

一种易于硬件实现的红外图像实时增强算法^{*}

陈 洪, 常 青, 郭天天, 陈一鸣

(国防科技大学 ATR 实验室, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 根据红外图像的特性, 对常用的图像增强算法进行了详细分析, 提出了采用平台直方图均化和增强高通滤波加权平均的红外图像增强算法。该算法具有良好的图像增强能力, 且易于采用 FPGA 达到实时图像增强的效果。

关键词: 红外图像; 平台直方图; 增强高通滤波; 图像增强

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)03-0282-06

Real-time infrared image enhancing algorithm easy to implement^{*}

CHEN Hong, CHANG Qing, Guo Tian-tian, CHEN Yi-ming

(ATR Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Commonly used image enhancing algorithm is analyzed based on the character of infrared image, and a infrared image enhancing algorithm using plateau histogram and enhanced highpass filtering is also put forward. This algorithm which is easy to implement using FPGA has excellent image enhancing and real-time performance.

Key words: Infrared image; Plateau histogram; Enhanced high-pass filtering; Image enhancement

0 引 言

红外成像制导是利用目标和背景之间的热辐射差, 形成目标和周围景物的图像来实现自动导引的制导方法, 具有很强的抗干扰、探测微弱目标、实现对目标的自动识别和跟踪等方面的能力, 是精确制导技术的主要发展方向。红外图像不像可见光图像那样具

有丰富的层次, 而更多地表现为低对比度, 尤其是目标在很远的地方或辐射不是很强时, 目标将淹没于大片的背景中, 给目标识别带来了困难, 因此必须对获取的红外图像进行预处理增强。

红外图像增强不同于一般的图像增强, 首先, 这是由红外探测器的工作过程决定的。当探测器距离目标较远时, 红外图像灰度值和信噪比都很低, 目标在像平面上为点目标或斑点目标。当目标不断接近

收稿日期: 2003-06-09; 修订日期: 2003-11-13

^{*} 基金项目: 国家 863-409 资助项目

作者简介: 陈洪(1974-), 男, 四川大邑人, 工程师, 少校军衔, 博士生, 主要从事专用集成电路设计、数字图像处理和航天测控通信方面的研究, 在国内核心期刊上发表论文 10 余篇。

时,目标在像平面上由点目标逐渐变为面目标,图像灰度具有较大的动态范围。因此,红外图像增强算法必须在较大的图像灰度动态范围内,点目标和面目标均具有较强的增强效果。其次,在末制导阶段,红外导引头对目标的跟踪和攻击点选择完全依赖于探测器获得的红外图像,红外图像增强算法必须具有很强的实时性,最好用硬件实现。国内对红外图像增强主要采用线性灰度变换法和直方图均化法提高图像对比度或采用 Sobel 微分算子进行边缘增强,效果均不是很理想。针对红外图像的特性提出了一种平台直方图均化和增强高通滤波加权平均的图像增强算法,该算法易于采用 FPGA 进行硬件实现,适用于红外探测器的各个工作阶段,具有较好的图像增强性能。

1 常用的图像增强算法

1.1 灰度变换法

灰度变换法是将图像灰度级整个范围或其中某一段范围扩展或压缩到记录器件输入灰度级动态范围内,以便充分利用记录器件灰度级动态范围显示输出图像的细节。灰度变换算法简单,易于实现,根据原始图像灰度级范围和记录器件灰度级动态范围之间的不同关系,可以采用不同的灰度变换公式进行图像增强。假如整个图像灰度值较低,灰度级范围为 (A, B) , 为将其灰度范围扩展为 (Z_1, Z_k) , 可以采用下面的灰度变换公式:

$$Z = T(Z) = \begin{cases} \frac{(Z_k - Z_1)(Z - A)}{B - A} + Z_1 & (A \leq Z \leq B) \\ Z_1 & (Z < A) \\ Z_k & (Z > B) \end{cases} \quad (1)$$

根据公式(1), 取 $(A, B) = (0, 0.5)$, $(Z_1, Z_k) = (0, 0.9)$ 分别对 COUPLE 图像和 GIRL 图像进行灰度变换, 变换前后的图像及相应的灰度直方图如图 1 和图 2 所示。

