

象质改善的方法

采用象质改善方法可能来自多种不同的原因。主要应用范围是补偿在图象拍摄和图象扫描时产生的由系统所决定的误差。例如：

- 补偿使系统降低质量的脉冲响应函数；
- 消除干扰；
- 补偿辐射度量的失真；
- 补偿几何畸变。

另一个应用范围是对信息作某种有目的的改变，以改善目视判读，其中主要方法是加强反衬和假彩色显示。

这些方法按加工方式划分为：

- 仅对各个象点进行处理的方法（点处理方法）；
- 针对每个象点并纳入相邻象点的处理方法（局部处理方法）。

此外，不论是点处理还是局部处理都可根据下面情况加以区别，即是否在每一个象点进行了同样的处理，或者看其运算的选择是否与地址相关，还是与信息相关。运算可以是线性的或是非线性的。

处理方法	点处理方法	局部处理方法
运算选择	均匀的	× 非均匀的
运算	线性的	× 非线性的

1. 点相关运算

点相关运算的特点是应用原图象 B_1 相应象点的信息，计算所得象点 B_{2ij} (公式1)

$$B_{2,ij} = f(B_{1,ij}) \quad i, j = 1 \dots m(1)$$

如果函数 f 是与地址和信息无关，那他就被算为均匀的，方程 2 相反表明一个非均匀的地址相关的运算。

$$B_{2,ij} = f_{ij}(B_{1,ij}) \quad i, j = 1 \dots m \dots (2)$$

在线性关系时，函数 f 仅表示一个相乘的常数 C (方程3, 图1a)

$$B_{2,ij} = C \cdot B_{1,ij} \quad i, j = 1 \dots m \dots (3)$$

平方的 (图1b)、指数的、对数的关系 (图1c) 或者阈值运算 (图1d) 是非线性运算。这样，如在图象扫描过程中，为对人眼对数计值模仿，按照对数计值曲线进行灰度值量子化。

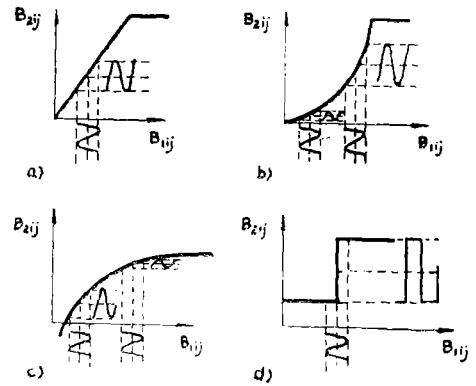
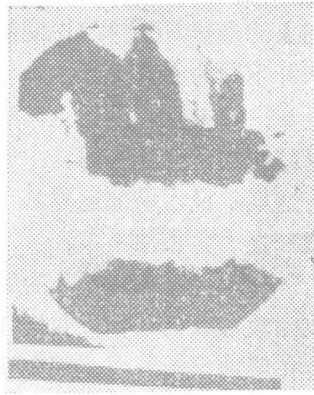
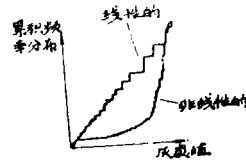


图1 原象点 $B_{1,ij}$ 和再现象点 $B_{2,ij}$ 之间的灰度值排列。a) 直线标度, d) 平方标度, c) 对数标度, b) 阈值计算。

在前面提到的运算中在灰度值有超越其上下极端值的危险，因为图 1a·c 所画的曲线，只是在有限的工作范围内有效。有一种方法没有这种缺点，而且还适应于图象当时的亮度分布，这种方法就是所谓的频率分布图线性化 (图 2)，在这方面试图按照一个图象累积的灰度值分布，把图象中最常出现的灰度值或灰度值范围分开，而对个别很少出现的灰度值忽略不计，并使其不要达到饱和 (黑或白) 的状态。在图 2a 所示的胸部 X



a) 在窗孔范围内频率分布图线性化作胸部X光照相;



b) 线性化前后在窗孔范围灰度值的累积的频率分布。

图2 频率分布图的线性化

光照片中，仅在图象的局部作了频率分布图线性化，并再次淡入原图，在这种情况下，由于极限灰度值分布——很大，明亮，不感兴趣的图象范围，以及大、暗而感兴趣的图象范围——整个图象范围上的频率分布图线性化有效程度可能较小。图2b是在频率分布图线性化前后窗口范围内的累积灰度值分布。

