

电子半色调方法的研究

郑 欣

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 系统地介绍了电子半色调的基本理论及其发展, 归纳选择出一些具有代表性的半色调方法, 分别用软件加以实现, 对其中部分算法进行了改进。详尽分析了不同电子半色调方法的特点及适用范围, 对几种半色调方法进行了比较。最后, 结合我所研制的光电扫描输入机的工作需要, 设计完成了一种半色调算法硬件实现, 完成了对灰图像实时地进行半色调化处理。

关键词: 电子半色调; 半色调方法; 灰度图像

1 引 言

一般说来, 图像输出都是以多灰度图像为对象的, 可以采用每像素具有多灰度的模拟输出设备来直接表现原图像的浓淡差别。但是在某些只有黑/白二值输出的场合, 不能模拟出图像不同的浓淡层次。因此如何利用黑/白二值的输出来表现图像浓淡的伪中间灰度输出方法的研究就显得越来越重要了。本文即研究了利用黑/白二值输出产生伪中间灰度的电子半色调技术。

2 电子半色调理论

一幅连续色调的灰度图像, 具有从黑到白的亮度范围。半色调过程是把灰度图像转化为二值图像, 用这种方法再现的图像给人的感觉与原始的灰度图像相似。本质上, 半色调化就是用点子的疏密程度来再现不同灰度。各种半色调方法, 其最终目的就是要产生具有不同特点的点子排列结构。

半色调技术在图像工艺及印刷工业中已应用很久, 是一门古老的技术。最近数字半色调方法已开始逐渐取代传统的照像半色调技术, 数字半色调法在很大程度上是照相半色调方法的一种直接模拟。

收稿日期: 1994年3月10日; 本文作者的导师为郝志航

3 电子半色调方法的分类研究

3.1 阈值法 (Thresholding)

阈值化方法是最简单的一种半色调方法,即选择一个阈值,图像中所有像素灰级大于这个阈值的像素,在最终的半色调图像中,被指定为 1,反之被指定为 0。在阈值法中,固定阈值的选取是很重要的。它的选取直接影响最终半色调图的质量。阈值法实现简单,但用这种方法得到的二值图像丢失了图像中的大量细节。

3.2 组织 Dither (Order Dither) 法

组织 Dither 法是一种常用的方法,其优点是输出图像与输入图像点数一致。它是使用一个 Dither 矩阵,将灰度图像转化为二值图像,即:

$$h_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } X_{ij} > D_{ij} \\ 0 & \text{if } X_{ij} < D_{ij} \end{cases}$$

其中 X_{ij} 为输入像素, h_{ij} 为输出像素, D_{ij} 为 Dither 矩阵的阈值元素。

按照所产生的半色调点的特性,可把 Order Dither 网分为两类。即:束集点 Order Dither 及离散点 Order Dither。离散点 Order Dither 网产生的半色调点小而且分散,这是因为在 Dither 矩阵中相邻的阈值被放在一起,这种网常被用于打印或印刷工艺中。用这种方法产生的网点结构具有规则的组织结构,灰度层次变化明显,人眼的视觉效应好。

3.2.1 组织 Dither (Order Dither) 算法的改进

组织 Dither 法是针对每个矩阵单元中一像素进行处理的,而忽略了整个单元灰度情况的整体效果,这就存在一个问题,即在灰度图像有剧烈变化的区域,可能会存在着不同程度的失真。现提出一种改进方法,其基本思想是用灰度图像的一个单元内像素灰度的总和来决定变成二值图像后该单元应属于哪个二值图像灰度级。对于变化缓慢的灰度图像,改进后 Dither 法与原 Dither 法效果相同,而对于剧烈变化的灰度图像,它却克服了原 Dither 法灰度失真的缺点。

3.3 浓度参数法 (Fattening Type)

浓度参数法最大特点就是对应一个输入像素点输出一个 $n \times n$ 点的像素块。通常将 $n \times n$ 点中 k 个点为黑色点的浓度参数以 B_k 表示 ($k = 0 \sim n^2$),图 1 示出了一个 4×4 矩阵产生的像素块排列。

