

实时红外热象增强技术的研究

李腊元 黄铁侠

(华中工学院信息系)

摘要——本文论述热图象增强的原理及主要实现方法。着重讨论热象的轮廓增强技术,并就实时热成象系统的模拟轮廓增强提出了具体实现方案,给出实验结果。在数字轮廓增强方面,对文献[9]的有关计算结果进行了修正,且将其中五阶矩阵热扩散补偿系数推广到七阶,为实时热象增强提供了新的实现技术。

一、引言

应用于工业、医疗、空间技术及各种军事目的之热成象技术,由于信噪比低,图象严重模糊,导致其象质劣化,从而给测温判读、诊断分析、火情观测、实时监视等带来困难,为此必须对模糊的红外热象进行实时增强。实时即满足电视高帧速。所谓增强,就是按照主观意愿来强调图象中人或机器感兴趣的某一部分信息。人眼视觉或机器对图象信息的感知能力是有限的,往往在图象中已经存在的信息,由于感知能力的限制而观测不到,这就需要采用增强技术。增强能改善可视外观,提高监测及判读质量,有时能获得惊人的效果。由于热象系统的分辨力比普通可见光系统差得多,故对红外热象增强就更显得必要。为此我们对红外热象增强技术进行了初步研究和探讨。文中论述了热象增强的原理及主要实现方法,并结合我院研制的热释电热成象系统,给出了红外热象模拟增强的实例,并提出了七阶矩阵系数的数字增强系统框图。预期随着半导体集成技术及电子计算机的发展和渗透,实时图象增强将别开新的生面,实时热象增强技术将得到新的发展。

二、实时热象的增强方法

1. 局部直方图均衡

直方图是描述一幅图象中不同灰度等级所对应的概率密度函数的图形。均衡就是通过调整直方图曲线来达到增强目的。局部直方图均衡(Local histogram equalization)是一种统计增强的方法^[3,4]。但是,一整幅图象进行均衡,逐个象素进行统计,运算量太大,且实时性难以保证,在数字图象处理技术^[3]中,一般只能采用计算机软件实现之;另一方面,对于处在出现次数不多的灰度区间的象素,进行直方图均衡并不能使图象得到增强。对整幅图象的某个局部进行直方图均衡,则可克服以上缺点。

本文1982年1月19日收到。

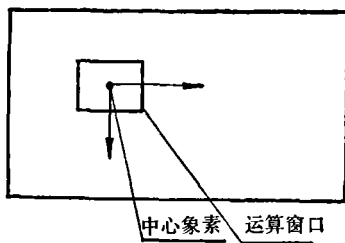


图1 局部直方图均衡

局部直方图均衡如图1所示,即有一个运算窗口,其中中心象素的灰度根据这个运算窗口局部区域直方图均衡的结果加以调整。每经过一个抽样周期,运算窗口沿扫描路径滑动一个象素位置,运算的结果对各中心象素重新赋值。这样重复进行就组成了一幅处理过的图象。直方图调整在局部进行,使每次运算量减小,易于用硬件进行实时处理;另外,就整幅图象而言,概率较小的灰度级到了局部区域,就可能成为概率较大的灰度级,因此这些点也相应得到增强。

这种方法可增强对比度,使热图象清晰度得以改善。

2. 假彩色显示

视觉的特点之一是分辨黑白对比度的能力较差,一般只能分辨二、三十个黑白灰度级;而对于彩色却能分辨几千种。彩色图象给予人们的信息要比黑白图象丰富得多。所以把黑白灰度等级变换为各种不同的颜色,相当于扩展了相邻灰度级之间的差别,将使人眼能看到更多的有用信息。由于其彩色并不是图象的实际内容,所以称为假彩色显示。常用的假彩色处理方法大致分为滤光片法、密度分割法、彩色编码法等。为获得理想的增强效果,一般可将以上方法与其它增强处理的方法混合使用。本文研究的热释电热成象系统采用的是分层模拟混合假彩色显示。对于每一分层不用量化信号,而取用该分层内的模拟信号,即每一分层彩色不是单一的某种颜色,这样能从热图中获取更多的信息。彩色编码顺序按照红外热象的温度由低到高,即由冷色到热色。这种方法可获得对比度鲜明的假彩色红外热象。