从改善图象信息目视可辨性的角度来看，象质改善的另一种可能性是所谓的假彩色显示，[1.2.3]，它同样是图象点相关运算，这种运算可均匀地或非均匀地用于一种图象矩阵。这里是利用人眼的特性，能对彩色值比对灰度值得出更好的区别。这里通过三原色红、绿和兰得到对彩色值的表示，并且认为，三种原色的每一种可分为 n 个色度级（从黑到最亮），因此，可区别的彩色值数目是 $n \times n \times n = n^3$ 。在这种具有 n^3 种可区别状态的色空间内，一幅灰度图象根据类似的规范形成，最大只有几个灰度值。在假彩色、灰度排列时，分别按照规定，为每一种灰度值安排相应的色度值。这样，那些与通常邻近灰度值相应的色度值，对人的眼睛来说比原来的灰度值更善于辨别。

从多种可能排列的情况出发，在图3中提出几个例子。最简单的情况（图3a）是将

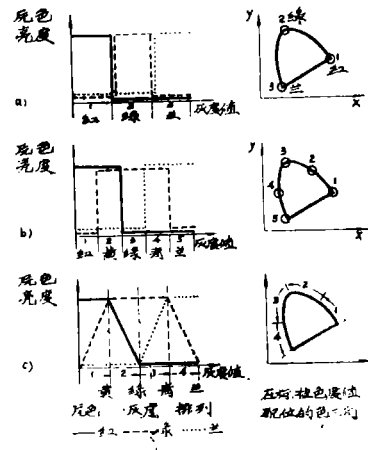


图3 假彩色，灰度值排列 a) 原色，非混合的，具有最高亮度的， b) 原色，混合的，具有最高亮度， c) 原色，混合的，原色亮度的变化。

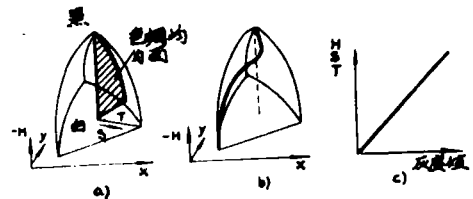


图4 假彩色，灰度值排列 a) 通过色角锥里色亮度H、色调T和色饱和度S表示色度值， b) 角锥体里的色度值排列过程， c) H, S和T在灰度值关系中的变化过程。

灰度值范围分为3个同样的部分,并为每个原色分配一个范围。所以,得到一张图象是包括具有最大亮度的仅为3个最大饱和的原色。在通常相邻的原色(彩色三角形里)以最大的原色亮度进行混合时,产生了按照图3b的排列。图3c相应于原色亮度变化过程中,得到处在彩色三角形范围的饱和颜色。只有一个这样的排列才能表示为假彩色图,其中能给予每个灰度值一个自身的色度值〔2〕,对于图3中的示例,具有最大亮度的最大程度饱和和色度值的排列是典型的。

代替原色红、绿、兰,也可以通过参考色彩亮度H、色调T和色彩饱和S来描述色度值,这种参数表达方法可扩大色三角而成为所谓的色角锥体。在角锥体的尖端相应为黑点(图4a)。黑点与白点(白点在角锥体的基面里)的连接直线在这里是表示灰度值标度。这条直线同时是完全的非饱和色的线。与此相反,完全饱和色在角锥体表面上。角锥体里的每个色点同黑白直线一同展现在一个平面上,由黑白直线和角锥体表面所限制的截面被标为色调相同平面,因为该平面的所有点均显示了同样的色调。图4b、c作为示例,说明在亮度、色调、饱和和作线性上升的变化过程中,假彩色灰度值的排列。

2. 局部运算

为了进行象质改善,从系统所决定的误差的补偿内容或者是从信噪比的改善内容来看,均采用了线性滤波理论的方法。这个线性滤波理论主要指两个重要运算范围:图象再现和目标探测,其中,在图象再现关系中意义较大。

