

· 电路与控制 ·

基于 DSP 的激光打标运动控制卡的设计与实现

肖 盼

(武汉科技大学 冶金自动化与检测技术教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430081)

摘 要:激光打标系统的核心问题是如何控制激光头的精确运动. 插补和校正算法是激光打标系统数据处理的重要组成部分, 直接影响到打标结果的质量和效果. 介绍了以 DSP-BF533 为硬件平台, 采用优化的直线插补算法和畸变校正算法来设计的打标运动控制系统. 该系统成功完成了按照打点精度对矢量图形数据的良好输出, 实现了对激光头的精确控制, 提高了激光打标系统的打标精度.

关键词:激光打标; BF533; 插补; 校正; 控制器

中图分类号: TN249

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0058-06

Design and Implementation of Laser Marking Controller based on DSP

XIAO Pan

(Wuhan University of Science and Technology, Engineering Research Center of Metallurgical Automation and Measurement Technology, Ministry of Education, Wuhan 430081, China)

Abstract: How to control the movement of the laser head accurately is the core problem of laser marking system. Interpolation and calibration algorithm, which directly affect the quality and results of marking, are the most important part of laser marking system. A marking motion control system is introduced, which makes use of DSP-BF533 as a hardware platform and adopts the optimization of linear interpolation algorithm and the calibration algorithm. The system successfully obtains a satisfactory output of vector graphics based on the marking precision, therefore, enhances the processing precision of marking.

Key words: laser marking; BF533; interpolation; calibration; controller

激光是一种与普通光源截然不同的相干光源, 由于其具有高方向性、高单色性和高能量的特点, 激光打标技术是激光加工最大的应用领域之一. 激光打标是利用高能量密度的激光束对目标作用, 使目标表面发生物理或化学的变化, 从而获得可见图案的标记方式. 高能量的激光束聚焦在材料表面上, 使材料迅速汽化, 形成凹坑. 随着激光束在材料表面有规律地移动, 同时控制激光的开断, 激光束也就在材料表面加工成了指定的文字、符号和图案, 字符大小可以从毫米到微米量级. 激光打标技术被广泛应用

于各种机械零部件、电子元器件、集成电路模块、仪器、仪表、铭牌、量具、工具、餐具、珠宝、首饰、键盘按键、食品包装等产品的生产加工上^[1].

激光打标与传统的标记工艺相比有很明显的优势: 标记速度快, 字迹清晰、永久; 可对决大多数金属和非金属材料进行加工; 能对“毫米级”尺寸大小的零件表面进行标记; 非接触式加工; 无污染, 无磨损; 操作方便; 防伪功能强; 可以做到高速自动化运行, 生产成本低. 因此激光打标具有广阔的应用前景.

收稿日期: 2009-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助(60705035); 湖北省教育厅科研项目优秀中青年项目(Q20091103); 武汉市青年科技晨光计划项目(200950431200); 湖北省高校产学研合作资助重点项目(CXY2009B006)

作者简介: 肖盼(1987-), 男, 湖北武汉人, 学士, 主要研究方向为自动控制.

1 激光打标系统原理和设计

1.1 激光打标机系统的组成

(1)激光器:它产生高能脉冲激光束或连续激光束.

(2)光学系统:用于把激光束引向并聚焦于被标记的工件加工表面上,产生点、线形式的字符或图案.它包括聚焦透镜组、光导纤维、振镜扫描器、声光偏转调制器.

(3)计算机及软件、硬件控制系统.

(4)辅助系统:如激光器冷却系统及辅助吹气循环系统等.

(5)工作台和主机.

系统组成图如图 1 所示.

