

文章编号 1000-5013(2001) 03-257-04

雾中成像实现的一个思路

陈为忠 庄其仁 张文珍 戴再平

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362011)

摘要 在子弹光成像理论的基础上, 应用 CCD 器件, 结合自适应滤波理论, 提出一种雾中成像系统的设计思路. 原始输入信号和参考信号经自适应抵消器滤波后, 消除蛇行光信号和噪声信号, 得到子弹光信号, 最后在监视器上输出清晰的图像.

关键词 雾中成像, 自适应, CCD 器件, 子弹光

中图分类号 O 431.2: TN 256

文献标识码 A

在云雾天气交通的改善、抢险救灾活动的实行, 以及现代战争中光电对抗技术的发展等中, 高噪光背景条件下物像提取具有重要的作用. 它可以利用多次散射理论^[1]、辐射传输理论^[2]和子弹光成像理论^[3]进行分析. 本文是在子弹光成像理论的基础上, 应用 CCD 器件, 结合自适应滤波理论, 提出一种雾中成像实现的设计思路.

1 理论分析

1.1 子弹光成像理论^[3]

众所周知, 光既具有粒子性, 又具有波动性. 子弹光理论是基于光的粒子性. 它将光在烟雾介质中的传输行为, 简化成光子与介质中的分子或粒子是否发生相互作用的过程. 如果光子与介质中的分子或粒子发生了相互作用, 并且改变了原来的运动方向或者偏振方向等状态, 这样的光子叫做蛇行光; 反之, 叫做子弹光. 子弹光上载有最初的物像信息. 由于光的散射与吸收, 子弹光被淹没在蛇行光中. 我们希望消除蛇行光的影响, 提取子弹光进行成像, 有效地提高光学能见度. 当一超快平面光波入射到某一厚度为 Z 的平板随机介质后, 全部漫射光强 I_t 为

$$I_t = \frac{\sin\left[\frac{3d^2/l_a(1-Z/d)}{2\sinh}\right]}{3d^2/l_a}, \quad (1)$$

式中 $d = Z + 2Z_0$, $Z_0 = 0.714 l_t$, l_t 为光子平均传输自由程, c 为光速, Z 为随机介质厚度, l_a 为吸收长度. 接收立体角为 Ω 的探测器, 其所接收到的部分漫射光强 I_{tf} 为

$$I_{tf} = I_t \Omega \quad (2)$$

另外, 载有最初的物像信息的子弹光在烟雾介质中传播时, 光强度函数 I_c 为

$$I_c = f \exp\left[-Z\left(\frac{1}{l_s} + \frac{1}{l_a}\right)\right], \quad (3)$$

式中 l_s 为光子平均散射自由程, f 为实验检测系统能有效接收份额的系数. 当光子在介质中传输时, 如果光子与介质分子或粒子的碰撞次数足够多. 那么, 光子平均散射自由程 l_s 为

$$l_s = 1/n\sigma_s, \quad (4)$$

其中 σ_s 为烟雾粒子的散射截面. 它与烟雾粒子直径 D_μ 的关系为

$$\sigma_s \propto \pi D_\mu^2/2. \quad (5)$$

1.2 自适应原理^[3]

自适应滤波器是以最小均方误差为准则的最佳过滤器, 它能自动调节本身的单位样本相应特性 $h(n)$, 以达到最优化. 设计自适应滤波器时, 可以不必预先知道信号与噪声的自相关函数. 而且在滤波过程中, 信号与噪声的自相关函数及时随时间作慢变化, 也能自动适应, 自动调节到满足最小均方误差的要求. 正是因为自适应滤波器具有以上许多的优点, 所以在许多工程实践的信号处理中, 自适应滤波器已经得到了广泛的运用. 本文主要是讨论将它作为自适应抵消器的应用. 图1是一个自适应抵消器的原理图, 该抵消器有原始输入和参考输入. 其原始输入为受干扰的信号, 即