对应输入图像 X 的第 IJ 象素 X_{ij} ,输出图像 Y 的第 IJ 象素 Y_{ij} 在浓度参数中应取的 B_k 值由阈值 T 决定。

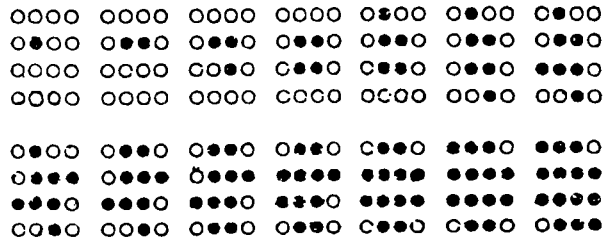
$$B_k = \begin{cases} B_0 & \text{if } 0 \leq g_{ij} < T_0 \\ B_1 & \text{if } T_0 \leq g_{ij} < T_1 \\ \dots & \dots \\ B_n & \text{if } T_{n-1} \leq g_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

其中 $T_0 \sim T_{n-1}$ 为阈值,阈值的选取有等间隔取值的。即:

$$T_0 = 1/2n^2$$

$$T_k - T_{k-1} = 1/n^2 \quad k = 1, 2, \dots, n^2 - 1$$

如果输入设备具有比被产生的图像更高的分辨率，那么用浓度参数法是非常好的。如果输入设备没有足够的分辨率，则输出必须容许分辨率减少。浓度参数法再现的图像具有比较明显的细节成分，浓度层次比较好，但是有时具有波纹效应。



3.4 误差扩散法 (Error Diffusion Algorithm)

误差扩散法是一种邻域处理法，即在处理一个像素时，依赖于其它像素的处理结果。误差扩散法处理过程如下：



图 1 集中型浓度参数 B_i 的排列

读取一个像素，如果该像素的灰度值接近于白色，则把此像素处理为白，否则处理为黑。这样就产生了一个误差，即像素或太亮或是太暗。为校正这个误差，可把误差分为几部分，从未处理的相邻像素中减去加权的误差量，使图像的总灰度值趋于它的原始灰度值，这个过程一直继续下去，直到所有像素已转换为黑或白，即产生了最终的二值图像，这个过程可以认为是把来自一个像素误差扩散到相邻像素上。

用误差扩散法产生的二值图像具有高空间频率的纹理结构，它对于人眼是不可视的，具有良好的视觉效果。但是用这种方法产生的纹理结构很难预先指出，且看起来分散。

3.5 随机阈值法 (Random)

在随机法中，最典型的一种是阈值随机法，即阈值的产生是完全随机的，随机网是与 Order Dither 网相对应的，且在半色调方法中它常被作为比较的参考。在历史上，这种方法第一次被用来研究具有独立可寻址点的电子显示。

3.6 限制平均法 (Constrained Average)

限制平均法属于一种自适应阈值法，即阈值的大小是根据某个区域中像素灰级的大小来确定的。该方法是一种性能综合的方法。通过调整参数，可调解图像对比度，加强图像锐化性能，是把边缘增强与灰度再现结合起来的一种方法。

数学表述为：

$$I_{xy} = \frac{1}{9} \sum_{\substack{K=-1,1 \\ l=-1,1}} I_{x+K,y+l} \text{ (计算邻域平均值 } \bar{I}_{xy} \text{)}$$

$$\Phi_T = \gamma + \bar{I}_{xy} \left(1 - \frac{2\gamma}{I_{max}}\right) \text{ (} I_{max} \text{ 是原灰度图像中像素最大的灰度值)}$$

$$\begin{aligned} \text{if } I_{xy} > \Phi_T & \text{ then } h(x,y) = 1 \\ & \text{else } h(x,y) = 0 \end{aligned}$$

参数 γ 决定了最终二值图像对比度，且与图像元素的噪声统计有关。用此方法进行半色调化时， γ 值的恰当选取是很重要的。当参数 γ 的绝对值 ($|\gamma|$) 增大时，图像对比度逐渐增