3. 多帧平均与多场累积

在图象变化平缓的场合,利用其帧间相关性,对连续多帧图象进行平均,可以减小噪声,提高图象清晰度,改善热图的最小可分辨温度(MRT)。可以证明:对 M 帧图象经集平均后,实际图象信号不变;而随机噪声功率下降 M 倍。本文研究的热释电热成象系统中采用了信号的多场累积^[4],以提高信噪比。其原理与多帧平均类似,同样是依据帧间相关性,采用存贮管为主的帧处理器实现之。对 M 场信号进行累积后,其信号功率是按 M 的指数关系增加的;而随机噪声功率则只按 M 的一次线性关系递增。也就是说,信号功率增长速度远大于随机噪声功率增长的速度。这样适当地进行多场累积,可有效地提高热图的信噪比,改善其MRT。

4. 轮廓增强

所谓二维图象 $f(x, y)$ 的轮廓,即满足 $\text{grad}f=0$,且力线(与通过这些点的等高线正交的曲线)方向的法曲率为零的所有点的集合^[8]。

视觉对图象轮廓极为敏感,因为它包含了图象最重要的特征信息。由视觉心理学实验可知,具有马赫(Mach)现象过冲的边沿,较之实际边沿看起来会使人更感到图象的鲜明、清晰,因为它具有一种去模糊的增强作用。轮廓增强正是依据这种视觉特点,采用梳状滤波器将图象信息中的水平分量或垂直分量细节取出,然后经去噪声等一系列加工处理,再加回到原图象中去,从而使图象轮廓及其细节得到增强。

对热成象系统进行有效的热扩散补偿,已成为热图象处理技术中引人注目的重要课题。故本文着重研讨热扩散补偿的有效方法——轮廓增强法,在论述其基本原理的基础上,从模拟和数字两个方面提供其实现技术。

三、模拟轮廓增强

在热释电热成象系统中,由于热释电摄像管(PEV)靶面的热扩散效应,即广义的孔阑畸变,使得热象轮廓严重模糊,清晰度降低。为此,必须对轮廓模糊的热象进行实时增强。在图象模拟轮廓增强的方案中,按曲线形状可分成高斯增强、反高斯增强及余弦增强等方法。它们的频响如图2所示。本文只讨论余弦增强法。它主要是采用模拟延迟线及差分放大器形成差信号来实现的。这种方法的硬件系统速度快、简便易行、实用有效。其原理框图如图3所示。图中两个延迟单元可采用两条模拟延迟线,也可采用一条延迟线,利用阻抗失配、信号被反射来实现二次延迟。延迟量各为500 ns。图中 K_1 、 K_2 、 K_3 均表示放大器增益。减法电路可采用差分放大器或单管减法电路实现。去噪声环节可采用门限幅电路或负反馈等措施,以抑制噪声,提高信噪比。系统的输出即为轮廓增强后的模拟热图象信号。依据以上原理及框图,我们对热释电热成象系统提出四种模拟增强方案。该系统选定斩波频率为5 Hz,视频信号带宽为2 MHz,最高增强频率为1~1.5 MHz,模拟延迟线的延迟时间为340~500 ns,特性阻抗为500 Ω ,行频、场频同普通可见光电视系统。以下具体说明四种模拟增强方案的原理及主要特点。