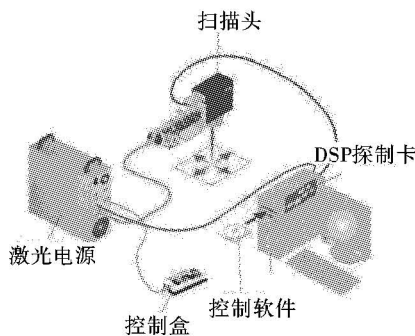


图 1 系统组成图

1.2 激光打标系统运行流程

激光打标系统运行流程如图 2 所示.

图 2 中上位机软件实现的功能是将设计的矢量图和位图的属性以及设定的插补精度保存,并传给 DSP,DSP 根据不同的属性值判断出其是什么图形,并对具体的情况按照程序设定的方式进行插补、校正等运算,最后得到可以打出图形的点,然后将这些点从 SPORT 口经过 DA 转换输出,直接控制电机使激光在平面内运动,这样就烧刻出了图形.

1.3 图形数据处理方式

目前对打标系统数据进行处理的模式大致可以分为 2 类,第一类是在上位机软件上设计的图形和文字信息保存时将所有点的坐标数据保存,然后打标时送给控制器的是已经过插补和校正的点的坐标数据,这样直接用这些点来控制电机和激光头的运行

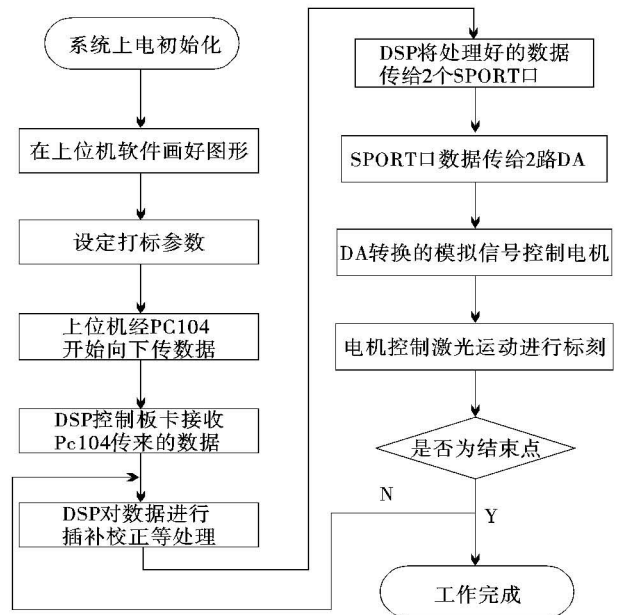


图 2 系统运行流程图

从而来完成激光打标任务;另外一类是在上位机软件上设计的图形和文字信息保存时只保存图形属性和关键点的坐标,所以图形信息的完成需要数字处理器根据上位机传下来的参数对图形进行插补和校正,然后再将这些点通过输出口经过 DA 转换去控制电机和激光头,最终实现目标.

以上介绍的 2 种数据处理的模式各有特点,前者是在上层软件上实现了整幅图面的点的处理,这种纯软件的处理方式减轻了下面控制器的设计难度,但是它可能带来其他问题,就是存储容量不足的问题,因为要把整幅图对应的所有点的坐标数据信息传给控制板卡,如果插补精度设定的很高,那么处理器用来接收数据的存储器的容量就要足够大,对降低设计成本有一定的影响;对于第二种处理方式来说,上位机图形处理软件的工作量就要小一些了,因为插补校正等数据处理过程都要由 DSP 去处理,同时最后数据的输出也是由 DSP 完成的,所以可以采用一边处理一边输出数据的思想,这样就可以使存储器容量的要求降低,同时由于 DSP 芯片是专用数字处理器,所以在处理速度和精度上也都是可以满足要求的,文中介绍的是采用第二种方式设计实现的打标运动控制系统.