加,背景噪声抑制,景物突出。但是当 $|\gamma|$ 值大到一定程度时,背景噪声虽进一步抑制,但景物的细节也有些消失。

3.6.1 限制平均算法的改进

用限制平均法产生的图像具有明显的颗粒特性和噪声特性,这是算法的局限性。因此我想把组织 Dither 法与限制平均算法结合起来,可用组织 Dither 法的纹理特性来抑制由限制平均算法产生的噪声特性。从最终产生的半色调图看,这是一种非常好的方法。把组织 Dither 矩阵应用到限制平均算法后,相应的判断准则变为:

$$\text{if } I_{xy} + D_{ij}/K > \Phi_r \text{ then } h(x,y) = 1$$

$$\text{else } h(x,y) = 0$$

D_{ij} 为组织 Dither 矩阵,类型如离散点 Order Dither 的矩阵情况, Φ_r 的计算与前相同。系数 k 控制附加的 Dither 矩阵的幅度。在 Average 与 Dither 相结合的算法中, k 的取值影响噪声抑制情况, k 值小,噪声抑制好,但边缘增强现象不明显。 k 值大,噪声抑制不好,但有边缘增强现象。

3.7 动态阈值法 (Dynamic Threshold)

这种算法把动态阈值与边缘检测结合起来,有很强的边缘提取功能。

对于一幅图像中的任一点 I_{xy} ,二值化过程后由两个步骤完成:

首先: I_{xy} 值与两个固定阈值比较:

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } I_{xy} > A_{\max} \quad \text{then } h(x,y) = 1 \\ \text{if } I_{xy} > A_{\min} \quad \text{then } h(x,y) = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

这里 A_{\max} , A_{\min} 是选取的两个阈值。如是(1)式两个条件都不满足,即: $A_{\min} \leq I_{xy} \leq A_{\max}$ 那么应用如下准则:

首先:计算邻域平均 \bar{I}_{xy} , \bar{I}_{xy} 用一个低通滤波器计算;所用低通滤波器模型为:

$$h_1(i,j) = \frac{1}{16} \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

则: $\bar{I}_{xy} = [4I_{x,y} + 2I_{x,y-1} + 2I_{x,y+1} + 2I_{x-1,y} + 2I_{x+1,y} + I_{x-1,y-1} + I_{x-1,y+1} + I_{x+1,y-1} + I_{x+1,y+1}] / 16$

其次:计算一个边缘系数 D_c :

$$D_c = \frac{I_{x,y} - I_{x-1,y}}{2} + \frac{I_{x,y} - I_{x,y-1}}{2} \quad (2)$$

再把平均值 \bar{I}_{xy} 比例化:

$$I'_{xy} = \alpha \bar{I}_{xy} \quad (3)$$

最后判断准则为:

$$\text{if } I_{xy} > m \times D_c + I'_{xy} \quad \text{then } h(x,y) = 1$$

$$\text{else } h(x,y) = 0$$

其中系数 m 是一个边缘敏感系统。

在动态阈值法中,可调节参数 α 及 m 的取值情况对半色调图的质量有很大影响。

①当 α 取值不变,而只改变 m 值时,可发现图像细节基本没变,但边缘增强情况产生变

化。

②当 m 取值不变, α 值改变时, 对图像的影响非常大, α 值稍微变化, 所产生的半色调图就有很大变化。

3.8 ARIES 法

ARIES 方法再现图像细节的能力强, 具有边缘增强作用, 且在半色调图中没有颗粒噪声存在。

算法的基本思想: 组织 Dither 算法对于图像灰度没有变化的区域, 可保证产生正确的半色调点, 但不能保证在图像灰度有变化的情况下也能产生正确的半色调点。而 ARIES 方法, 如框图 2 所示, 可解决这些问题。