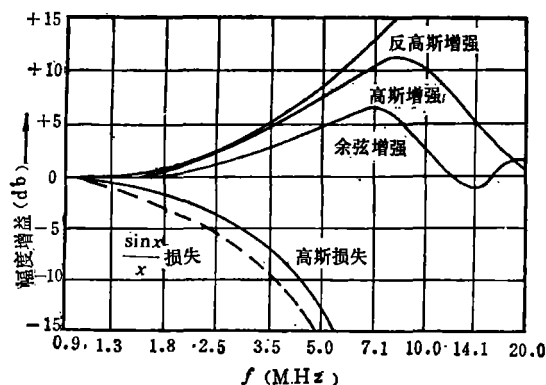


图2 轮廓增强的几种典型频响

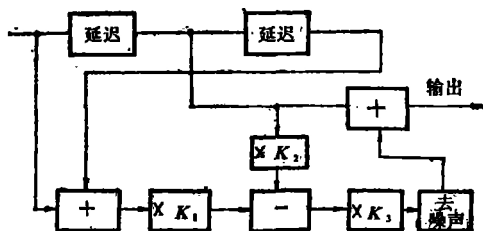


图3 模拟轮廓增强框图

方案1: 采用具有恒流源的差分放大器作为轮廓信号发生电路,模拟延迟线接在差分放大器两个集电极之间。该回路克服了无恒流源差分放大器的两个缺点:其一,若采用无恒流源差分放大器,轮廓信号的直流电平将随输入信号变化;其二,小信号输入时,轮廓增强信号会被压缩。由于该方案采用了两条模拟延迟线作为图象信息存贮单元,并兼有噪声切除环节,故能获得理想的增强信号波形。

方案2: 采用具有恒流管的单端输出差分放大器作为轮廓信号发生电路,采用一条模拟延迟线接在放大器的输入端,轮廓信号输出端接有并联负反馈限幅电路,调节其反馈深度,可以控制噪声切除的程度,提高信噪比。

方案3: 差信号形成部分本质上采用单管减法电路代替差分放大器。如图3所示,其中的两个延迟单元(二次延迟),在本方案中是采用一条模拟延迟线,利用其终端阻抗失配来实现的。延迟线始端接有450 Ω 电阻与其特性阻抗匹配,故信号在始端不会被反射。模拟

延迟线采用电磁式集中参数仿真线,其延迟时间为 500 ns。延迟线的选择应具有足够带宽、较高的信噪比以及尽可能小的损耗。图 3 的去噪声环节在本方案中采用的是门限幅电路。通过对上限幅及下限幅部分的精心调整,可获得过冲和预冲对称的增强信号波形。图 3 的加法输出部分,在本方案中是采用双管共集电极输出电路,即将经过噪声切除的差信号与原图象信号相加。于是输出的信号即为增强后的图象信号。实验研究表明,该方案校正量较大,增强效果明显。

方案 4: 其主要特点是延迟线的始端接在差分放大器的输入端,终端接在发射极耦合的晶体管对上,形成倒相正反馈放大器,从而提供一负阻抗,以补偿延迟线损失^[6]。

模拟实验表明,具体实现以上方案的关键在于模拟延迟线本身的带宽、噪声、阻抗匹配等指标的精心选择和调整。由实验可知,以上热象模拟轮廓增强方案都是有效可行的。它们都具有噪声切除环节,并各有其特点。经暂态仪测量都能获得理想的轮廓增强波形。采用方案 3,在热释电热成象系统中所拍摄得到的冷热条及“红外 TV”文字符号的热象,较之处理前的热象在清晰度及阅读效果上有所提高(图 4)。