一个图象的滤波标准方式是图象信息 B_1 与一个权函数的摺合。

$$B_2(x', y') = \iint_{-\infty}^{+\infty} G(x' - x, y' - y) \cdot B_1(x, y) dx dy \quad \dots\dots(4)$$

x, y 和 x', y' 在这里表示输入图象。再现图象的坐标,用方程4说明的摺积运算能够用两种不同的方式进行。

——权方阵 G 是逐点向图象方阵移动,而当时处在权方阵的视场中的象元是加权的,这就是说,局部运算是在象范围(局部范围)之内完成。

——代替局部范围内的处理,图象信息和权函数可以借助积分变换 F (付里叶变换)在所谓空间频率范围变换。然后摺积运算,将当作图象与权信息转换之间的简单乘法进行,接着须重新在图象范围内得出一个反变换 F^{-1} 。

$$\text{局部范围内的摺积 } B_2 = G * B \quad \text{---}\bullet$$

空间频率范围内的滤频

$$b_2 = g \cdot b$$

$$\text{其中, } b_1 = F(B_1)$$

$$b_2 = F(B_2)$$

$$g = F(G)$$

在已知的系统所决定的图象误差中,为了图象再现主要有两种方法:逆滤频和最佳滤频。这种系统所决定的图象误差的一个例子是一个以有限孔径的图象扫描,这就是说,用有限宽度的扫描光点进行图象扫描,这样一来,图象高频部分被破坏或者完全被遏制了,这相当于一种低通滤频。如果用 B_1 表示被扫描的原图象, B_2 表示扫描的结果,则公式5表示地域范围的和频率范围的摺积或滤频过程。

$$B_2 = G * B_1 \quad \text{---}\bullet \quad b_2 = g \cdot b_1 \quad \dots\dots(5)$$

图象 B_1 的再现可以借助一个逆滤波器 R 而得出(公式6)

$$B_3 = R * B_2 \quad \text{---}\bullet \quad b_3 = r \cdot b_2 = r \cdot g \cdot b_1 \quad \dots\dots(6)$$

式中 $B_3 = B_1$,因此而得出了公式(7)

$$r = -\frac{1}{g}$$

$$\text{和 } R = F^{-1}\left(-\frac{1}{g}\right) \quad \dots\dots(7)$$

为了控制不必要的高噪声,在实际设计

滤频器时必须要注意：在极限频率 f_g 以上应予以限幅，这就导致原图象只能近似地再现。

$$r = \frac{1}{g} \quad f < f_g$$

$$r = r_0, \quad f \geq f_g \quad r_0 = \text{const} \quad \dots\dots(8)$$

在使用一个最佳滤频器代替可逆滤频器时，为了图象再现，必须同函数 G^* 摺积，这个函数对系统降质函数 G 成为共轭复数。

$$B_3 = G^* * B_2 \quad \text{---} \bullet \quad b_3 = g^* \cdot b_2 \quad \dots(9)$$

用 $b_2 = g \cdot b_1$ 得出公式(10)

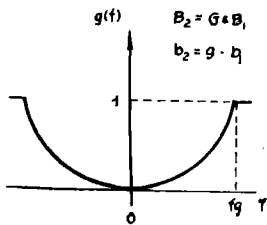
$$b_3 = g^* \cdot g \cdot b_1 = |g|^2 \cdot b_1 \quad \dots\dots(10)$$

在地域范围内反变换后得出公式(11)

$$B_3 = G^* * G * B_1 = \phi_{\dots} * B_1 \quad \dots\dots(11)$$

$\phi_{\dots} =$ 自相关函数

因此，处理的图象 B_3 ，作为原图象与自相关函数 ϕ_{\dots} 的摺积而得出。在这里所得到的图象分辨率相当于 ϕ_{\dots} 的半值宽度。虽然未知质量下降函数，人们还是可以用一系列技术达到象质改善。在这里人们可以利用这个实际现象，即人的眼睛对图象高频部分反应敏感，因此相对于低象频，较多地强调高频部分是这个技术的特性。这可以通过增强图象的高频加强反衬或是通过衰减低频（高通滤频）得到。