从公式(1)可以看出,灰度变换法的实质是将较小的灰度空间按线性关系扩展到范围较大的灰度空间。但由于 (A, B) 区间的灰度得到增强,变换后图像灰度高端的对比度必然降低。从图 1(b)的直方图中可以看出原始图像灰度级比较集中,经灰度变换后图

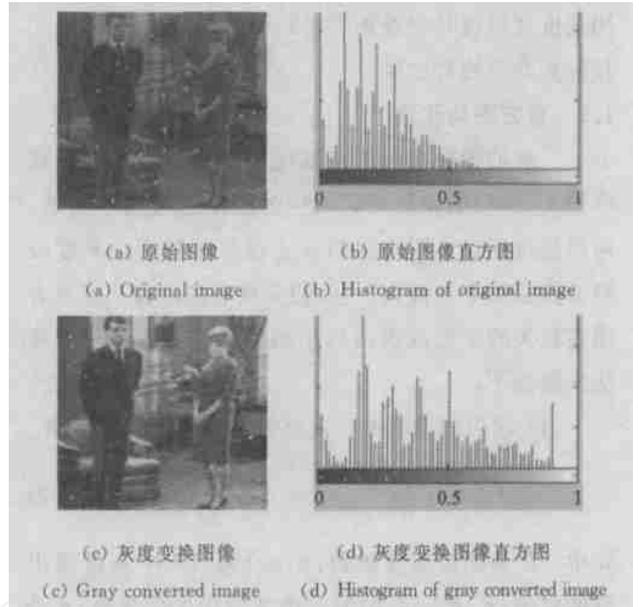


图 1 COUPLE 图像线性增强效果

Fig. 1 Linear enhanced effect of COUPLE image

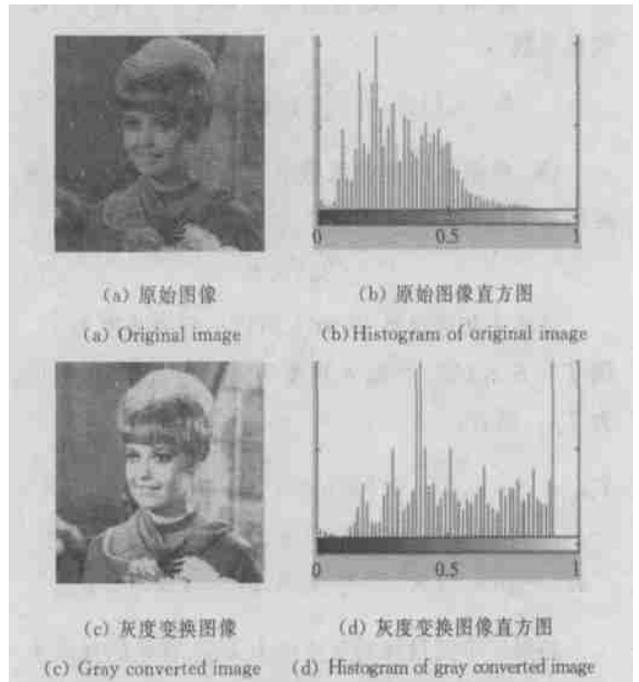


图 2 GIRL 图像线性增强效果

Fig. 2 Linear enhanced effect of GIRL image

像对比度得到很好的增强。图 2 中原始图像灰度变化范围较大,经灰度变换后,灰度值较低的区域得到很好的增强,但灰度高端如头发、胸花等部位由于对比度下降层次感反而降低。红外探测器离目标较远时,获得的图像普遍灰度值较低,采用灰度变换法会得到较好的效果。但随着红外探测器越来越接近目标,图像灰度动态范围扩大,目标灰度值越来越高,采

用灰度变换法时背景灰度得到很大提升,因而降低了目标和背景的对比度。

1.2 直方图均化法

一般的图像在低值灰度区间上像素点出现的频率较大,这种图像较暗区域中的细节通常看不清楚。可以通过用直方图均化的方法让频率较小的灰度级经变换后频率变得大一些,使变换后的图像灰度直方图在较大的动态范围内趋于均衡。直方图均化的算法步骤如下:

(1) 求出图像中某一灰度级像素点出现的概率

$$p(a_k) = \frac{n_k}{n} \quad (k = 0, 1, \dots, L-1) \quad (2)$$

式中 L 为图像灰度级数; $p(a_k)$ 为第 k 个灰度级出现的概率; n_k 是图像中第 k 个灰度级的像素数; n 是图像总像素数。

(2) 求出某一灰度级的累计概率分布作为灰度变换系数

$$S_k = T(a_k) = \sum_{j=0}^k p(a_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad (3)$$