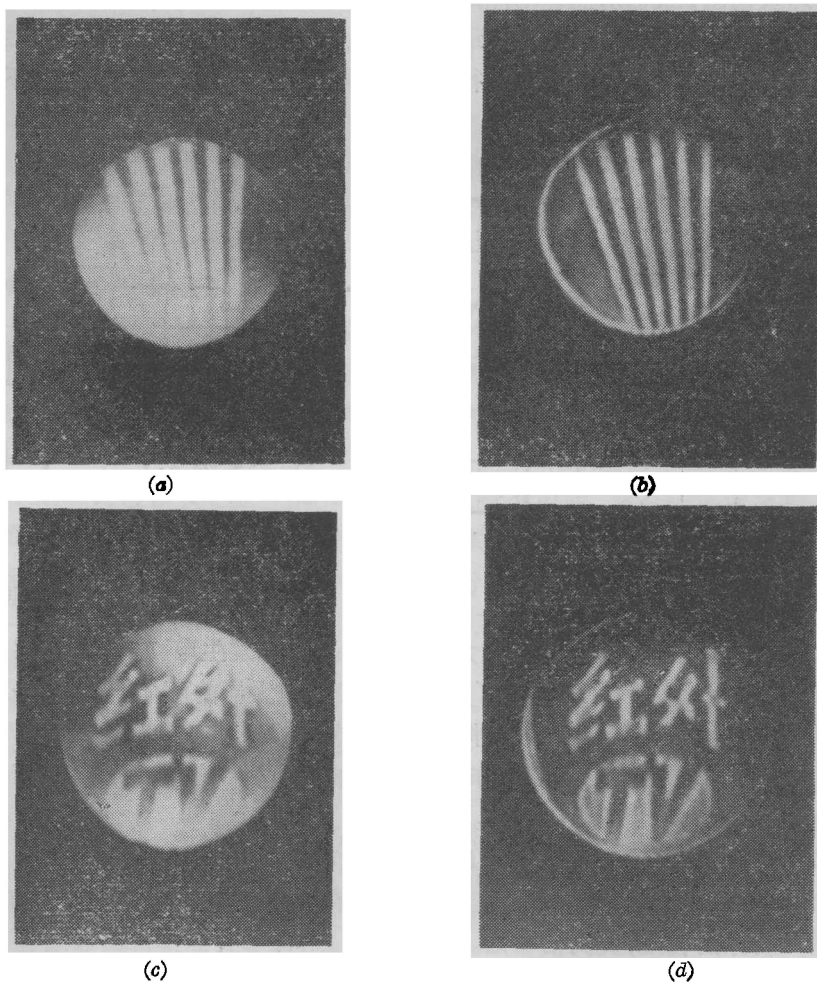


图 4 摄自监视器的红外热象照片

(a) 处理前的冷热条热象; (b) 增强后的冷热条热象;
(c) 处理前的“红外 TV”字符热象; (d) 增强后的“红外 TV”字符热象

四、数字轮廓增强

模拟系统速度快、实用有效;而数字系统灵活性大、稳定可靠、精度高。在实时图象数字轮廓增强的方案中,近年来出现了数字梳状滤波法^[6]、微分算子卷积^[7]及恢复系数法等。鉴于本文具体讨论的是热图象的轮廓增强,我们只研究恢复系数的热扩散补偿方法^[8]。着重讨论其基本原理及实现技术。

在热释电热成象系统中,造成图象模糊的主要原因来自 PEV 靶面的热扩散效应。因此,为提高系统的分辨力,必须对热扩散效应进行补偿。人们试图用热扩散系数小的靶材料 PVF₂,或将靶面加工成网状,以求减少热扩散效应,但这些都受到工艺限制。在改善由于系统的传递函数而导致象质劣化的方案中,虽然有频域处理的快速傅里叶变换(FFT)算法,但它也不易满足高帧速实时要求;在模式识别中,对于以各个象素为中心的象素群进行矩阵运算处理,并适当限定矩阵阶数,将会使实时处理成为可能。其原理类似于上述的局部直方图均衡。

下面在论述原理的基础上,从二维热扩散偏微分方程出发,建立其数学模型,并根据高阶差分理论的数值计算方法提出七阶矩阵热扩散补偿系统框图。

在热成象系统中,原某个象素的热量由于热扩散效应被扩散成以该象素为中心的象素群。温度分布由一点扩散成一片。

现假定热象系统的斩波器刚打开的时刻为 $t=0$,此时 PEV 靶面的温度分布为 $T(x, y, 0)$,无热扩散效应,它与入射红外辐射的分布相同。当 $t=\tau$ (热时间常数)时,具有热扩散效应的温度分布将变为 $T(x, y, \tau)$ 。为求得无热扩散的理想分布 $T(x, y, 0)$,即要求的增强信号,将 $T(x, y, \tau)$ 在 $t=\tau$ 处进行泰勒展开:

$$T(x, y, 0) = T(x, y, \tau) - \tau \frac{\partial T(x, y, \tau)}{\partial t} + \frac{\tau^2 \partial^2 T(x, y, \tau)}{2! \partial t^2} - \frac{\tau^3 \partial^3 T(x, y, \tau)}{3! \partial t^3} + \dots, \quad (1)$$