$B_1, b_1 =$ 未知系统误差的图象函数

$G_1, g_1 =$ 再现用的高通滤频器

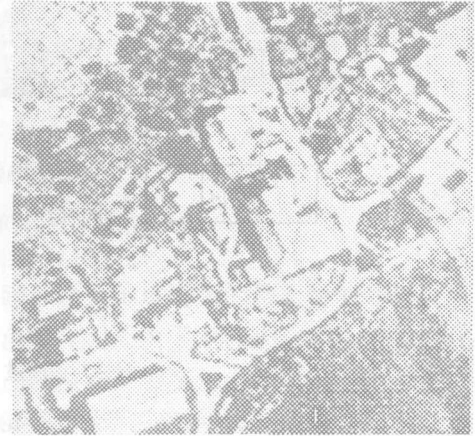
$B_2, b_2 =$ 滤频的结果

图5 一般高通滤频

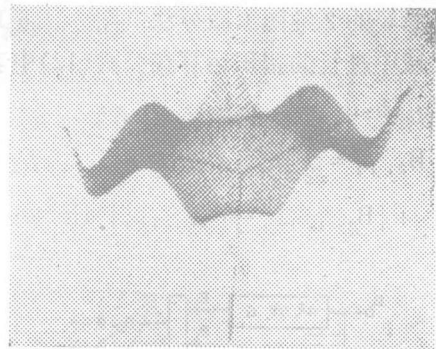
在使用一般的高通滤频器时，按照图5，象频振幅在某极限频率 f_g 以上时就不

改变，在 f_g 以下适当地衰减。这种高通滤频要求对图象信息 B_1 作付里叶变换，要求 b_1 内的滤波器 g 在频率区域相乘，要求图象区域的结果作反变换。

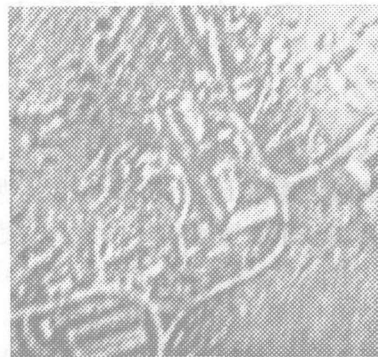
这一种滤频结果在图6显示出来[5]，在输出的时候，灰度值升高，以致于灰度值



a) 显示的航空图象（显示一输出）



b) 付里叶、变换高通滤频的3维表示



c) 经过滤频的航空图象

图6 图象的高通滤频

为负的时变暗，灰度值为0变灰，灰度值为正值时变亮。为了遏制高频噪声，以一个带通滤波器代替一个纯高通滤波器。这种方

法的优点是有限地自由选择滤波器通带曲线，它的缺点是用付里叶变换和反变换，要花费功夫进行计算。

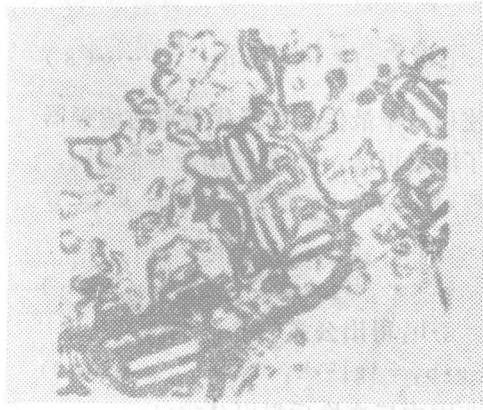
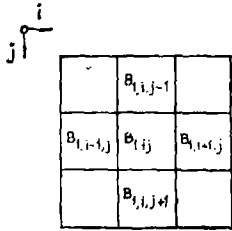


图7 通过2维微分的高通滤波

a) 下方阵的象元

b) 一张航空图象的微分结果 (图6 a)

