

# 一种基于直方图的非线性失真测量和校正方法

刘西云, 杨 杨, 明 军

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

**摘 要:**针对非线性校正存在着的计算精度和速度的矛盾,依据数字图像处理点运算的直方图均衡化算法,建立一种基于查表法的非线性失真测量方法。该算法通过软件实现,首先将一幅均衡化图像通过非线性系统,根据输入、输出图像直方图得到非线性系统灰度变换函数及其反函数,进一步建立灰度转换表;再根据灰度转换表,还原原始图像,实现非线性系统校正。实验结果表明,算法具有精度高和运算速度快的特点,对校正非线性失真引起的灰度变化有较高的有效性。

**关键词:**直方图;非线性;系统校正

**中图分类号:** TN911.73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2010)08-0009-03

## A Histogram - Based Non - Linear Distortion Measurement and Correction Methods

LIU Xi-yun, YANG Yang, MING Jun

(Ministry of Education Key Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing,  
Anhui University, Hefei 230039, China)

**Abstract:** For the contradiction between the calculation accuracy and speed in the processing of non-linear correction, based on the histogram equalization algorithm in digital image processing point-computing, this paper establishes a nonlinear distortion measurement method based on a look-up table to achieve non-linear system correction. This algorithm achieved through software implementation. First put an equalization image through the non-linear system, according to the input and output image histogram to get the non-linear system gray-scale transformation function and its inverse function, and further establish the gray scale conversion tables; Then according to gray scale conversion tables, restore the original image achieve nonlinear system correction. Experimental results show that the algorithm has a high accuracy and a fast computing speed, and the changes in gray caused by the correction of non-linear distortion have a high effectiveness.

**Key words:** histogram; nonlinear; system calibration

## 0 引 言

在图像处理设备中,由于元器件存在着不可避免的非线性,会造成与图像幅度相关的多种失真<sup>[1]</sup>。如与亮度幅度有关的亮度和色度失真,以及与色度幅度有关的亮度和色度失真。传统的非线性测量方法是通过比较阶梯信号中各个阶梯的幅变来进行测量,这种基于硬件的测量方式,因阶梯数量有限,测量精度不高,带来的测量误差相对较大。而非线性校正通常采用准线性方法,虽然提高了速度,但存在计算精度降低的问题。采用高阶泰勒级数展开,由于计算量迅速增加,往往是不现实的。对此,提出了不少新的方

法<sup>[2~9]</sup>,文献[2]提出了在测量前,首先测出系统的输入输出特性,即进行实时在线自动校正,然后按校准后的输入输出特性进行测量的方法;文献[3]利用预先产生失真来校正电路原有失真的方法;文献[4]利用非线性的反函数校正理论和构造反函数发生器的方法。文中给出的基于直方图的非线性失真测量算法通过软件实现,将一幅均衡化图像通过非线性系统,根据输入、输出图像直方图得到非线性系统灰度变换函数及其反函数,进一步建立灰度转换表;再根据灰度转换表,还原原始图像,实现非线性系统校正。直方图的计算可以用非常低的代价来完成,使图像处理的时间大为缩短。

## 1 数学模型的建立

图像的灰度统计直方图  $H(D)$  为一维离散函数,

收稿日期:2009-12-25;修回日期:2010-03-16

基金项目:国家自然科学基金(60872162)

作者简介:刘西云(1985-),女,硕士生,研究方向为视频处理;明军,教授,从事视频处理方向的教学和研究。

归一化的直方图定义为:  $H(D_k) = \frac{n_k}{n}$ , 式中  $n = \sum_k n_k$  为图像总的像素数目, 一个归一化的直方图其所有部分之和应等于  $1^{[10]}$ 。