$$x(n) = s(n) + v_0(n). \quad (6)$$

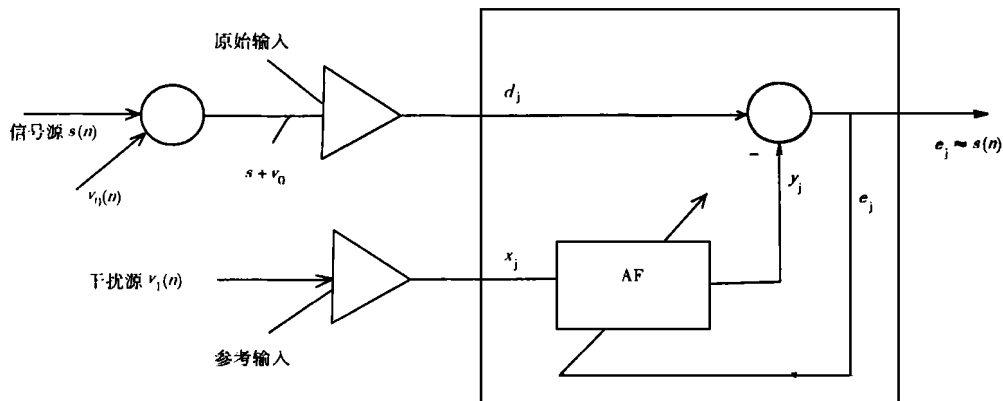


图1 自适应抵消器

而参考输入与干扰信号 $v_0(n)$ 相关, 但与有用信号 $s(n)$ 不相关的干扰 $v_1(n)$. 原始输入加在 d_j 端, 参考输入加在 x_j 输入端. 则抵消器的输出 e_j 为

$$e_j = d_j - y_j = s + v_0 - y_j. \quad (7)$$

在图1中, 自适应滤波器 AF 接受误差 e_j 的控制来调整它的频率响应参数 w_j , 使得它的输出 y_j 趋向于等于 d_j 中与它相关的 v_0 . 于是, e_j 作为 d_j 与 y_j 之差, 就接近等于信号 $s(n)$.

2 系统设计

CCD 器件是一种高性能、固体化的光电图像传感器^[6]. 从结构上看, 它是由许多个光敏像元组成, 光电转换时产生的光生电荷存储在势阱中. 光生电荷的多少与入射光子的数量(即入

射光的强度) 有关. 在外加驱动脉冲的作用下, 实现信号电荷的转移和读出, 把一幅空间域分布的光学图像, 变化成一系列按时域分布的离散信号电压. 另外, 它体积小、重量轻、功耗低、可靠性高、寿命长、分辨率高. 同时, 它具有数字扫描能力和理想的扫描线性, 可以进行像素寻址(像元的位置用数字代码确定)、变换扫描速度, 与计算机结合十分方便. 目前, CCD 器件已经在许多测量领域中得到广泛的应用, 例如在高空精密定位系统⁶⁾、光学图像监控⁷⁾等系统中的应用. 本系统设计中, 采用 CCD 摄像机来采集图像信号.

依据上述原理, 设计一个雾中成像的自适应系统, 从蛇行光信号以及其它散射光信号中有效地提取子弹光信号进行成像. 系统组成如图 2 所示. 整个系统由两台 CCD 摄像机、两个帧存储器、D/A 和 A/D、数字图像处理、时序发生及控制电路、自适应抵消器和监视器等几个部分共同组成.

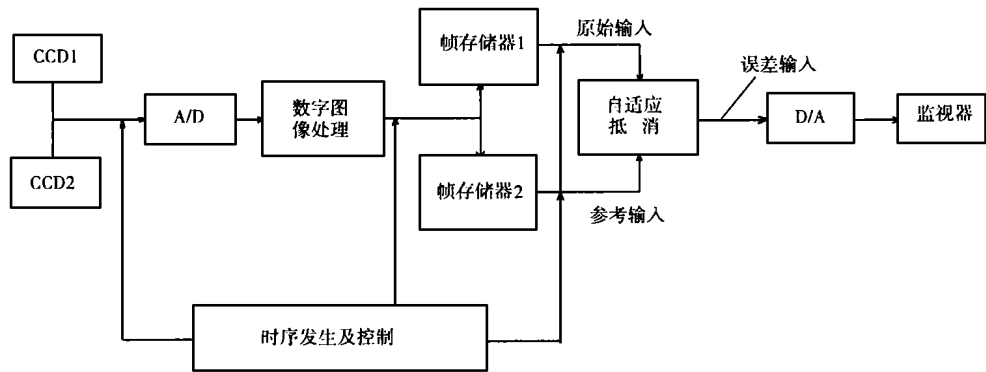


图 2 雾中成像自适应系统的方框图

该系统的工作原理是: 首先用两台 CCD 摄像机, 分别采集目标物体的图像信号和参考背景的图像信号. 摄像机 CCD1 负责采集子弹光信号、蛇行光信号和其它噪声信号, 利用光电转换, 将各种光信号转化为模拟电信号. 经数值化处理(A/D), 转化成数字信号. 该数字信号再经过数字图像处理(如同态滤波、锐化处理)后, 消除部分背景光信号和其它噪声光信号的影响, 然后进入帧存储器 1 中储存. 摄像机 CCD2 负责采集的是蛇行光信号和其它噪声信号, 使得摄像机 CCD1 接通时, CCD2 中断, 并且信号经过处理后存储在帧存储器 1 中. 摄像机 CCD2 接通时, CCD1 中断, 信号经过处理后存储在帧存储器 2 中. 同时, 该电路还向帧存储器 1, 2 的输出端提供同步脉冲, 使两个帧存储器中的数据同时进入自适应抵消器中.