2 插补原理及其在系统的应用

插补是已知曲线上的某些数据,按照某种算法

计算已知点之间的中间点的方法,也称为“数据点的密化”。

2.1 激光打标系统中的插补

激光打标系统的插补是依照一定方法确定激光运动轨迹的过程。激光头是由2个电机分别控制沿x轴和y轴的运动,插补时DSP根据输入的基本数据,通过计算,把矢量图的形状描述出来,一边计算一边根据计算结果向各电机发出进给脉冲,对应每个脉冲,激光在相应的坐标方向上移动一个脉冲当量的距离,从而打出所设定的图形。

在图形软件上可以随意地设计出各种形状规则和非规则的矢量图来,但是对插补算法的实现上,都可以用直线插补,因为如果将任意图形放大到足够大,它是由很多微观的线段首尾相连组成的,所以任何矢量图形都可以看成是由无数的微小直线段组成的;因此对图形的插补就转换成了对这些直线段进行插补。插补是通过插补偏差函数和终点判别来具体实现的。

2.2 插补偏差函数

设需要被插补的直线的斜率用 a 表示,直线的起始点坐标为 $P_b(X_b, Y_b)$,终点坐标为 $P_e(X_e, Y_e)$,插补精度为 c ;设激光插补的第 n 个点的坐标为 $P_n(X_n, Y_n)$,插补偏差函数 F_n 定义如下

若, $F_n=0$ 即, $\frac{(Y_n - Y_b)}{(X_n - X_b)} = a$ 表示加工点位于直线上;

若, $F_n > 0$ 即, $\frac{(Y_n - Y_b)}{(X_n - X_b)} > a$ 表示加工点位于直线上方;

若, $F_n < 0$ 即, $\frac{(Y_n - Y_b)}{(X_n - X_b)} < a$ 表示加工点位于直线下方^[2]。

算出偏差函数 F_n 后就可以根据其值来计算后

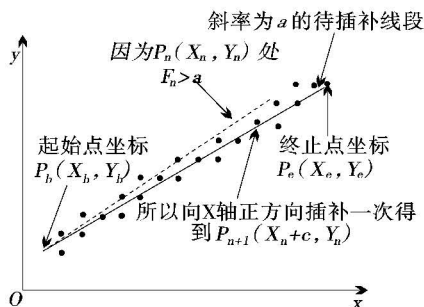


图3 插补算法示意图

一个插补点(如图3所示),若 $F_n \geq 0$,则规定向x轴正方向走一步,即 $X_{n+1} = X_n + c$ 且 $Y_{n+1} = Y_n$;若 $F_n < 0$,则规定向y轴正方向走一步,即 $X_{n+1} = X_n$ 且 $Y_{n+1} = Y_n + c$ 。

待插补直线可能是下面3种特殊情况中的一种:(1) $a=0$,即直线段与x轴平行时, $X_{k+1} = X_k + c, Y_{k+1} = Y_k; (k=0, 1, \dots, n)$;(2) $a=1$,即直线段与坐标轴的夹角为 45° 时, $X_{k+1} = X_k + c, Y_{k+1} = Y_k; X_{k+2} = X_{k+1}, Y_{k+2} = Y_{k+1} + c; (k=0, 1, \dots, n)$;(3) a 不存在,即直线与y轴平行, $X_{k+1} = X_k, Y_{k+1} = Y_k + c; (k=0, 1, \dots, n)$ 。

因此在对线段进行插补之前,首先对直线段进行了判断,如果是以上3种特殊情况中的一种,就直接执行相应的算法,而不必像对普通线段插补那样每插补完一个点之后都要算出当前点与起始点构成的直线段的斜率,这样就极大地提高了系统的效率。

