

提花织物花型图片信息采集理论与其应用

曹潜龙

(浙江丝绸工学院)

【提要】 本文较全面地论述了花型图片信息采集的有关理论,并联系两种类型的提花织物花型信息采集系统作了深入的讨论,得出了一些对设计有用的结论。

数字图象处理学是近二十多年来蓬勃发展起来的一门新兴边缘学科,随计算机技术的发展,数字图象处理技术也日趋完善,在许多领域内获得广泛的应用。把这门新兴学科引入纺织工业为生产服务是十分需要的。

提花织物花型图片处理与数字图象处理比较有其特殊性。输入系统的是彩色或非彩色图片,图片上的颜色常代表织物组织,而输出信息除要在荧光屏上显示外,还得通过纹板控制织机重现于织物上。因此,系统要处理的信息有:图片象素的位置、灰度、色彩、织物组织及纹板信息等。

本文试图以数字信号处理图象的理论来探讨提花织物花型信息的采集,以供深入研究和探索。

一、扫描对象、方式与噪声

提花织物的花型信息源来自黑白或彩色的纹样、意匠图或照片,文中统称为花型图片。这些图片原稿多为矩形的静止图片,花型信息的采集一般均采用扫描方式。常用的扫描方式可分为电子扫描和光电机械扫描两

类。电子扫描速度快,设备结构轻便,操作方便,灵敏度高,但精度较差,噪声大,常需要昂贵的高速A/D转换装置。光电机械扫描方式有两种:圆周扫描和平面扫描(即轴向扫描)。这两种扫描方式均较电子扫描分辨率高,有较高的信噪比,但速度慢,设备笨重,费用较高。

各种扫描装置都会给图片信息采集带来不同程度的畸变,主要是由于扫描装置精度不够,以致扫描速度欠稳定。(电子扫描装置中存在的时基抖动也可认为是一种扫描速度不稳)。设扫描部件以 $V(t)$ 速度扫描,速度的恒定分量为 V_0 ,速度的起伏为 $\Delta V(t)$,则扫描坐标 x 与时间 t 的关系为:

$$x = \int_0^t [V_0 + \Delta V(t)] dt$$

若图片一维空间信号为 $U(x) = U_0 e^{iw_x x}$,扫描后转换成时间函数为:

$$\tilde{U}(t) = U_0 e^{iw_x \int_0^t [V_0 + \Delta V(t)] dt} = U(t) e^{iw_x \int_0^t \Delta V(t) dt} \quad (1)$$

式中: $U(t) = U_0 e^{iw_x V_0 t}$ 为未畸变的图片时间函数; $e^{iw_x \int_0^t \Delta V(t) dt}$ 为由于扫描速度不稳而引入的畸变因子,这是一种相位畸变,它附加

部分断裂,使纤维膨化,增加染料向纤维内的扩散速率,同时,也能增加染料的反应活性,在低温下提高固色速率,与Albegal B合用时效果更为显著。

参 考 资 料

[1] «J.S.D.C.», 1968, Vol. 84, p. 501.
[2] «Colourage», 1979, Vol. 6; p. 48.

[3] «J.S.D.C.», 1983, Vol. 99, p. 335.
[4] «J.S.D.C.», 1979, Vol. 95 p. 396.
[5] «染料工业», 1982, No.2, p. 20.
[6] «染料工业», 1980, No.1, p.62.
[7] «纺织学报», 1985, No.12, p. 13.
[8] «American Dyestuff Reporter», 1984. No.1, p.30.
[9] «J.S.D.C.», 1982, Vol. 98, p. 165.
[10] «J.S.D.C.», 1978, Vol. 94, p. 394.

$$F_s(w) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(w - nW) \quad (10)$$

在自然采样情况下，采样脉冲是周期矩形脉冲。设采样脉冲的脉宽为 τ ，幅值为 E ，周期为 T ，根据式(6)可得：

$$f_s(t) = f(t) \cdot p(t) \\ = f(t) \left[\frac{E\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_a\left(\frac{nW\tau}{2}\right) \cdot e^{inWt} \right] \quad (11)$$