(3) 根据灰度变换系数求出各像素点图像增强后的灰度值(取 $L = 255$)

$$T_k = 255 \times S_k \quad (4)$$

设输入灰度级是 a_i , 直方图均化后的灰度为 T_i , 则 $T_i = S_i \times 255$, 当输入灰度为 a_{i+1} 时, 设输出灰度为 T_{i+1} , 则有:

$$\begin{aligned} T_{i+1} &= S_{i+1} \times 255 = [p(a_0) + p(a_1) + \dots + p(a_i) + \\ & p(a_{i+1})] \times 255 = [p(a_0) + p(a_1) + \dots + p(a_i)] \times \\ & 255 + p(a_{i+1}) \times 255 = T_i + p(a_{i+1}) \times 255 \end{aligned}$$

如果一个面目标的灰度级为 a_{i+1} , 背景的灰度为 a_l , 设面目标像素点出现的概率 $p(a_{i+1})$ 为 5%, 则相邻灰度级图像经过直方图均化灰度级增加 $p(a_{i+1}) \times 255 = 5\% \times 255 = 12.75$ 。即原始图像中目标与背景之间只差一级灰度, 经直方图均化后相差 13 级灰度, 因此目标得到了很好的增强。图 3 为直方图均化的效果图。

从直方图均化的过程可以看出, 某灰度级图像增强的程度是和该灰度级的累计概率分布成正比的。对一般图像而言, 背景和背景占有较多像素, 通过直方图均化法加大了背景和背景的对比度。但是从红

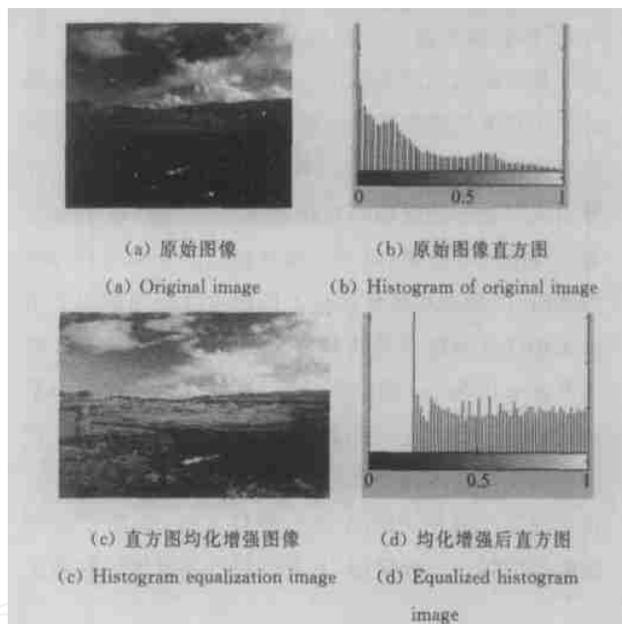


图 3 直方图均化效果

Fig. 3 Image enhanced effect using histogram equalization

外探测器初期获得的图像中看出, 目标为斑点目标, 占有的像素点少, 灰度增加幅度小, 而背景占有像素多, 灰度得到很大增强, 因此直接采用直方图均化反而会降低目标和背景的对比度。

1.3 微分算子法

为了突出图像的精微结构, 或者增强图像中已经模糊化的细节, 可以采用各种微分算子对图像进行卷积运算以达到锐化增强的目的。常用的微分算子主要有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子以及拉普拉斯算子, 以 Sobel 算子为例进行分析。Sobel 算子包括一对空间模板, 分别为:

$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

锐化处理后的输出图像 (i, j) 像素点的灰度值为:

$$y(i, j) = \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 h_1(n, m) x(i-n, j-m) + \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 h_2(n, m) x(i-n, j-m) \quad (5)$$

式中 $x(i, j)$ 为原始图像中 (i, j) 像素点的灰度值。

Sobel 算子图像锐化增强效果如图 4 所示。从 Sobel 算子的模板可以看出, 在图像灰度变化大的区域(如目标和背景的分界处), 经过 Sobel 算子卷积运算



