

# 大气湍流引发图像畸变的校正研究

钱雪彪\* 刘永智

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】用CCD(电荷耦合器件)拍摄远距离目标时,大气湍流使得图像发生畸变,导致CCD无法有效的用于远距离目标的识别与监控。由此该文分析了大气湍流的原理及对图像的主要影响,提出了克服大气湍流影响的有效方法,实验证明,取得较好的效果。

关键词 电荷耦合器件; 图像传感; 大气湍流; 图像畸变; 图像校正  
中图分类号 TN911.73 文献标识码 A

## Research of Correct Image Distortion Caused by Atmosphere Turbulence

Qian Xuebiao Liu Yongzhi

(State Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** The image will be distorted when we take the object's picture with CCD at long range because of atmosphere turbulence. We can't availably recognize and monitor long distance object for this reason. This article explained the theory of atmosphere turbulence and the main affection to image caused by atmosphere turbulence. The solution was given to correct image distortion. The effect of the solution is proved by experiment.

**Key words** charge coupled device; image sense; atmosphere turbulence; image distortion; correct

在传感领域基于(charge coupled device, CCD)的图像传感系统是当前研究的一大热点,该系统使用CCD摄取目标图像,通过图像处理得到所需信息,具有非接触、信息量大以及灵敏度高等优点,已经在图样识别、几何尺寸测量、位置测量等方面得到了广泛应用。但是到目前为止其应用都局限于短距离目标监测,而在大桥形变、山体滑坡等远距离监控领域却一直无法得到广泛的开展,这主要是由于CCD在获取远距离目标图像时受到大气湍流的影响,所得图像存在畸变,不能准确的再现目标的各种属性,会给最终的监测结果带来较大的误差。因此研究从受大气湍流影响的低质量图像中准确提取有用信息,并且有效克服大气湍流带来的噪声和误差是拓展CCD在远距离目标高精度监控领域应用的关键,具有相当重要的意义。本文将对大气湍流的成因及由其引发的图像畸变进行了深入的分析,提出了克服大气湍流影响的有效方法。

### 1 大气湍流效应对图像的主要影响

在大气中,任一点运动速度的方向和大小时刻发生着不规则变化,产生了各个大气分子团相对于大气整体平均运动的不规则运动,这种现象称为大气湍流<sup>[1]</sup>。大气湍流会引起空气中任意位置折射率的随机变化,导致光束在同一路径的空气中传播却有着不同的折射率,使得接收到的信号存在着闪烁现象。由湍流引起

2002年12月24日收稿

\* 男 24岁 博士生 主要从事光通信与光传感方面的研究

的信号闪烁  $d_s^2$  由下式表示<sup>[2]</sup>

$$d_s^2 = 3.44 \left( \frac{D}{2} \right)^{-7/3} \int_0^R (R-Z)^2 C_n^2 dz \quad (1)$$

式中  $R$  为传输路径长度,  $D/2$  为接收孔径,  $z$  为离地面高度,  $C_n^2$  为湍流强度。由式(1)可知当湍流强度很小或传输路径很短时, 影响可忽略不计。但在室外通常存在着较强的大气湍流, 当传输路径较长时, 就会导致接收到的信号存在着较强的闪烁现象。主要表现为信号的强度和位置的随机闪烁。

分析大气湍流对图像带来的影响, 可归为时域和空域两方面。在时域内, 大气湍流引起接收信号强度随时间随机涨落, 导致任意时刻采集到的图像具有不同的亮度, 当接收视场比较大时表现为图像本身各个部分的亮暗不均, 类似于光照不均匀拍到的图像。空域的影响主要表现为由湍流引起的光束随机漂移, 会导致像点的抖动, 使得图像整体发生随机的漂移。

## 2 图像在时域内受大气湍流影响的克服方法

大气湍流在时域内对图像的影响加大了从图像中提取目标的难度。目前的大多数目标提取算法都不能适用<sup>[3]</sup>, 而使用当前在图像分割领域中适应性最强的类别方差自动门限法(Otsu)同样也不能取得很好的效果。这是因为受湍流影响图像的每个部分亮暗不均, 不能靠全图统一的阈值来有效的提取目标, 一个能够把图中相对较亮区域的目标和背景很好分割的阈值, 用在图中相对较暗的区域就可能把该区域部分或者全部目标判为背景。这种严重的误判使得从图像中提取出来的目标与真实目标有较大偏差, 严重的影响最终监测结果的准确性。

为了克服大气湍流的这种影响, 本文借鉴文献[4]针对光照不均匀文本图像提出的局部阈值化设想以及文献[5]提出的自适应阈值确定方法, 为受湍流影响图像的目标提取设计了一种新的算法。

考虑到一般用做远距离监控用途的图像都有一个经过实验确定的标准先验值, 在进行目标提取时可以根据先验值把图像先分成几个区域, 每个区域都含有部分目标和背景, 再分别对每一个区域进行阈值分割。由于小区域内部可以近似看作亮度均匀, 而每个区域的阈值都是由本区域的特征确定, 因此可以保证每个区域内部的分割结果基本准确。最后把每个区域分割出来的目标拼合在一起就得到了整幅图像的分割结果。下面讨论每个区域内部的阈值确定方法。