式中： $p(t) = \frac{E\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_a\left(\frac{nW\tau}{2}\right) \cdot e^{inWt}$ 为周期矩形脉冲的富里叶级数表达式。根据式(8)可求出系数 $P_n = \frac{E\tau}{T} S_a\left(\frac{nW\tau}{2}\right)$ ，故矩形脉冲采样信号的频谱由式(7)可得：

$$F_s(w) = \frac{E\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_a\left(\frac{nW\tau}{2}\right) \cdot F(w - nW) \quad (12)$$

由式(9)~(12)可知：

1. 两种采样信号的幅值序列均等于花型图片连续函数在各采样点上的数值，可用矩阵表示。所以，采样过程可以认为是对图片模拟量幅值的调制过程。见图1。

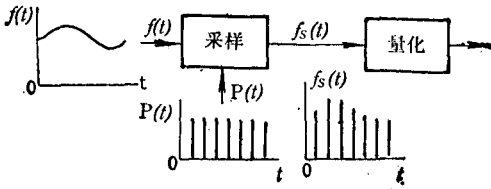


图1 图片采样过程

2. 如矩形采样脉冲的脉宽不够窄，则采样信号的幅值在采样期间非常数，会形成采样误差。实际上采样脉宽是不可能为零的，故必须选择脉宽远小于采样周期，使系统的采样接近于理想情况。

3. 如果图片连续函数的频谱 $F(w)$ 为有限频谱，则采样信号的频谱 $F_s(w)$ 是以 W 为周期不断重复的。而冲激采样信号的频谱是等幅的，而脉冲采样信号频谱的幅值是以采样函数 $S_a(nW\tau/2)$ 变化。

现在关键的问题是如何选定采样密度。

从上述讨论中不难导出时域采样定理：

在满足以下条件时，

$$\begin{cases} F(w) \text{ 有截角频 } w_m, \text{ 当 } |w| \geq w_m, \\ F(w) = 0 \\ T \leq 1/2f_m, \text{ 最低采样频率为 } 2f_m, \end{cases} \quad (13)$$

$$(w_m = 2\pi f_m)$$

采样信号 $f_s(t)$ 可以唯一地表示(还原)原信号 $f(t)$ 。

据此，还可以推出二维空间域的采样定理：

设二维空间图象在 x 和 y 方向上长宽各为 L_x 和 L_y ，相应空间域频率各为 u 和 v ，采样点数分别为 M 和 N ，则在满足以下条件时：

$$\begin{cases} \text{空间域频率是有界的, 即 } |u| \leq u_0, \\ |v| \leq v_0 \\ \text{采样密度 } M/L_x \geq 2\mu_0, N/L_y \geq 2\nu_0, (\mu_0 \text{ 和 } \\ \nu_0 \text{ 为空间频率上限值}) \end{cases} \quad (14)$$

图象采样函数 $f_s(x, y)$ 才可不失真地恢复原始图象 $f(x, y)$ 。

在以上采样理论指导下，可以来讨论实际图片采样系统的具体问题：

1. 电子扫描采样系统：图象越细腻彩色越丰富，其信号频率越高；反之，信号频率越低。已知彩色电视制式的亮度信息带宽为 0~6兆赫，彩色信息频带约占 2兆赫，由于采用了频谱交错技术，总的频带压缩为 6兆赫。由式(13)可知，此种方式的最低采样频率高达 12兆赫(即采样间隔为 0.083微秒)。此外，由于电视摄像扫描速度很快(每象素约 100毫微秒)，而 A/D 转换一个字节需 6~100微秒，DMA 传送一个象素的时间约需 1~2微秒，所以存在信息传送速度匹配问题。在实际应用中，常采用每帧图象纵向采样来解决，即每帧图象仅完成一纵行的采样。这样，每个象素的采样时间就延长到行扫描时间 52微秒了，基本上解决了速度匹配问题。除此以外，由于电视录象系统还存在时基抖动问题，因而对于要求较高的复杂花型图片，常常不能获得满意的效果。