设水平方向 x 及垂直方向 y 的象素间距都为 d , $x=md$, $y=nd$ (其中 m, n 为正整数,且 $m=0, 1, 2, \dots, M-1$; $n=0, 1, 2, \dots, N-1$), 假定:

$$T(x, y, \tau) = T(md, nd, \tau) = T(m, n),$$

又若在上述泰勒展开式中,忽略二阶以上偏导项,则将热扩散方程

$$T_t = K \Delta T = K (T_x + T_y)$$

代入式(1),其中 T_t, T_{xx}, T_{yy} 分别表示 $\frac{\partial T}{\partial t}, \frac{\partial^2 T}{\partial x^2 \partial y^2}$ 等, Δ 为拉普拉斯算子, K 为热扩散系数 (cm^2/sec), 即有:

$$T(x, y, 0) = T(x, y, \tau) - K\tau \left(\frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial y^2} \right). \quad (2)$$

由有限差分理论^[9]可得:

$$\Delta T = \frac{1}{d^2} (T_{m+1, n} + T_{m-1, n} + T_{m, n+1} + T_{m, n-1} - 4T_{m, n}),$$

将上式扩展到对角线方向,可得出:

$$\Delta T = \frac{1}{d^2} (T_{m+1,n} + T_{m-1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 4T_{m,n}) + \frac{1}{(\sqrt{2}d)^2} (T_{m+1,n+1} + T_{m+1,n-1} + T_{m-1,n+1} + T_{m-1,n-1} - 4T_{m,n}),$$

将上式代入式 (2), 可得出:

$$T(x, y, 0) = b_{00}T_{m,n} + b_{10}(T_{m+1,n} + \dots) + b_{11}(T_{m+1,n+1} + \dots),$$

式中 b_{ij} 为恢复系数(即热扩散补偿系数), 其空间位置见图 5。 $T_{m,n}$, $T_{m+1,n}$ 等分别表示九点象素温度分布的电信号值。此时的 $T(x, y, 0)$ 仅表示三阶矩阵里中心象素的理想温度分布。

				$m \rightarrow$		
	9	8	7	6	7	8
	8	5	4	3	4	5
	7	4	2	1	2	4
$\downarrow n$	6	3	1	$T_{m,n}$ b_{00}	1	3
	7	4	2	1	2	4
	8	5	4	3	4	5
	9	8	7	6	7	8

图 5 七阶矩阵的热扩散补偿系数

恢复系数的值分别为:

$$b_{00} = 1 + \frac{6K\tau}{d^2}; \quad b_{10} = -\frac{K\tau}{d^2}; \quad b_{11} = -\frac{K\tau}{2d^2}.$$

若考虑二阶偏导项(此时除水平、垂直、对角方向外, 还包括 $\tan^{-1}1/2$ 以及与之空间对称的诸方向(见图 5), 则可求得:

$$b_{00} = 1 + \frac{6K\tau}{d^2} + \frac{617K^2\tau^2}{50d^4}; \quad b_{10} = -\frac{K\tau}{d^2} - \frac{4K^2\tau^2}{d^4}; \quad b_{11} = -\frac{K\tau}{2d^2};$$

$$b_{20} = \frac{3K^2\tau^2}{4d^4}; \quad b_{21} = \frac{K^2\tau^2}{50d^4}; \quad b_{22} = \frac{K^2\tau^2}{8d^4}.$$

如果进而考虑三阶偏导项, 则可求得七阶矩阵的热扩散补偿系数(此时除上述方向外, 还包括 $\tan^{-1}1/3$, $\tan^{-1}2/3$ 及与之空间对称的诸方向)。于是有:

$$\frac{\tau^3}{3!} T_{t^3} = \frac{\tau^3}{3!} \cdot \frac{\partial(T_{t^3})}{\partial t} = \frac{K^3\tau^3}{3!} (T_{x^3} + 3T_{x^2y} + 3T_{xy^2} + T_{y^3}),$$

$$\therefore \frac{\tau^3}{3!} T_{t^3} = \frac{K^3\tau^3}{3!d^6} [T_{m-3,n} + T_{m+3,n} + T_{m,n-3} + T_{m,n+3} - 12(T_{m+2,n} + T_{m-2,n} + T_{m,n+2} + T_{m,n-2}) + 3(T_{m+2,n+1} + T_{m+2,n-1} + T_{m-2,n+1} + T_{m-2,n-1} + T_{m+1,n+2} + T_{m+1,n-2} + T_{m-1,n+2} + T_{m-1,n-2}) - 24(T_{m+1,n+1} + T_{m+1,n-1} + T_{m-1,n+1} + T_{m-1,n-1}) + 57(T_{m-1,n} + T_{m+1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}) - 112T_{m,n}]. \quad (3)$$