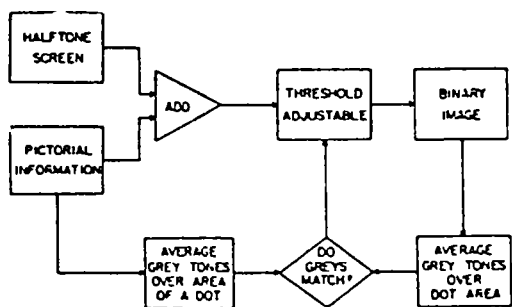


图 2 ARIES method 原理框图

ARIES 方法的基本思想是: 对于每个半色调网周期, 以一种方式改变阈值, 以保证最终的半色调图与原图的灰度相匹配。用此方法, 在原始图像中的均匀灰度区域内, 可变阈值将保持为常量, 这保留了 Order Dither 算法的优点, 且解决了它所存在的问题。在 ARIES 算法中, 所产生半色调图的质量与所加的 Dither 矩阵的幅度有关, 同时在应用 ARIES 算法时, 所用的 Order Dither 矩

阵不易取得过大, 否则产生的半色调图具有明显的锯齿现象。

4 半色调方法硬件实现的应用实例

组织 Dither 法硬件实现的原理结构框图如图 3 所示

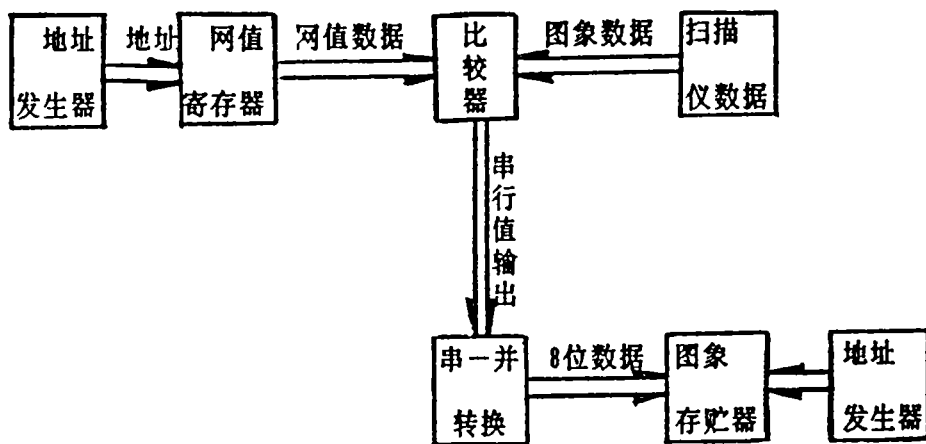


图 3 组织 Dither 法硬件原理框图

由原理结构框图中可知, 电路有五大部分组成。(1) 图像存储器: 用了两片 $32k \times 8$ 的

RAM 来存储扫描仪扫出的图像数据的原值或加网后的网值。(2) 网值寄存器: 一片 $2k \times 8$ RAM, 用于存储 Dither 网的网值。(3) 比较电路部分: 两片 74LS85 比较器, 用以完成图像灰度数据及网值的高四位及低四位的比较。(4) 串并转换部分: 1 片 74LS164 完成串并转换功能, 把加网后的串行值 (一系列 0, 1 值) 变成 8 位并行存储器产生地址。

整个硬件加网电路的工作过程如下:

(1) 在扫描开始前, 先由主机向网值寄存器中写入网值;

(2) 在扫描过程中, 把图像数据不断地送入两片 74LS85 比较器的输入端上, 使其不断地与相应的网值进行比较。

(3) 经比较器比较后, 输出一系列 0, 1 串行值, 送入串并转换器 74LS164 的输入端;

(4) 最后从 74LS164 输出的 8 位数据存储到图像存储器相应的字节单元中。

在应用硬件加网电路时, 可根据写入网值寄存器中不同的组织 Dither 网值矩阵来决定加什么样的网, 通过改变网值矩阵即可实现不同的加网效果。这种硬件电路适合于网值是预先已知的半色调法。

Study on Electronic Halftone Methods

Zhen Xin

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

Abstract

This paper introduces the basic theory and development of electronic halftone. Based on volumes of information, several typical halftone methods were chosen and finished by softwares and some of the algorithms were improved. Compared with each other, different kinds of electronic halftone methods were deeply discussed by their features and applied ranges. Finally, we have designed a hardware of halftone algorithms for the demand of scanner. The result is that we can apply real-time halftone process to the gray-scale images.

Key words: Electronic halftone, Halftone methods, Gray-scale image.