2. 光电机械圆周扫描采样系统: 这种方式的扫描线数和采样点数越多, 获得图片细节信息的能力越强, 采样质量越高。但是, 扫描线数和采样点数的增加是受如机械精度、电机传动、光栏孔尺寸、光电倍增管灵敏度、信噪比及电子回路频率响应等因素制约的。此种方式的最高信号频率可用下式计算:

$$f_m = L \cdot N \cdot d / 120 \text{赫} \quad (15)$$

式中: L —扫描线长度(毫米); N —滚筒转速(转/分); d —扫描线密度(线数/毫米)。实用上, f_m 约在几百赫~几千赫范围。由于图片信号的实际频谱常存在“尾巴”, 即式(13)的条件并不能真正符合, 因而在选择采样频率时常需较多地超过 $2f_m$, 但也不能过高。

3. 光电机械平面扫描采样系统: 此种方式经常采用步进电机作为驱动源, 扫描时每步采样一点, 因而其采样频率即等于每秒步进数, 一般为数千赫。但应注意采样脉宽不应过宽, 可控制在数微秒以内, 以免产生采样误差。

四、图片信息量化理论与量化器

图片采样后的离散模拟量在量化过程中被强制纳入一组设定的层次内, 因而量化是用数字逼近模拟量的过程。由于每个采样值可以是一定范围内的任何实数值, 而量化过程却是用有限的一组实数来表达的, 所以量化也可以认为是一种信息压缩处理。为了便于输入计算机处理, 量化器的输出也必须采用二进制数。

量化的准则是既要求量化误差小, 又要求量化的比特数不要过大。因为量化误差小即量化等级分层要多, 这势必带来量化输出给计算机的比特数十分庞大。花型图片信息量大本来就突出, 它与计算机的字长和存储量是个固定值是矛盾的。对于这两种相互制约的因素, 要根据实际要求和条件来权衡之, 恕不赘述。

图象量化有均匀量化和非均匀量化之

分。前者的理论分析比较简便, 可供后者借鉴, 而非均匀量化的分析较为复杂, 还有待深入探索。

1. 均匀量化: 均匀量化所取的量化间隔是均匀的, 它主要应用于图片样本的概率密度是均匀的场合。设 f 和 \hat{f} 分别表示花型图片采样信号样本的幅度和该幅度被量化的值。样本值的范围为 $a_L \sim a_U$, 概率密度为 $p(f)$ 。并设量化器输入的判决分层数为 $d_0 \sim d_J$, 输出的量化数为 $r_0 \sim r_{J-1}$ 。量化输出电平 r_j 位于判决输入电平 d_j 和 d_{j+1} 之间 ($j=0, 1, 2, \dots, J-1$), 如图 2 所示。由此可写出均方量化误差表达式为:

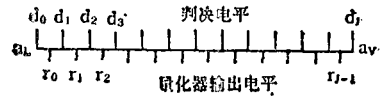


图 2 均匀量化

$$\begin{aligned} \sigma &= \int_{a_L}^{a_U} (f - \hat{f})^2 \cdot p(f) df \\ &= \sum_{j=0}^{J-1} \int_{d_j}^{d_{j+1}} (f - r_j)^2 \cdot p(f) df \quad (16) \end{aligned}$$

最佳量化应是量化误差为最小值, 即求取 $\partial \sigma / \partial d_j = 0, \partial \sigma / \partial r_j = 0$ 。

由此可得: $d_j = (r_j + r_{j-1}) / 2 \quad (17)$

$$r_j = \int_{d_j}^{d_{j+1}} f \cdot p(f) df / \int_{d_j}^{d_{j+1}} p(f) df \quad (18)$$

显然, 如果样本值均匀分布在 $a_L \sim a_U$ 范围内, $p(f)$ 等于某个常数, 式(18)可简化为:

$$r_j = (d_{j+1} + d_j) / 2 \quad (19)$$

由此可知, 一个最佳量化器的各个判决电平 (d_j) 应位于相应的两个量化输出电平 (r_j) 的中点, 而每个 r_j 又是 d_j 和 d_{j+1} 之间那部分概率密度 $p(f)$ 的形心。当 $p(f)$ 为常数时, 量化电平 r_j 又是相应判决电平 d_j 和 d_{j+1} 的中点。