将上式推广到对角线、 $\tan^{-1}1/3$ 、 $\tan^{-1}2/3$ 等方向, 则分别有:

1. 对角线方向

$$\begin{aligned} \frac{\tau^3}{3!} T_{i,j} = & \frac{K^3 \tau^3}{3!} \cdot \frac{1}{(\sqrt{2}d)^6} [T_{m+3,n+3} + T_{m+3,n-3} + T_{m-3,n-3} + T_{m-3,n+3} - 12(T_{m+3,n+2} + \\ & + T_{m+3,n-2} + T_{m-2,n-2} + T_{m-2,n+2}) + 3(T_{m+1,n+3} + T_{m-1,n+3} + T_{m+3,n+1} + \\ & + T_{m+3,n-1} + T_{m+1,n-3} + T_{m-1,n-3} + T_{m-3,n+1} + T_{m-3,n-1}) - 24(T_{m,n+2} + \\ & + T_{m,n-2} + T_{m+2,n} + T_{m-2,n}) + 57(T_{m+1,n+1} + T_{m+1,n-1} + T_{m-1,n+1} + T_{m-1,n-1}) - \\ & - 112T_{m,n}]。 \end{aligned} \quad (4)$$

2. $\tan^{-1}1/3$ 方向

$$\begin{aligned} \frac{\tau^3}{3!} T_{i,j} = & \frac{K^3 \tau^3}{2 \times 3! (\sqrt{10}d)^6} (T_{m+3,n+1} + T_{m-3,n+1} + T_{m+1,n-3} + T_{m-1,n+3} + \\ & + T_{m-3,n-1} + T_{m+1,n+3} + T_{m+3,n-1} + T_{m-1,n-3} - 8T_{m,n})。 \end{aligned} \quad (5)$$

3. $\tan^{-1}2/3$ 方向

$$\begin{aligned} \frac{\tau^3}{3!} T_{i,j} = & \frac{K^3 \tau^3}{3! (\sqrt{13}d)^6} (T_{m+3,n-2} + T_{m+2,n-3} + T_{m-2,n-3} + T_{m-3,n-2} + \\ & + T_{m-3,n+2} + T_{m-2,n+3} + T_{m+2,n+3} + T_{m+3,n+2} - 8T_{m,n})。 \end{aligned} \quad (6)$$

将式(3)~(6)代入式(1)后,可求得七阶矩阵热扩散补偿系数,见图5,其中阿拉伯数字分别代表各点象素,且示意热扩散的先后顺序。热扩散补偿系数值如下:

$$\begin{aligned} b_{00} = & 1 + \frac{6K\tau}{d^2} + \frac{617K^2\tau^2}{50d^4} + \frac{21063K^3\tau^3}{1000d^6}; & b_{10} = & -\frac{K\tau}{d^2} - \frac{4K^2\tau^2}{d^4} - \frac{57K^3\tau^3}{6d^6}; \\ b_{11} = & -\frac{K\tau}{2d^2} + \frac{135K^3\tau^3}{48d^6}; & b_{20} = & \frac{3K^2\tau^2}{4d^4} + \frac{5K^3\tau^3}{2d^6}; \\ b_{21} = & \frac{K^2\tau^2}{50d^4} - \frac{K^3\tau^3}{2d^6}; & b_{22} = & \frac{K^2\tau^2}{8d^4} + \frac{K^3\tau^3}{4d^6}; \\ b_{30} = & -\frac{K^3\tau^3}{6d^6}; & b_{31} = & -\frac{751K^3\tau^3}{12000d^6}; \\ b_{32} = & -\frac{K^3\tau^3}{13182d^6}; & b_{33} = & -\frac{K^3\tau^3}{48d^6}。 \end{aligned}$$