2.3 终点判别

直线插补的终点判别可采用3种方法。

(1)判断插补或进给的总步数;

$$\text{即 } N = \frac{X_e - X_b}{c} + \frac{Y_e - Y_b}{c};$$

(2)分别判断各坐标轴的进给步数;

$$\text{即 } N_x = \frac{X_e - X_b}{c}, N_y = \frac{Y_e - Y_b}{c};$$

(3)仅判断进给步数较多的坐标轴的进给步数;

$$\text{即 } N_x = \frac{X_e - X_b}{c}, N_y = \frac{Y_e - Y_b}{c}.$$

若 $N_x > N_y$,则以 $N = N_x$ 对插补次数进行控制;若 $N_x \leq N_y$,则以 $N = N_y$ 对插补次数进行控制。在该激光打标系统中,算法中用到的是第一种方法,即根据需要插补的总步数与实际已经插补的点的个数进行比较,当两者相等时,本次插补结束。

3 畸变校正

在激光打标系统中,激光是先通过振镜然后才照射到被标刻的工件上的,由于振镜的作用激光器就成了非线性的,使得标准图元在经过激光器后的实际形状出现畸变^[3],从畸变的产生原理分析有:通过一定的坐标变换,改变待标刻图形的坐标值,从而使振镜多偏转或少偏转某一角度,达到校正畸变的目的,这样才能保证最后打出的图形不失真。在写畸变校正的算法前要把激光器的x轴校正参数,y轴校正参数和透镜的

焦距得到^[4],然后通过光学原理得出畸变校正的数学函数,在每个点由插补产生后都要经过这个光学函数校正,然后才输出给激光器,最后打出来的实际图形才会给人不失真的视觉效果.比如说现在想打出一个正方形如图 4a 所示,如果不进行校正,而是直接把各个点输出,那么实际打标产生的结果就会是一个与想象中不一样的图像,如图 4b 所示;所以为了得到想要的图形,就必须进行畸变校正,如图 4c 所示就是通过需要校正得到的坐标所对应的图形,最后将这些点通过激光烧刻出来就刚好得到了如图 4a 所示想要的理想图形.

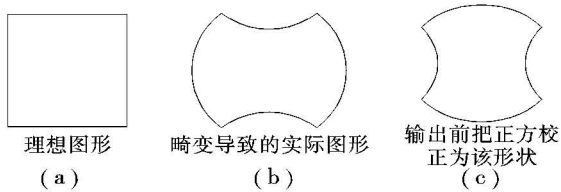


图 4 畸变校正说明示意图

4 系统中 DSP 硬件连接及实现

ADSP Blackfin533 处理器是美国模拟器件公司

(ADI)推出的一类嵌入式处理器,是专门应用在数字图像处理领域的,其运算能力强,接口丰富,可以方便地进行各种外设的扩展.系统中 ADSPBF533 采用了 ADI 公司和 Intel 公司联合开发的 MSA 构架技术,具有 600 MHz 时钟频率和 1.2 GMACS (每秒十亿次乘法累加运算)的运算速度,其内含 2 个 16 位乘法器,2 个 40 位累加器,2 个 40 位算术逻辑单元(ALU)及 1 个 40 位移位器^[5].由于 BF533 系列的高处理性能和对处理浮点算法的良好支持,方案选用它作为处理器来实现激光打标的数据插补和校正的硬件平台,而且在激光打标的过程中对每个点烧的时间要求误差不能很大,如果大量点烧刻时间过短或过长会使这个图形的明暗和深浅不一,产生色差,这样就影响了工艺的视觉效果,ADI 的 BF533 具有很高的处理速度,可以显著提高激光打标系统的输出效果.

BF533 在该打标系统中起着核心作用,它将上位机图形数据转换成了可以控制电机和激光头运动的控制信号.其原理框图如图 5 所示.