由于量化是一种用数字逼近模拟量的过程, 因而存在舍入误差, 这种舍入误差是量化过程中的固有误差。由于量化器输出值取每个量化层的中点, 因而量化的最大偏差应等于量化单位的一半。在满足式(17)及(18)条件下, 均方量化误差为最小值, 等于

$$\delta_{\min} = \sum_{j=0}^{J-1} \left[\left(\frac{d_{j+1}^2}{d_j} \cdot p(f) df - r_j^2 \frac{d_{j+1}^2}{d_j} p(f) df \right) \right] \quad (20)$$

如 $p(f)$ 为常数时, 得 $\delta_{\min} = \frac{1}{12J^2}$ (21)

式中: J 为判决分层数。

2. 非均匀量化: 我们知道任意一个颜色都可以用位于三维彩色几何空间中的向量来表征, 即色向量 ϕ 可用下列彩色方程描述:

$$\phi = R[R] + G[G] + B[B] \quad (22)$$

式中: $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 为三基色的单位向量, R 、 G 、 B 表示三刺激值。不同计色系统的单位基色量是不同的, 因而同一种颜色对于不同

的计色系统将有不同的色坐标。在实际应用中, 我们常需要把某一颜色在不同的计色系统间进行色坐标转换, 以便读图分色^[4]。色坐标转换是一种线性变换, 可表达为:

$$\begin{bmatrix} U_R \\ U_G \\ U_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix} \quad (23)$$

或 $U = AE$

式中: E_R 、 E_G 、 E_B 为光电变换器输出的三基色信号; U_R 、 U_G 、 U_B 为色坐标变换器变换后的输出信号。常数 a_{ij} 为三通道彩色坐标变换系数。根据技术要求选择不同的变换系数, 即可获得不同的变换方案^[6]。图 3 为彩色图片信息采集处理系统模型。