借助以上热扩散补偿系数,可得到如下复原方程:

$$T(x, y, 0) = b_{00}T_{m,n} + b_{10}(T_{m-1,n} + T_{m+1,n} + T_{m,n+1} + T_{m,n-1}) + b_{11}(\dots) + \dots \quad (7)$$

式中 $T_{m,n}$, $T_{m-1,n}$ 等分别表示四十九个象素温度分布值, $T(x, y, 0)$ 为七阶矩阵内中心象素经补偿后的理想温度分布值。

根据不同的热释电材料及斩波频率,确定热扩散系数 K 及时间常数 τ , 象素间距 d 取 $140 \mu\text{m}$, 这样就可确定 b_{ij} 的具体数值。在系统实现过程中,须将以上算法与试验法相结合,以选择最佳 b_{ij} , 于是可根据式(7)的模型,构成一个七阶矩阵系数增强系统框图,如图6所示。

图6是一个七阶矩阵运算系统,即从水平、垂直、 $\tan^{-1}1/2$ 、 $\tan^{-1}1/3$ 、 $\tan^{-1}2/3$ 等方向的象素群共四十九个象素提取校正信号,这与五阶矩阵只提取二十五个象素相比,补偿精度已有显著提高。如图6所示,输入为6bit数字信号,依次经六个行存贮器延迟后分别送入七个移寄存器中。运算部分的功能是组合移寄存器输出的四十九个象素信号。运算单元应有合适的毕特容量且应满足实时要求,并行加法器具有快速进位链,乘法可化成2的幂的线性