设输入图像  $A$  与失真图像  $B$  有非线性关系  $D_B = f(D_A)$ , 反变换函数为  $D_A = g(D_B)$ ,  $D_m$  为灰度级的最大值。依据点变换算法分析, 变换前后对应灰度等级数目相等, 需保证  $f(D)$  和  $g(D)$  在  $0 \leq D \leq D_m - 1$  范围内是个单增函数, 使图像灰度级次序不变, 且逆变换存在。即  $H_A(D_A)dD_A = H_B(D_B)dD_B$ , 有  $\frac{dD_B}{dD_A} = f'(D_A) = \frac{H_A(D_A)}{H_B(D_B)}$ ,  $\frac{dD_A}{dD_B} = g'(D_B) = \frac{H_B(D_B)}{H_A(D_A)}$ , 由此经积分可以得到基于直方图的正变换和反函数关系:

$$D_B = f(D_A) = \int_0^{D_A} \frac{H_A(D_A)}{H_B(D_B)} dD_A$$

$$D_A = f(D_B) = \int_0^{D_B} \frac{H_B(D_B)}{H_A(D_A)} dD_B$$

离散化得到

$$D_B = f(D_A) = \sum_0^{D_A} \frac{H_A(D_A)}{H_B(D_B)}$$

$$D_A = g(D_B) = \sum_0^{D_B} \frac{H_B(D_B)}{H_A(D_A)} \quad (2)$$

为保证变换前后灰度值动态范围的一致性, 可以采用均衡化算法。当  $A$  为均衡化图像时, 有  $H_A(D_A) = \frac{1}{D_m}$ , (2) 式可写为:

$$D_A = g(D_B) = D_m \sum_0^{D_B} H_B(D_B) \quad (3)$$

(3) 式是一个累加求和的关系, 由此可以得到递推关系:

$$g(D_B) = g(D_B - 1) + D_m H_B(D_B) \text{ 且 } g(0) = D_m H_B(0) \quad (4)$$

(4) 式给出的转换关系, 满足斜率有限的非减函数, 因而是有效的。(4) 式给出了输入与输出图像灰度反函数转换关系, 即在所有灰度等级, 对于每一个输入  $D_B$ , 四舍五入取整后, 可以建立的一个  $D_A = g(D_B)$  对应的整数型数据表。实际处理可以依据整数型数据表进行转换, 例如, C 语言编程语句为 `for(i = 0; i < sizeX, i++){for(j = 0; j < sizeY, j++){k = DB[i][j]; DA[i][j] = g[k];}}`。由于(4)式以  $D_m$  进行归一化, 整数型数据表的存储空间和计算精度取决于  $D_m$  数值的选择。

此外, 该方法避开了正变换函数的计算问题。在实际系统应用中, 建立的灰度转换表占用存储空间较小, 查表法结构简单, 提高了计算速度, 有利于提高系统工作的稳定性和可靠性。

## 2 测量和校正方法

基于上述模型, 采用下述方法实现非线性度的测量和图像还原。第一步, 测量非线性系统的灰度反变换函数  $g(D)$ 。如图 1, 信号发生器产生一幅 256 级均衡化灰度测试图像  $A$ , 一路经过非线性系统  $f(D)$ , 得到一幅失真图像  $B$ , 然后计算得到  $B$  的直方图  $H_B(D_B)$ ; 另一路直接计算得到  $A$  的直方图  $H_A(D_A)$ 。根据(3)式, 由  $H_A(D_A)$  和  $H_B(D_B)$  就可得到灰度反变换函数  $g(D)$ , 进一步求出输入、输出图像灰度转换表。第二步, 实现非线性系统的校正, 如图 2。根据输入、输出图像灰度对应值, 通过查表法, 实现非线性系统的校正, 此时输出图像为校正图像。校正系统可兼容实现数字和模拟系统的非线性校正。

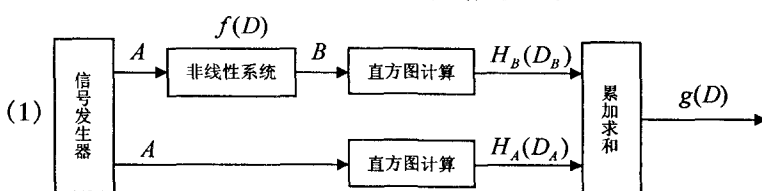


图 1 校正函数测量框图

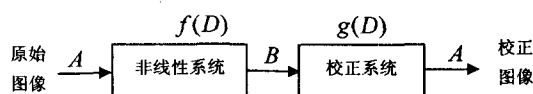


图 2 实时校正结构框图

实验采用均方差作为衡量原始图像与还原图像误差的系统指标。其定义式为

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [L_o(i, j) - L_l(i, j)]^2}$$