图 4 Sobel 算子图像增强效果

Fig. 4 Image enhanced effect using Sobel operators

后图像会进一步增强。但是在灰度变化小的区域,进行卷积运算时由于隔行和隔列像素点的灰度互相抵消,图像将变暗。因此微分算子法具有很强的图像边缘检测能力,对点目标则不适用。图 4 中斑点和云层的边缘被检测出来,而云层内部尽管灰度值很大,但经 Sobel 算子卷积运算后为低灰度值点。探测器后期获得的红外图像中目标为面目标,采用微分算子法只能检测出目标的轮廓,不利于后续的攻击点选择。

2 红外图像增强算法

2.1 平台直方图增强法

从上述分析得知,对点目标而言,因为目标像素点出现的频率较大,因此采用直方图均化能起到很好的图像增强效果,但是当目标是点目标或斑点目标时,直接采用直方图均化将使背景出现过饱和而使目标淹没于背景中。

假设图像中待检测的目标为斑点目标,灰度级为 a_{i+6} ,在图像中出现的频率为 0.5%,背景的灰度级为 a_i ,且假设图像中没有灰度为 $a_{i+1}, a_{i+2}, a_{i+3}, a_{i+4}$ 和 a_{i+5} 的像素,即 $p(a_{i+1}), p(a_{i+2}), p(a_{i+3}), p(a_{i+4}), p(a_{i+5})$ 均为 0,则直方图均化后,目标的输出灰度级为:

$$T_{i+6} = S_{i+6} \times 255 = [p(a_0) + p(a_1) + \dots + p(a_{i+5}) + p(a_{i+6})] \times 255 = [p(a_0) + \dots + p(a_i)] \times 255 + [p(a_{i+1}) + p(a_{i+2}) + p(a_{i+3}) + p(a_{i+4}) + p(a_{i+5}) + p(a_{i+6})] \times 255 = T_i + p(a_{i+6}) \times 255 = T_i + 0.5\% \times 255 = T_i + 1.275$$

因此 $T_{i+6} - T_i = 1.275 < 2$,即由于目标像素点出现的

频率小,经过直方图均化后,目标和背景之间的灰度级差由原始图像中的 6 级变为不到 2 级,目标和背景之间的对比度反而降低了。

从直方图均化的算法步骤得知,通常的直方图统计是将落在某一个灰度级上的所有像素点都统计在内,由于背景占有较多的像素点,灰度得到较大提升,从而压缩了目标的灰度扩展空间。因此,可以采用平台直方图的算法,在统计直方图时给落在某一个灰度级上的像素点数设置一个上限值,即平台值,重新进行直方图统计,即:

$$p(a_k) = \begin{cases} n_k/n & n_k < P \text{ 时} \\ P/n & n_k > P \text{ 时} \end{cases} \quad (6)$$

因此平台直方图均化的本质是适度限制背景和噪声灰度的增强,为目标细节的提升留出灰度空间,该算法的效果和平台值 P 的选取直接相关。通过仿真发现对普通的红外图像而言,平台值取 100 以内的正整数时,能起到很好的图像增强效果,平台直方图均化效果如图 5(c) 所示。从图 5 可以看出,斑点目标经直方图均化后反而被淹没在背景中,而采用平台直方图均化方法,既增强了图像,同时又保留了图像中的斑点目标。



图 5 平台直方图均化效果

Fig. 5 Image enhanced effect using plateau histogram equalization

2.2 增强的高通滤波法

从图 5 看出,尽管采用平台直方图算法在增强图像的同时保留了斑点目标,但目标和背景的对比度与原始图像相比降低了。因此,一个自然的想法就是对图像进行锐化处理,将目标提取出来。而采用微分算子,虽然能检测出斑点目标,但对点目标则只能检测出边缘。因此采用空域增强高通滤波的方法,既检测出了点目标,又保留了面目标的特性。

基本的高通滤波算子为：

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

从该算子可以看出,采用基本高通滤波的方法也只能检测出图像中的点目标和面目标的轮廓,由此想到,在高通滤波图像的基础上迭加上原始图像,既可以提取出图像中的点目标或斑点目标,又保留了图像中的面目标。考虑到红外图像本身灰度值较低,经过高通滤波后图像灰度值更低,因此可以将高通滤波图像先乘以放大因子 A ,然后再和原始图像迭加,得到增强的高通滤波图像,即：

$$\text{增强高通滤波图像} = \text{基本高通滤波图像} \times A + \text{原始图像}$$

为实现上式,相应的增强高通滤波算子应为：

$$H = hA + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \frac{A}{9} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

