧还是右侧,即可以将 CCD 的分辨率提高到 $\frac{1}{2}$ 像元的精度。进一步利用多次采样的理论进

(下转第 21 页)

- Baltimore: CLEO'99, 1999, CPD9/1-CPD9/2.
- [16] Fermann M E, Stock M L, *et al.* Wavelength tunable soliton generation in the 1400 ~ 1600 nm region using an Yb fiber laser [J]. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001, (2):1-3.
- [17] Carruthers T F, Horowitz M, *et al.* A dispersion-managed, harmonically mode-locked fiber soliton laser [R]. Baltimore, IEEE LEOS'99, 1999, (2):774-775.
- [18] Liem A, Limpert J, *et al.* Femtosecond fiber CPA system with high average power [R]. Long Beach: CLEO'02, 2002, (1):593-594.
- [19] Augst S J, Goyal A K, *et al.* Wavelength beam combining of ytterbium fiber lasers in a MOPA configuration [R]. Long Beach: CLEO'02, 2002, (1):594-595.
- [20] K Tamura, E P Ippen, H A and L E Nelson. 77 fs pulse generation from a stretched-pulse mode-locked all-fiber ring laser [J]. Opt Lett, 1993, 18: 1080-1082.
- [21] G Lenz, S B Fleischer, *et al.* 91-pJ, 73-fs pulses from a frequency-doubled stretched-pulse additive-pulse mode-locked fiber laser [R]. Anaheim: CLEO'96, 1996:30-31.
- [22] Wilcox R B, Browning D F, *et al.* Fiber DFB lasers as oscillators for high-power MOPA systems [R]. Baltimore: CLEO'99, 1999:243.
- [23] L Lefort, J H V Price, D J Richardson. Practical low-noise stretched-pulse Yb³⁺ doped fiber laser [J]. Opt Lett, 2002, 27:291-293.
- [24] M E Fermann, *et al.* Generation of a 0.5 W average power train of femtosecond pulses at 10 GHz in the 1.55 μm region [J]. Electron Lett, 1996, 32 (9):835-836.
- [25] 池灏, 曾庆济, 等. 光子晶体光纤的原理、应用和研究进展 [J]. 光电子·激光, 2002, 13(5):534-537.
- [26] H Lim, F O Ilday, F W Wise. Femtosecond ytterbium fiber laser with photonic crystal fiber for dispersion control [J]. Optics Express, 2002, 10 (25):1497-1502.
- [27] 侯洵. 超短脉冲激光及其应用 [J]. 深圳大学学报(理工版), 2001, 18(2):1-2.

(上接第11页)

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 $\frac{1}{4}$ 或 $\frac{1}{8}$ 像元。

参考文献:

- [1] Kai M Hock. Effect of oversampling in pixel arrays [J]. Optical Engineering, 1995, 34(5):1281-1287.
- [2] Toni Tolker Nielsen. Pointing, acquisition and tracking system for the free space laser communication system, SILEX [J]. SPIE, 1995, 2381:194-205.
- [3] 胡渝, 刘华. 空间光通信技术及其发展 [J]. 电子科技大学学报, 1998, 5(27):453-460.
- [4] 郝云彩, 杨秉新, 张国瑞. 线阵 CCD 相机细分采样成像像质研究 [J]. 光学学报, 2000, 20(10):1407-1411.
- [5] 陈鸿强, 李静. 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.