该设计的优点是, 充分发挥 CCD 摄像机高性能的光电成像数字化的优势, 并有机地结合了自适应滤波器的对数字信号进行处理的优点. 它即不需要预先知道子弹光信号、蛇行光信号, 以及其它噪声信号的统计特性. 当信号的统计特性与噪声的统计特性变化时, 自适应滤波器能够自动地调节它的冲激响应特性, 以适应新的变化.

3 计算机仿真

功能强大的 MATLAB 语言⁸⁾应用范围十分广泛, 几乎覆盖了所有的科学与工程计算领域, 如仿真技术、自动控制、数字信号处理和数字图像处理等等. 本系统采用了 MATLAB 语言进行计算机仿真, 结果如图 3 所示. 图 3(a) 是一幅数字图像, 图 3(b) 是在图 3(a) 的基础上叠加

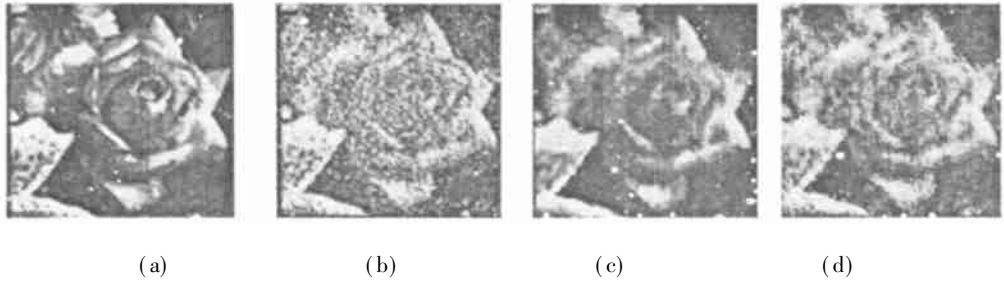


图3 计算机仿真图

高斯噪声来模拟雾中的图像. 经过自适应滤波之后, 得图 3(c). 可以看出, 相对于图 3(b), 图 3(c) 就显得平滑、清晰. 图 3(d) 是再经过对比度增强后的图像. 计算机仿真结果表明, 雾中成像经过自适应滤波处理之后, 变得更加清晰、光滑. 雾中成像的这个思路是可行的.

参 考 文 献

- 1 Mudgeett P S, Richards LW. Multiple scattering calculations for technology[J]. Appl. Opt., 1971, 10 (7): 1 485 ~ 1 502
- 2 Akira I. Wave propagation and scattering in random media[M]. New York: Academic Press, 1978. 362 ~ 363
- 3 Sui Chenghua, Xu Zhijun. A new method of analyzing imagings in fog[J]. Chinese Journal of Lasers, 1998, 7: 616 ~ 620
- 4 王宏禹. 随机数字信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 415 ~ 427
- 5 蔡文贵, 李永远, 许振华等. CCD 技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1992. 1 ~ 6
- 6 陈彩光, 刘丹峰. 线阵 CCD 高空精密定位系统的研究[J]. 长春光学精密机械学院学报, 1999, (1): 34 ~ 38
- 7 纪玉峰, 兰举生, 郝沛明等. 光学图像监控系统[J]. 光电子技术与信息, 1996, (1): 14 ~ 18
- 8 陈桂明, 张明照, 戚红雨等. 应用 MATLAB 语言处理数字信号与数字图像[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 225 ~ 270

A Thinking on How to Realize Imaging in Fog

Chen Weizhong Zhuang Qiren Zhang Wenzhen Dai Zaiping

(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A thinking on the design of imaging system in fog is advanced on the basis of the theory of ballistic light imaging. It is advanced in combination with the theory of adaptive-filtering. The system is designed by applying charge-coupled device. After filtering originally input signal and reference signal by adaptive-canceller and eliminating serpentine light signal and noise signal, a clear image displayed on the monitor finally.

Keywords imaging in fog, adaptation, charge-coupled device, ballistic light