图 5 中的 PC104 和 CPLD 起到的作用是协调

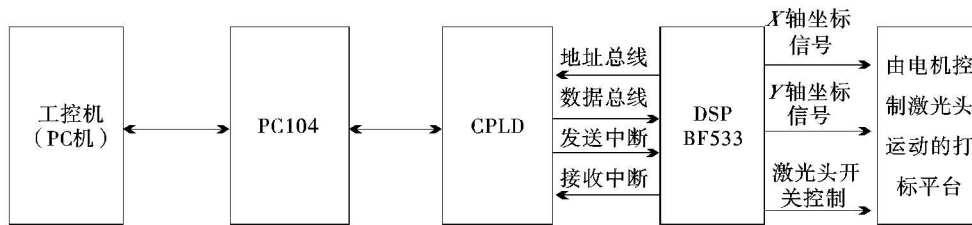


图 5 系统硬件框图

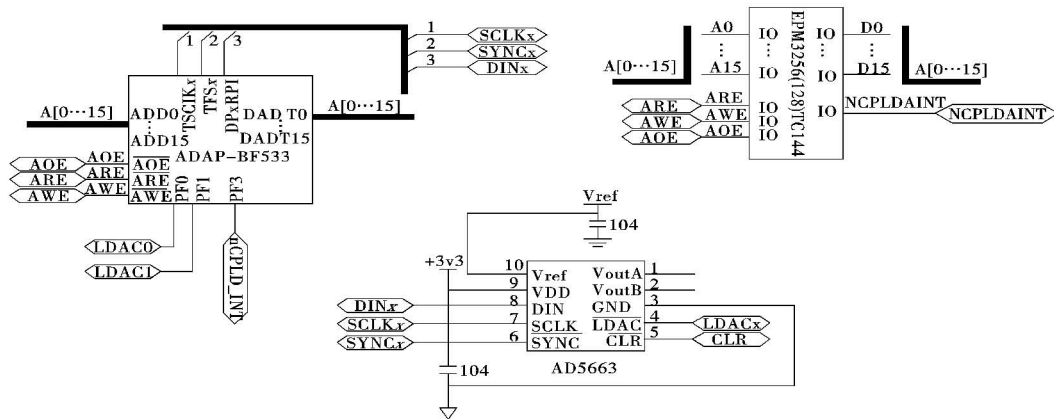


图 6 主要硬件电路

工控机向 DSP 传送数据时的速度匹配,当 CPLD 里收到 PC104 传来的数据后就会以外部中断

的形式如图 6 中所示的 nCPLD_INT 向 DSP 发送中断信号,表示有数据传给 DSP,设计中把 DSP 的

PF3,即可编程口的第 4 个管脚设置成外部中断模式,用来接收 CPLD 发来的 $nCPLD_INT$ 中断信号.如果 DSP 此时可以接收 CPLD 的数据,它就会执行向地址线写设计时规定的 CPLD 的器件地址,然后读 CPLD 里的数,此时 ARE、AOE 作为 CPLD 的控制信号,电平将自动发生相应的变化,使数据顺利被读到 DSP 的寄存器之中.但是,如果 DSP 此时正在执行优先级更高的程序时,它就不会立刻执行从 CPLD 读取数据的指令,而是等到把当前任务完成后再去响应 CPLD 发来的中断.DSP 从 CPLD 接收的数据包含的信息有:全局参数,标刻参数,插补校正参数,红光点数据等;DSP 接收到这些数据之后,首先会对数据进行校验,如果有错误会告知 CPLD 参数发送不成功.如果参数无误,DSP 将按照参数对数据进行插补、校正、红光等一系列的处理;处理后的点的坐标将被从 2 个 SPORT 口输出(如图 6),然后分别经过 1 个 DA 转换器 AD5663,因为 2 个 DA 转换电路完全相同,为了方便,所以在图 6 中只画了 1 个 DA 转换元件,接口处 DIN_x , $SCLK_x$ 和 $SYNC_x$ 等处的 x 取 0 和 1,分别表示 SPORT0 和 SPORT1 与 2 块 DA 转换芯片之间的通信;最后的模拟信号分别控制一个电机,这 2 个电机分别控制激光头的 x 轴方向和 y 轴方向的运动.