$L_o(i, j)$  为校正图像在点  $i, j$  位置的亮度,  $L_l(i, j)$  为输入图像在点  $i, j$  上的亮度,  $M, N$  为图像的水平像素数和垂直像素数。试验测得三幅图像在  $\gamma$  取不同值时的均方误差, 表 1 所示的是失真图像误差与恢复图像的误差。由表可以看出: 恢复图像的误差比失真图像的误差要小得多, 两者相差可达到两个数量级。

表 1 基于直方图非线性失真测量和校正的实验结果

非线性失真指数	256 标准灰度级		cameraman		lena	
	失真图像均方误差	恢复图像均方误差	失真图像均方误差	恢复图像均方误差	失真图像均方误差	恢复图像均方误差
0.02	140.9922	14.8016	143.8186	15.7791	159.7725	13.727
0.1	118.3925	3.0529	119.3922	2.906	135.9205	2.3839
0.4	60.3218	0.64651	59.5889	0.58162	70.604	0.5129
0.7	24.6006	0.35904	24.644	0.36399	28.7474	0.2825
1.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1.5	27.9528	2.8702	30.15	2.8282	31.818	2.8483
2.0	46.7102	10.4446	52.1712	10.0865	52.0929	10.4801

图 3 给出了在  $\gamma$  等于 0.4 时, 均衡化 lena 女郎图像非线性失真和恢复图像。另外图 4 给出了在  $\gamma$  等于 0.4