设图像共有  $L$  个灰度级, 灰度为  $i$  的像素共有  $n_i$  个, 图像共有  $N$  个像素, 归一化直方图, 灰度为  $i$  的像素数占总像素数目的比例为

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad \sum_{i=0}^{L-1} P_i = 1$$

设阈值为  $t$ , 将图像灰度值分为两类:  $C_0 = \{0, 1, 2, \dots, t\}$ ,  $C_1 = \{t+1, t+2, \dots, L-1\}$ , 则  $C_0, C_1$  类出现的概率和均值可由下式给出

$$W_0 = \sum_{i=0}^t P_i = W(t) \quad W_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} P_i = 1 - W(t)$$

$$U_0 = \sum_{i=0}^t iP_i / W_0 = U(t) / W(t), \quad U_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} iP_i / W_1 = [U(L) - U(t)] / [1 - W(t)]$$

式中  $U(t) = \sum_{i=0}^t iP_i$   $U(L) = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i$

对任何  $t$  值, 下式都能成立:  $U_0 W_0 + U_1 W_1 = U(L)$ ,  $W_0 + W_1 = 1$ 。

$C_0$  和  $C_1$  类的方差可由下式给出

$$D_0 = \sum_{i=0}^t (i - U_0)^2 \frac{P_i}{W_0} \quad D_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - U_1)^2 \frac{P_i}{W_1}$$

定义类内方差  $D_w = W_0 D_0 + W_1 D_1$

定义类间方差  $D_B = W_0 [U_0 - U(L)]^2 + W_1 [U_1 - U(L)]^2 = W_0 W_1 (U_1 - U_0)^2$

定义总体方差  $D_T = D_w + D_B$

用数理统计的观点来分析, 如果阈值选择得当, 分割得到的两类  $C_0$  和  $C_1$ , 应该具有最小的类内方差和

最大的类间方差,把 $t$ 从 $0 \sim L-1$ ,分别计算出类间方差 $D_B$ ,在这些 $D_B$ 中最大值所对应的 $t$ 就是图像分割所需要的最佳阈值。

为了验证上述算法的效果,本文以远距离拍摄四只激光器所获得的图像为样本,如图1所示,分别用Otsu法和本文设计的算法对其进行了图像分割处理,图2、3给出了处理之后的效果图。由图2可以看出,用Otsu法对受大气湍流影响后的图像进行分割效果非常不理想,难以满足图像后续处理的需要。而图3的结果说明本文设计的算法更有效的克服大气湍流对图像带来的影响,可从受大气湍流影响后的低质量图像中相当准确的提取出目标,为后续的图像处理奠定良好的基础。



图1 目标原图



图2 用Otsu法对图1二值化



图3 本文方法对图1二值化

从图像的比较可以看出用本文设计的算法来克服大气湍流在时域内对图像带来的影响是可行的,并且具有相当的应用价值。

### 3 图像在空域内受大气湍流影响的克服方法

空域的影响主要表现为由湍流引起的光束随机漂移,光束漂移会导致目标像点在图像上位置发生随机抖动。这种影响对于远距离目标形变与微小位移监测系统危害极大。因为像点的随机漂移会被误认为真实目标的移动,造成虚警现象。对于这种误差可以采取数字平均的办法来克服。

假设目标重心在图像中的位置为 $P_0$ ,而大气湍流带来的随机位置漂移为 $e_i$ ,则处理每幅图像最终得到的目标重心应该为 $P_i = P_0 + e_i$ ,其中 $e_i$ 为第 $i$ 幅图像中由大气湍流带来的随机位置漂移。假设连续采集 $N$ 幅图像,可以求得平均值为

$$P_v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_0 + e_i) = P_0 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i$$

式中 $e_i$ 为随机变量,互不相关,所以当 $N$ 取得足够大时, $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i$ 将趋近为0。则可得到 $P_v = P_0$ 。可见连续采集多幅图像求平均的办法可以有效的克服大气湍流带来的图像漂移。

### 4 结 论

大气湍流对图像带来的恶劣影响是制约CCD广泛用于远距离目标监控的主要因素,本文深入分析大气湍流对图像带来的影响,并且提出了有效的解决方案,已经初步应用于山体滑坡的监测系统中,实验证明有一定的应用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 伏耶祖也夫. 激光的大气传播[M]. 绵阳: 中国工程物理研究院, 1990
- [2] 戴永江. 激光雷达原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002
- [3] Pal Nikhil R, Pal Sankar K. Review on image segmentation techniques[J]. Pattern Recognition. 1993, 26(9): 1 277-1 294
- [4] 叶芎芸, 许 磊. 文本图像的快速二值化方法[J]. 红外与毫米波学报, 1997, 16(5): 344-356
- [5] Chan F H Y, Lam F K, Zhu Hui. Adaptive thresholding by variational method[J]. Image Processing. 1998,7(3): 468-473

编 辑 孙晓丹