本系统在一次完整的打标中,激光头开和关分别只有一次,是否需要在某一坐标打下点是靠控制激光头在该处的停留时间来实现的,这种处理方式对打点延时时间的精确度提出了很高的要求,但是它执行起来的效率也是最高的.在打标开始后,首先激光头移动到起始点坐标处,然后激光此时由 DSP 控制打开,接下来激光头就按照 DSP 输出的数据进行移动和停留,直到最后激光头移动到轨迹的终点并且把点打完之后,DSP 会将激光束关断.轨迹上具体的某个坐标如果要打出点,则需要让激光头到达此坐标时停留一段时间,通过这段延时,激光就能在此处烧出点,这个时间就是打点延时.因为激光束的能量很高,打点时延时过长或不足都会在一定程度上影响最后的打标质量;所以对打点延时的控制必须很精确,通过理论计算和实际调试,最后得到了实际效果令人满意的打点延时时间.

5 实验测试与分析

仍然以插补一条直线段为例,将 DSP 控制板卡

的驱动程序和数据处理程序在 Visual DSP++ 5.0 里编译运行(如图 7 所示),然后用示波器观测 SPORT 口的结果,如图 8 所示.这个检测到的信号是插补点 x 的坐标对应的电压信号,为了检测方便,在程序中加了一个 while(1) 循环,所以观察到的信号就是周期性的了.在程序中由观测结果可知,示波器上的图形在一个周期内是一条上升的直线,这是因为插补的直线是单调上升的一条直线;这个证明了该系统中的算法成功地实现了插补和校正.

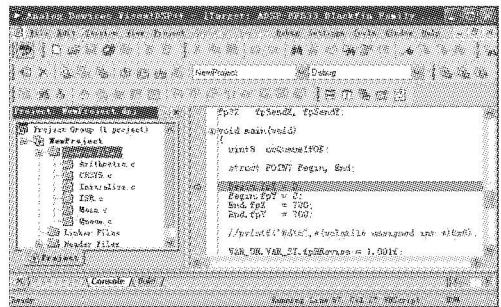


图 7 程序编译运行界面

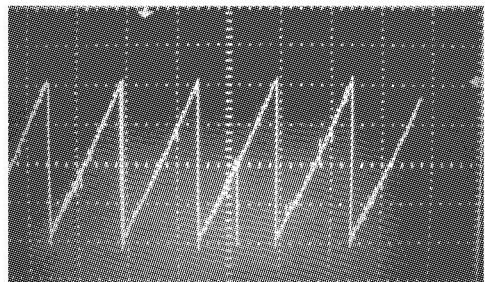


图 8 示波器检测信号图

6 结 论

在该激光打标运动控制卡的设计中,充分利用了 DSP 的高运算速度和强大浮点运算能力,通过对定时和中断服务程序及插补校正算法的不断优化,实现了令人满意的模拟打标效果.除此之外该系统还具有以下几点特色.

(1) CPLD 的使用.首先,CPLD 的使用让控制板卡的硬件电路设计更加简洁,弥补了传统电路设计中完全采用分离元件的很多不足,这样不仅使控制板卡的外观小巧美观(整个板卡 PCB 面积只有 $18\text{ cm} \times 9\text{ cm}$),而且减少了电路中各模块之间的耦合程度,使系统运行的稳定性更好,同时也便于系统的

维护和升级。

(2) 便捷,小巧.该打标系统上位机支持嵌入式系统,嵌入式系统相比 PC 机最大的特点就是体积小,软件可以专为该系统裁剪而成,专用性强,可以使用触摸屏,界面友好.实现了功能强大、体积小巧的激光打标系统。

(3) 支持 PC104, ISA 接口,通用性强. PC104 和 ISA 是 2 种使用很广泛的总线接口方式,所以在该系统的设计中,充分考虑到了其通用性,使得打标系统可以广泛适用于很多不同的工作场合。

总之,在对该激光打标运动控制卡的硬件和软件及构思的不断优化下,使得该系统已经初步达到稳定性高,速度快,体积小巧,功能强等要求.设计上

(上接第 43 页)