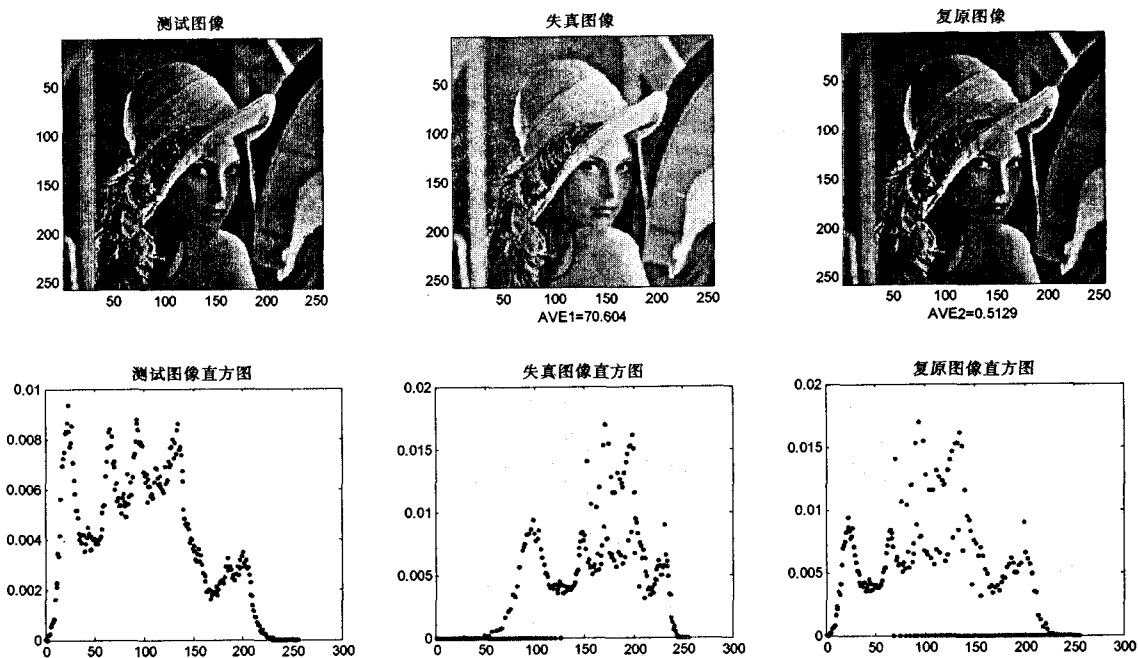


图 3  $\gamma$  等于 0.4 时, lena 女郎图像非线性失真和恢复图像

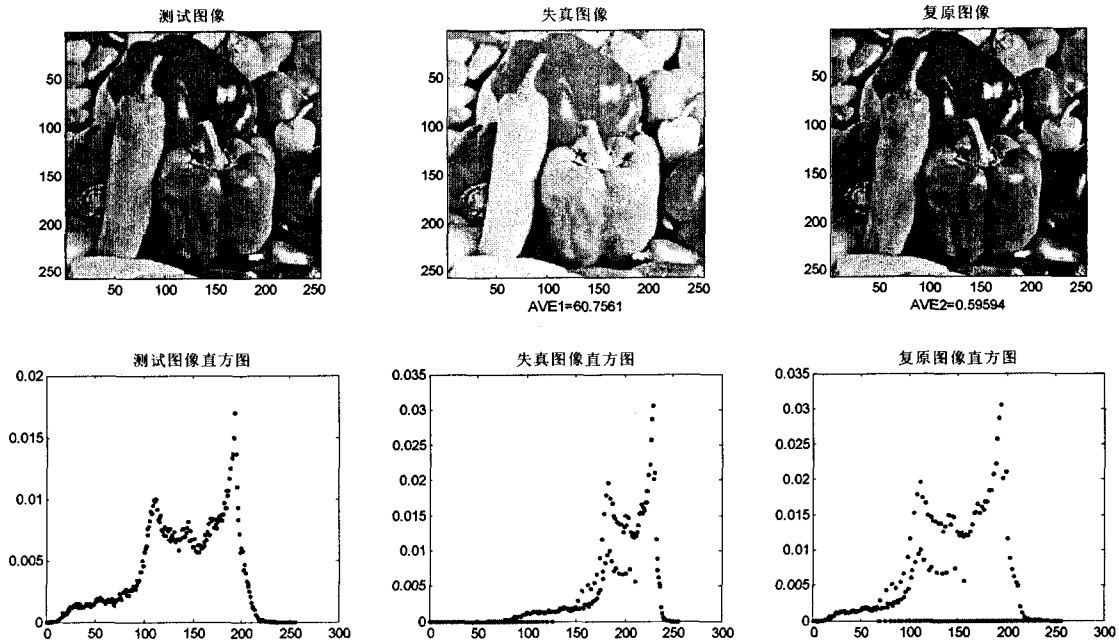


图 4  $\gamma$  等于 0.4 时, 彩色图像的非线性失真和恢复图像

时,彩色图像的非线性失真图像和恢复图像,可以看出文中的方法对彩色图像同样适用,只需将彩色图像按照  $R, G, B$  三个通道分别进行校正即可。

### 3 结束语

文中给出的算法全部由软件实现,只需静态测量一次非线性变换函数,通过查表法实现失真图像的校正,同时避开反函数的计算问题,运算速度快,有较高的实时性和有效性。由(3)式可以看出,求解灰度变换函数的过程恰为图像均衡化的逆过程,所以可以通过

提高直方图均衡化算法<sup>[11,12]</sup>来提高非线性失真恢复图像的质量。

#### 参考文献:

- [1] 明 军. 电视测量原理[M]. 北京:航空工业出版社,1995: 52-56.
- [2] 徐开友, 李维祥. 非线性测量系统实时在线自动校正[J]. 南开大学学报:自然科学版, 2001, 34(2): 124-125.
- [3] 张佳骥. 非线性失真的预失真校正分析[J]. 无线电通信技术, 1998, 24(6): 50-52.

client\_addr, &tmp\_addr\_len)

//调用 read()和 write()函数,分别负责接收和发送用户数据

read(tmpClientSock, tmpLogInfo, MAX\_LOGIN\_FO\_LENGTH)

write(tmpClientSock, tmpLogInfo, MAX\_LOGIN\_FO\_LENGTH)