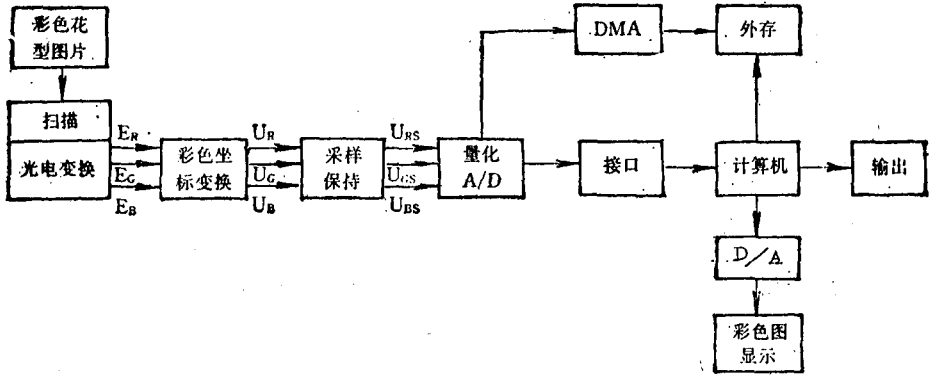


图 3 彩色图片信息采集处理系统

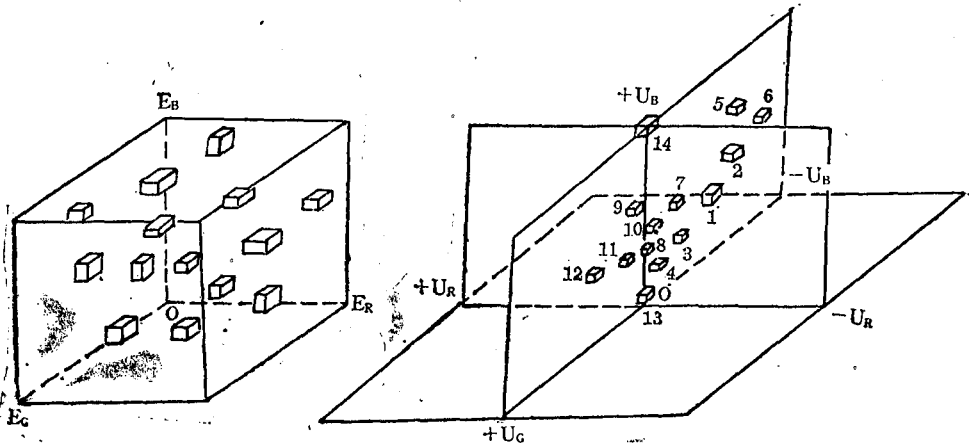


图 4 颜色量化盒分布图

二维彩色图片可看作是在三维空间中分布的三基色成分的向量分布。对于它们的量

化, 不论进行彩色坐标变换与否, 如果信号向量在某一判决区内, 我们就赋予该向量一

一个输出色值。对于一定的判决区, 确定最佳输出, 可以参考式(17)及(18), 但是这时的联合概率密度常不可得, 而且式(18)中实际估值也有困难。因而, 在实际中常需要简化量化过程。如果把彩色图片的红、绿、蓝三刺激值分别单独量化, 则量化层数和层次位置关系都可以象量化单色图片时一样处理。如果彩色图片样本值的概率密度 $p(f)$ 为非均匀的, 则在 $p(f)$ 值大的区域内判决层应该密些, 而在 $p(f)$ 值小的区域判决层应取得宽些。自然最好是三个彩色分量能进行联合量化, 但在执行中有一定困难。笔者在实践中采用三维量化盒^[5], 取得了较满意的结果。我们把这种三维空间判决区简化为直角平行六面体, 称之为颜色量化盒。这样, 在彩色三维空间中就悬挂着大小不同, 位置相异的各种颜色量化盒, 如图4所示。一旦彩色向量进入某量化盒, 即可判定为该量化输出的色值。这时最大量化误差是:

$$\varepsilon(i) = \frac{a_U(i) - a_L(i)}{2^{b(i)+1}} \quad (i=R, G, B) \quad (24)$$

式中: $a_U(i)$ 为上限; $a_L(i)$ 为下限; $b(i)$ 为赋予色分量的比特数。

如何方便地求出各种颜色量化盒的最佳值和空间位置? 由于花型图片有人工描绘的, 也有照相的, 颜色较为离散。笔者采用对图片进行静态多点采样的办法, 求取一定数量的三维坐标值, 然后统计归纳出颜色量化盒的大小和位置, 供设计调整量化器时参考。十四种国产颜料量化实测的数据参阅资料^[6]。采用这种技术措施后, 能较满意地解决上述在理论上的困难。

五、用于信息采集的集成芯片

由于微电子技术的迅速发展, 工程技术

人员已无需化很大精力从事电路设计, 只要掌握有关芯片的外特性进行合理选用即可。由于A/D转换集成芯片的转换需要时间, 因而对模拟信号采样后必须保持一定时间, 待量化转换完毕才开始新的采样。而且在采样期间, 采样开关一直是处于闭合状态, 保持电容上的电压跟随输入电压变化, 仅在下达保持命令的瞬间才断开采样开关, 开始保持与量化, 所以实际采样的信号是采样开关断开瞬时的输入信号。这点显然与前面讨论的采样过程是相反的, 但这并不影响理论上的讨论, 在使用中应该注意。

商品化的采样保持芯片有多种型号, 如LF188、AD582、HTS—0025、SHA1144等。保持电容器一般都得外接, 采样开关由外加电平来控制。商品化的A/D转换芯片也很多, 性能各异, 如AD570、ADC0804、AD571JD、AD7570等, 它们多数采取逐次逼近的原理。这种硬件转换方式较软件方式速度要快得多。各种A/D转换芯片的控制信号有电位控制和脉冲控制两种。它们的输出电路也有两种: 具有可控三态门的允许直接与微机系统的数据总线相接; 不具三态门的必须通过I/O通道(如8155等)才能与数据总线相联, 这在使用时应注意。

参 考 资 料

- [1] W. K. Pratt: 《数字图象处理学》, 第二部分, 科学出版社, 1984。
- [2] A. Rosenfeld: 《Digital picture Processing》, Chapter 4, 1982。
- [3] 程乾生: 《信号数字处理的数学原理》, 第三章, 石油工业出版社, 1979。
- [4] 《苏州丝绸工学院学报》, 1984, No.2, p.20。
- [5] 《苏州丝绸工学院学报》, 1985, No.3, p.1。
- [6] 《苏州丝绸工学院学报》, 1984, No.4, p.35。

更 正

纺织学报第八卷第四期221[29]页末行研究人员名单中吕培衡应改正为吕佩衡
纺织学报第八卷第五期下期要目预告(87—6)中作者方忠根应改正为方忠报