从节约计算量方面，比较好的是相当于高通滤波的2维图象微分法(图7)[6]，图象区域中进行的摺积运算在公式(12)中表示出来，

$$B_{2,ij} = \frac{1}{2} (|B_{1,i-1,j} - B_{1,i+1,j}| + |B_{1,i,j-1} - B_{1,i,j+1}|) \quad ij=1 \dots m \dots n \quad (12)$$

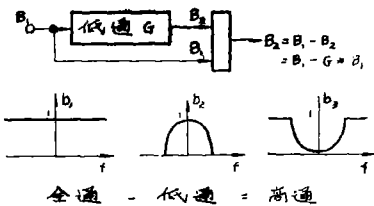


图8 用“模糊掩模”法的高通滤波

在这种“模糊掩模”法中，将由具有系统误差的输入图象 B_1 中，减去低通滤波，相减结果相当于高通滤波(公式13，图8)

$$B_3 = B_1 - B_2 \quad \dots (13)$$

其中 $B_2 = G \times B_1$ $G =$ 低通

这种方法，高频率无影响，低频率相反大大衰减。运算的范围可以在空间范围内，或在频率范围内完成。在空间范围内处理

时，低通滤波图 B_2 可以通过底方阵与等权象元的摺积得到，这相当于一个在底方阵内的图象信息平均，底方阵范围的大小决定低通滤波的性质。

与纯高通滤波相反，其中来自图象的低频率被排除了，低象频在反衬加强的情况下未改变，相反高频加强了。图9示出一种反衬加强方法，这种方法模拟了人的眼睛所能看到的马赫条纹的现象[7]，在这里图象 B_1 的第二个微分系数 B_1'' ，从输入图象 B_1 中减去(公式14)

$$B_2 = B_1 - B_1'' \quad \dots (14)$$

象点 $B_1''_{i,j}$ 的第二微分系数相当于拉普拉斯算符 $\nabla \nabla B_{1,i,j}$ (公式15)，这个算符可以通过在空间范围内的摺积运算而得出。一张航空图象部分(图6a)反衬加强的结果在图9b显示出来。

$$B_1''_{i,j} = \nabla \nabla B_{1,i,j} = \sum_{k=-1}^{+1} \sum_{l=-1}^{+1} B_{1,i-k,j-l} - 4B_{1,i,j}$$

$$\sum_{k=-1}^{+1} \sum_{l=-1}^{+1} B_{1,i-k,j-l} - 4B_{1,i,j}$$

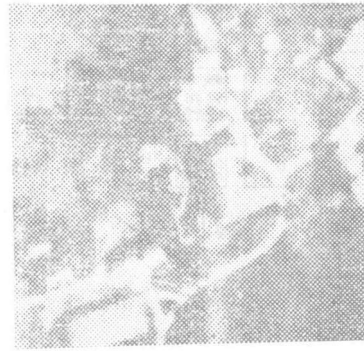
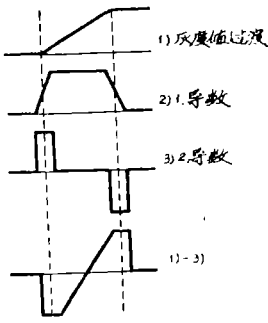


图9 反衬加强 (马赫现象)

a) 原理 b) 一张航空图象部分的反衬加强结果 (图6a)

$$i, j = 1 \dots m \quad \dots (15)$$

$$k = -1 \quad 1 = -1$$

$$k \neq 0 \quad 1 \neq 0$$

文献中命名为 α 过程的方法 [2] 为反衬加强提供了一个可能性。对此, 输入图象 B_1 进行付里叶变换, 他的频率振幅按数值和相位加以存储 [公式 16]

$$b_{1,uv} = |b_{1,uv}| \cdot e^{j\varphi_{uv}}$$

$$j = \sqrt{-1} \quad \dots (16)$$

$uv =$ 空间频率相应 x, y 座标

$$u \cdot v = 0 \dots \pm (m-1)$$

根据公式 17 a 或 b, 通过振幅数值的非线性变化能够得到反衬加强。

$$b_{2,uv} = a \cdot |b_{1,uv}| \alpha \cdot e^{j\varphi_{uv}}$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad \dots (17a)$$

$$b_{2,uv} = a \cdot \log |b_{1,uv}| \cdot e^{j\varphi_{uv}}$$

$a =$ 正比常数

这里, 在适当选择比例常数的情况下, 不论用对数, 或用指数, 加强小频率振幅, 而不致减弱大频率振幅 (图 10)。因为在一个图象中标准形式只以一个低频率振幅代表一个高频率, 所以该过程相当于一种反衬加强。这种运算进行后, 图象必须重新进行反变换到空间范围。