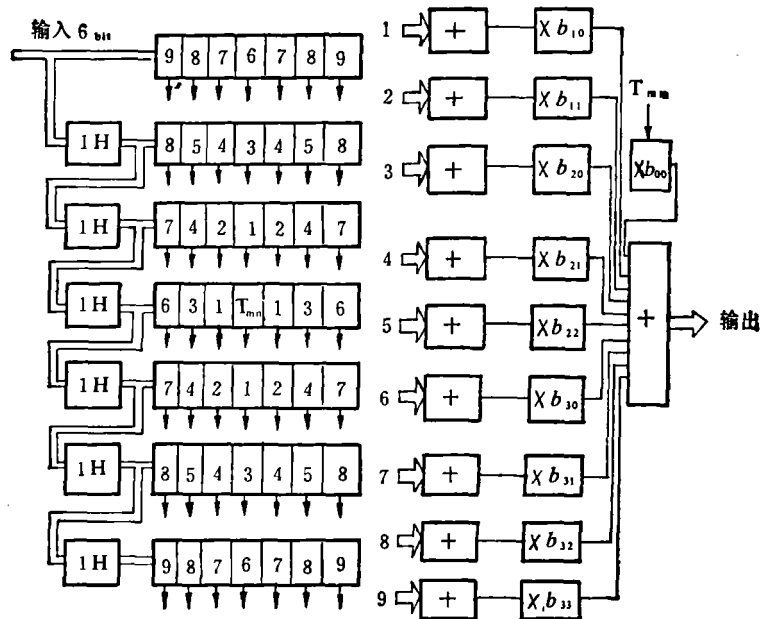


图6 七阶矩阵热扩散补偿系统框图

组合或用查表实现,这些都是简化硬件系统、提高速度的措施。系统的输出即为数字增强信号。

热释电热成象系统的分辨力比普通可见光电视系统差得多。导致热象系统分辨力低劣的主要原因是 PEV 靶面的热扩散效应,其热扩散速率很快,由七阶矩阵系数的计算可知,即便是 $b_{30} \sim b_{33}$ 这些最外层的热扩散补偿系数值也是很可观的,不能忽略。一般可见光电视系统由于仅考虑电子束孔径效应,所以补偿只限于相邻较近的几个象点就可以了。步长稍远一点的系数值很小或趋于零,它们对于中心象素的重新赋值基本上没有贡献。因此,要想把热象系统的分辨力提高到可见光电视系统的水平,需要解决许多问题,除改善 PEV 本身的材料及加工工艺外,在信号处理方面,如图象信号的增强、恢复等补偿也是很重要的。对影响热象系统清晰度的主要因素热扩散效应采取加重补偿是很必要的。如果还是局限于少数相邻象点的补偿,已不能满足高精度补偿的要求。因此在器件的速度和容量允许的前提下,适当提高补偿矩阵阶数是完全必要的。因而,以上将热扩散补偿系数推广到七阶矩阵,无论从理论上还是实践上都是很有意义的,因为它从原理和方案上为热象数字增强提供了新的途径。近来,满足实时要求的新型器件正在飞速发展,半导体存储器用作数字图象帧存储器在国外已达到实用阶段。容量为 256 Kbit 的随机存取存储器已经问世。随着 LSI、VLSI 的不断发展,国内高速 TTL 和超高速 ECL 器件已陆续出现,CCD 等新型器件的研制也取得可喜进展。这些都为上述数字系统的可实现性、提高速度以及不断降低成本创造了极为有利的条件。

五、结 论

从本文对实时红外热象增强技术的研讨过程中,我们得到下面几点看法:

1. 本文论述的实时红外热象增强原理、方法及实现技术可供热释电热成象系统及其它实时热成象系统参考。经模拟实验研究表明,热象模拟轮廓增强方案是有效可行的。在具体的热释电热成象系统中,采用该方案所得到的热图象较之处理前的热象在清晰度和判读效果上有所提高(见图4)。

2. 模拟增强实验表明,热象轮廓增强与可见光电视系统的孔阑校正不同。主要区别在于热释电热成象系统强调热扩散影响分解力;而可见光电视系统的孔阑畸变只强调电子束孔径使清晰度下降。前者的视频带宽比后者窄得多,增强频率也比后者低得多。对于热释电热成象系统,在兼顾信噪比的前提下,只有适当提高增强量才能获得满意的增强效果。

3. 在数字增强方面,本文依据数值计算的高阶有限差分理论,将热扩散补偿系数推广到七阶矩阵,并给出了七阶矩阵系统框图,为实时热象的高精度补偿提供了新的实现技术。

4. 实时性不强的静态图象与高帧速实时图象在处理手段上是有区别的。前者一般采用微处理机或中、小型计算机软件在空间域中完成;后者一般采用硬件在时间域中实现。但两者在原理方法上却往往能相互补充、渗透。如本文论述的局部直方图均衡及热扩散补偿方法就是软件硬化的实例;另外,实时图象处理的硬系统往往需要计算机辅助设计。这些都表明图象处理技术中的软硬结合是一个值得注意的趋向。它将对实时红外热图象增强技术发生影响。

致谢——本文在撰写过程中,曾得到我院张守一教授、西安交通大学陈贻桂教授的支持和帮助,谨此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 黄铁侠,谈新权,华中工学院学报,(1980),3,83~92.
- [2] 冯康等,数值计算方法,国防工业出版社,1978.
- [3] Pratt W. K., *Digital Image Processing*, N. Y.: Wiley, 1978.
- [4] Ketcham David I., *Proc. SPIE*, **74** (1976), 120~125.
- [5] Rossi Jehn P., *J. Soc. Motion Pict. and Telev. Eng.*, **84** (1975), 535~551.
- [6] Baker Daniel G., *U. S. Patent*, 4160276, 1977.
- [7] 村上敬之助,テレビジョン学会志, **368** (1979) 4, 289~291.
- [8] 榎本肇,画像の情報処理,コロナ社,1978.
- [9] 寺西昭男,テレビジョン学会志, **390** (1981), 2, 136~142.

STUDY OF ENHANCEMENT TECHNIQUES OF REAL TIME INFRARED THERMAL IMAGE

LI LAYUAN, HUANG TIXIA

(Department of Information Science, Huazhong Institute of Technology)

ABSTRACT

The enhancement techniques of the real time infrared thermal image, its theory and main methods are discussed. Emphasis is laid on the enhancement techniques of thermal image contour. The concrete project for realizing analog contour enhancement of the real time thermal imaging system is put forward, and the experimental results are shown. The authors have corrected the results of calculation in ref. 9 about the digital contour enhancement, and have enlarged the order of matrix from five to seven, thus providing a new technique for real time thermal image enhancement.