取 $A = 3$, 得到的增强高通滤波效果如图 6(c) 所示。

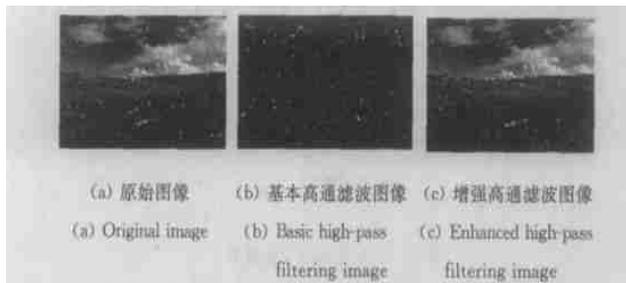


图 6 增强高通滤波算法效果

Fig. 6 Image enhanced effect using high-pass filtering algorithm

从图 6 可以看出采用增强高通滤波方法得到的图像和原图像更加相象,既利于检测图像中的点目标或斑点目标,又保留图像中的面目标信息。因此,对探测器初期获得的红外图像,可以用增强高通滤波方法检测点目标或斑点目标,在后期的红外图像中,利用增强高通滤波方法可以保留图像中的面目标信息。但是从图 6 也可以看出,当目标和背景灰度非常接近

并且灰度值都很低时,采用增强高通滤波的方法无法分离出目标。

2.3 加权平均的图像增强算法

从前面的分析看出,采用平台直方图均衡化能获得很好的图像增强效果,但是会降低斑点目标和背景的对比度。采用增强高通滤波法在保留面目标特性的同时能检测出斑点目标,但当目标和背景灰度值比较接近,且灰度值都很低时,不易分离出目标。为此,针对两者各自的优缺点,采用这两种图像增强算法取加权平均的方法用于红外图像增强。增强算法示意图如图 7 所示。