彩色图象的反衬增强能够通过各个原色部分 (红、绿、兰) 互相独立的反衬增强而

得到。这里不可避免的是, 物的外形显示出淡色调, 因为由于原色部分的独立的变化也使色调被迫产生变化。如要避免这点, 那么必须首先从彩色图象的原色表达中, 按照彩色亮度 H 、彩色饱和 S 和色调 T 编码来表达。如果把彩色图象按照前面所提到的方法在反衬增强的 H 、 S 、 T 编码中来支配, 其中仅是 H 和 S 部分相互独立地加强反衬, 而使 T 部分不变, 这样就可以避免物轮廓的淡色调。

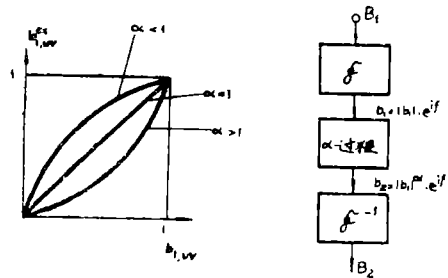


图 10 反衬加强 α -过程, 频率振幅排列

代替在反衬加强情况下附带强调高象频可以在灰调图象内也通过一个所谓的假彩色频率排列较强地相互限制不同的象频。通过上面可以看出: 人们从经付里叶变换的输入图 b 中, 得到三个频率部分——低通、带通、高通、各频率部分常常是被分开进行反变换, 并分别适合每种原色排列 (图 11) [2],

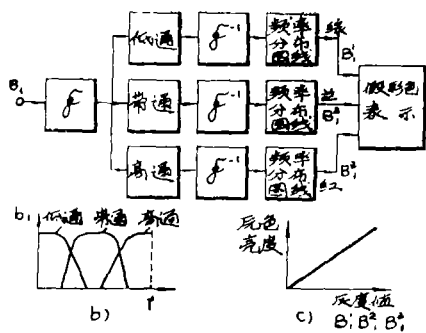


图11 假彩色频率排列

a) 方块图, b) 滤频特性曲线的情况, c) 频率部分的灰度值的排列对相应原色亮度的排列。

只有频率信道内的统一颜色分配适于每个频率信道进行频率分布图的线性比。

最后应该提到, 在多种数字处理办法的

范围内, 只谈到象质改善的几个办法。特别由于技术上的和财政开支上的原因, 彩色和假彩色图象处理的结果不能介绍。

结 论

上述工作是对象质改善几种方法的总结, 文章叙述了在图象范围或在频率范围内可以进行的, 为在已知和未知系统误差情况中再现图象的方法。除了低通滤频和高通滤频反衬加强不同方法的处理外, 还提到几种假彩色显示的可能性, 由于复制技术的原因, 这里未将结果介绍。

译自“Bildmessung und Luftbildwesen”

1976.2.s53—60

(王亚平 译; 大舟、芦寿桐校)

(上接第15页)

等。

17) 激光摄影, 用以提高分辨率, 特别是夜间摄影的分辨率。激光红外摄影机可以在完全无光的黑夜里, 拍摄出极为清晰的侦察照片。利用激光摄影还可以从飞机上直接把拍摄的图像变成无线电信号发送出去, 地面再把它再现成侦察照片。

18) 激光制导, 激光精密制导武器对目标具有极高的命中率, 具有抗干扰性强等优点。

19) 激光水下侦察, 日本电子技术综合研究所使用氩离子激光器制成一种可探水下物体的探测系统。实验表明, 此系统能以每秒25帧的速度显示出距离为光衰减距离五倍以上的靶面, 可进行水下电视摄影。