#### (5)系统实现工作流程。

服务器主要进程监听设定的端口,一旦有浏览器的请求到达,则建立连接并返回新的套接字描述符,并交给子进程。子进程读取请求,并分解 URI(Uniform Resource Identifier)和请求方法<sup>[10]</sup>,再由所请求文件扩展名对应的 MIME 类型判断,如是静态文本则直接读取并发送给浏览器;如是 CGI 脚本,则新开一个子进程执行该脚本,处理脚本运行结果并返回浏览器;在一定时延无后续请求则关闭该连接。

C/S 模式过程中服务器处于被动服务的地位。首先服务器方要先启动,并根据客户请求提供相应服务<sup>[12]</sup>。服务器工作过程如下:

打开通信通道 1→等待客户端请求 2→服务端接收到客户请求 3→返回第 2,等待下一客户 4→关闭服务器 5。

客户端工作过程:打开通信通道 1→向服务器发送请求报文 2→请求结束后关闭通信通道。

## 4 结束语

无线自组织网络(Ad Hoc)是当前无线通信领域一种新的、正在发展的网络技术,它正在迅速地从军事通信渗透到相关的民用通信领域。它的特点是无需常规的基础设施的支持,组网灵活方便,这种技术拓宽了移

动通信的应用领域,具有广阔的发展前景。文中充分利用 Ad Hoc 网络方便灵活的特点,提出了一种嵌入式无线视频监控系统。通过系统测试,验证了整个系统设计的正确性、可行性,对于利用 Ad Hoc 网络组建视频监控系统提供了很好的参考价值,具有一定的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 郑相全. 无线自组织网技术实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] IEEE Std. 802. 16 - 2004, IEEE standard for local and metropolitan area networks - Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems[S]. 2004.
- [3] 罗世伟. 视频监控系统原理及维护[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [4] 梁笃国,张艳霞,郑泽民,等. 网络视频监控技术及应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.
- [5] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准—H. 264/AVC[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [6] 毛德操,胡希明. Linux 内核源代码情景分析[M]. 杭州:浙江大学出版社,2001.
- [7] Benthon J. TCP/IP Lean: Web Servers for Embedded Systems[M]. 2nd ed. [s. l.]:CMP,2009.
- [8] 许信顺,贾智平. 嵌入式 Linux 应用编程[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [9] Moon S B, Skelly P, Towsley D. Estimation and Removal of Clock Skew form Network Delay Measurements[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM Conference on Computer Communications. [s. l.]:[s. n.],1999:227-234.
- [10] 周巍松. Linux 系统分析与高级编程技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [11] 谢希仁. 计算机网络[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [12] 厉小军. WEB 编程技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

(上接第 11 页)

- [4] 冯之敬,刘金陵,潘尚峰,等. 测量与控制系统中非线性特性的不失真线性化方法[J]. 清华大学学报,1996,36(8):18-23.
- [5] 刘明珠,葛纯紫. 非线性失真的准确测量[J]. 上海航天,2004(3):56-60.
- [6] 宁伟,卿熙宏,陶华学. 基于共轭梯度法和最速下降法的非线性测量数据处理[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2004,23(4):5-7.
- [7] Vijayan Asari K, Kumar S, Radhakrishnan D. A New Approach for Nonlinear Distortion Correction in Endoscopic Images[J]. IEEE Trans on Medical Imaging,1999,18(4):345-354.
- [8] Killey R I, Thiele H J, Mikhailov V, et al. Reduction of In-

trachannel Nonlinear Distortion in 40 - Gb/s - Based WDM Transmission over Standard Fiber[J]. IEEE Photonics Technology Letters,2000,12(12):1624-1626.

- [9] Tsimbinos J, Eng B. Identification and Compensation of Nonlinear Distortion[D]. Australia: school of electronic engineering, University of south Australia, 1995.
- [10] Castleman K R. 数字图像处理[M]. 朱志刚,石定机,等译. 北京:电子工业出版社,2007:58-65.
- [11] 徐同莹,彭定明,王卫星. 改进的直方图均衡化算法[J]. 网络信息技术,2006,25(7):58-59.
- [12] 芮同林,彭国华. 一种改进的图像均衡化算法的研究与应用[J]. 微电子学与计算机,2006,23(11):58-59.