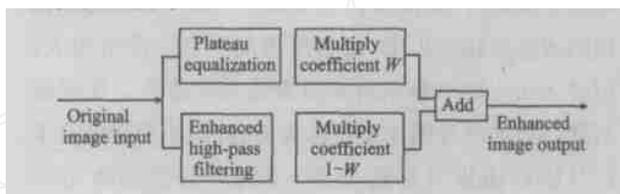


图 7 本文图像增强算法

Fig. 7 Image enhancing algorithm in this paper

取平台值 $P = 80$, 加权系数 $W = 0.7$, 增强高通滤波算子中 $A = 3$ 对图 4 的原始图像进行增强,增强效果如图 8(d) 所示。

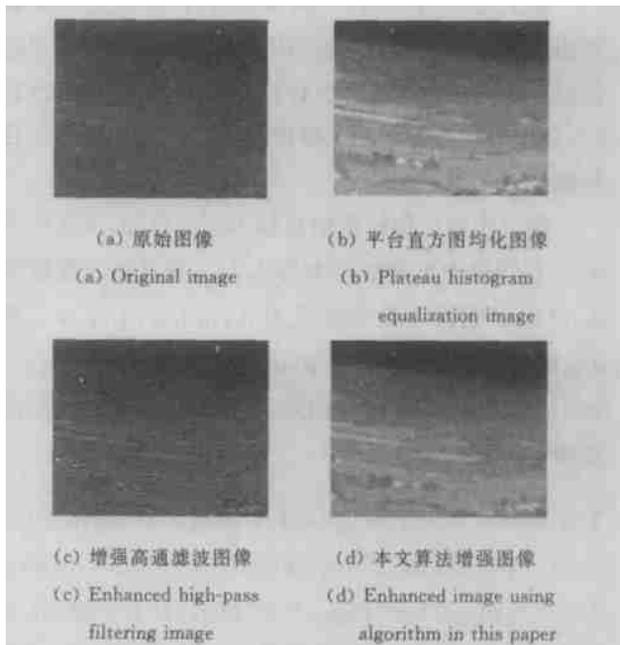


图 8 本文图像增强算法效果图

Fig. 8 Image enhanced effect using algorithm in this paper

从图8可以看出,采用本文的图像增强算法,既能对整幅图像进行增强,同时又能提取出图像中的斑点目标。因此,该算法在红外探测器的各个工作阶段对图像增强均能起到很好的作用。该算法中平台直方图均化运算和空域增强高通滤波均很容易采用FPGA硬件实现,在红外视频图像的场正程读入灰度图像,在场的逆程进行平台直方图均化和增强高通滤波处理,将计算结果放入FPGA片内的查找表中,在下一场的正程时读入上一场逆程存入的灰度数据,根据上一场逆程生成的查找表进行图像增强灰度变换。因此,该算法采用FPGA不仅易于实现,还能使探测器获得的红外图像达到实时增强输出的效果。

3 结束语

图像增强算法根据图像特性和增强图像的不同用途具有很大的针对性,文中根据红外图像的特性,

(上接第273页)

5 结论

研究表明,神经网络在学习训练过程中,能将以往的经验有效地归纳和推理,并具有自适应能力和在实践中不断地积累、提高和完善的自学习特点。

神经网络模型应用于激光强化处理零件时,可以合理地选择激光加工工艺参数,迅速而准确地控制激光强化处理材料表面强化类别,保证强化质量,确保零件最终能获得要求的工作质量和性能。

参考文献:

- [1] 王大承,史晓强,张永康,等. 激光加工技术及其在摩托车工业中的应用[J]. 电加工与模具, 2001, (2): 9-13.
- [2] 李俊昌. 激光热处理优化控制研究[M]. 北京:冶金工业出版社, 1995. 13-45.
- [3] Mazumder J, Steen W M. Heat transfer model for cw laser material processing[J]. Appl Phys, 1980, 51(2): 941-947.
- [4] Basu B, Date A W. Numerical study of steady state and transient laser

深入分析了直方图均化和空域高通滤波的本质,提出了采用平台直方图均化和增强高通滤波加权平均的算法。该算法对红外探测器各工作阶段获取的红外图像均具有较好的图像增强效果,且易于采用FPGA硬件进行实时图像增强。

参考文献:

- [1] 黄贤武,王加俊,李家华. 数字图像处理与压缩编码技术[M]. 成都:电子科技大学出版社, 2000.
- [2] 孙即祥. 数字图像处理[M]. 石家庄:河北教育出版社, 1991.
- [3] 张兆礼,赵春晖,梅晓丹. 现代图像处理技术及MATLAB实现[M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.
- [4] 傅平. 适用小型化红外热像仪图像处理系统实现[D]. 成都:电子科技大学, 2000.
- [5] Silverman J, Mooney J M, Vickers V E. Display of wide dynamic range infrared images from P-Si Schottky barrier cameras[J]. Optical Engineering, 1990, 29(2): 97-104.
- [6] melting problem I: characteristics of flow field and heat transfer[J]. Heat Mass Transfer, 1990, 33(6): 1149-1163.
- [5] 徐佐仁,许国桢. 激光加热时温度场与相变过程研究[J]. 上海交通大学学报, 1991, (2): 57-64.
- [6] 李俊昌, R 谢瓦利埃 J M 兰热. 激光热处理温度场及相变硬化带快速计算[J]. 中国激光, 1997, 24(7): 665-672.
- [7] 虞钢,安永强,胡幼娟. 激光加工中传热相变过程的焓解法[J]. 中国激光, 2000, 27(10): 934-936.
- [8] 吴钢,石娟,戴忠森. 激光淬火零件内部温度及硬化后深度的近似计算[J]. 应用激光, 1999, 19(3): 112-114.
- [9] Chan C H. Laser in metal surface modification[J]. Metallurgical Transactions A, 1984, 15: 719-728.
- [10] Mazumder J. Effect of laser power on heat treatment of metals[J]. Journal of Metals, 1983, 35(5): 18-26.
- [11] 王大承,史晓强,张永康,等. 20CrMo 合金结构钢激光表面强化研究[J]. 激光杂志, 2001, 22(5): 66-67.
- [12] 张际先,宓霞. 神经网络及其在工程中的应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1996. 68-120.
- [13] 闻新,周霞,王丹力,等. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京:科学出版社, 2000. 88-266.
- [14] 王大承,史晓强. 摩托车正时链轮的激光表面相变硬化工艺研究[J]. 新技术新工艺, 2001, (9): 21-23.