~60 帧图像中存在亮线,第三组图像中不存在亮线.对 3 组序列图像利用文中所述的算法进行检测,结果如图 4 所示.可以看出,该算法对 3 组图像均能准确地检测出亮线。

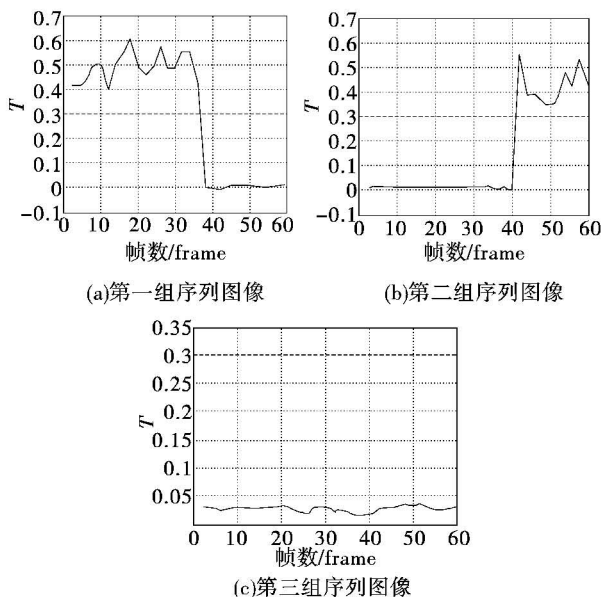


图 4 亮线检测结果图

4 结 论

在利用恒星点状成像在频域的各向同性的性质和 Fourier 变换的自配准性质对亮线进行自动检测,取得了较好的效果.研究的内容实际上属于傅氏变

换方法用于直线检测,算法的优点可以概括为以下 2 点^[5].

参考文献

- [1] 安毓英.激光民用技术[M].2003.
- [2] 施保华,杨三青,周凤星.计算机控制技术[M].武汉:华中科技大学出版社,2007.
- [3] 萧泽新,安连生.工程光学设计[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [4] K Venkatakrishnan, B Tan, B K A Ngo. i Two-axis-scan-ning laser Doppler vibrometer for precision engineering[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2002, 38: 153 - 171.
- [5] 陈锋.Blackfin 系列 DSP 原理与系统设计[M].北京:电子工业出版社,2004.

换方法用于直线检测,算法的优点可以概括为以下 2 点^[5].

(1) 该方法在计算上很有效,而且星图的复杂性不增加计算量,不需要对恒星进行滤除便可直接检测直线.而 Hough 变换等直线检测方法容易受到图像内容和直线信噪比的影响,造成检测的错误。

(2) 基于傅氏谱的检测方法对噪声和恒星不敏感,根据星图成像性质,噪声和恒星对傅氏谱的影响是均匀的,计算机模拟也可以证明这一点(给星图增加噪声和恒星,进行直线检测结果证明)。

值得指出的是,只有傅氏变换这样的复数型的变换才具有自配准的性质,其他一些变换如 DCT 离散余弦变换和小波变换等就不具有类似的性质.另外,提出的算法对其他在频域具有各向同性的图像也具有适用性。

参考文献

- [1] 王伟国.空间目标白天光电探测技术研究[D].北京:中国科学院,2005.
- [2] 韩容松.复杂背景下红外点目标检测的预处理[J].系统工程与电子技术, 2000, 22(1): 52 - 54.
- [3] Denney B S, Figueredo R J P Optimal point target detection using adaptive auto regressive background predictive [J]. Proc. SPIE, 2000, 4048: 46 - 57.
- [4] 孙即祥.数字图像处理[M].河北:河北教育出版社, 1993.
- [5] 王东峰, 邹谋炎. 傅氏变换的自配准性质及其在纹理识别和图像分割中的应用[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(2): 140 - 146.