

# 一种基于 DSP 技术的平视显示器视差自动检测方法

高明<sup>1</sup> 张清<sup>1</sup> 赵文才<sup>2</sup>

(1. 西安工业大学 光电工程学院 西安 710032;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室 长春 130033)

**摘要:**传统的平视差检测方法存在检测效率低、精度不高等问题,而且检测结果受到观测者主观性的影响。本文结合 CCD 图像采集技术,研究了一种基于 DSP 的平视差自动检测方法。采用 DSP 芯片作为图像处理和自动控制的核心处理器,对所采集图像的图像评价函数值进行比对,并根据特定的搜索算法,通过控制光学系统中的调焦镜完成自动调焦过程。根据调焦物镜移动量,可算出被测平显的离焦量和视差值。研究结果表明,本方法可有效解决观测者对视差检测时产生的主观影响,提高检测质量及检测效率。

**关键词:**平视显示器;DSP;视差;图像评价函数

**中图分类号:** TN247 **文献标识码:** A

## An automatic method in detecting the parallax of Head-Up display based on DSP

Gao Ming<sup>1</sup> Zhang Qing<sup>1</sup> Zhao Wencai<sup>2</sup>

(1. School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Institute of Technology, Xi'an 710032, China;

2. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optical, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** There are several disadvantages in the traditional method in detecting parallax of Head-Up Display, such as low efficiency and short precision. The detecting result could be influenced by the subjective of observer as well. Integrating the CCD technology, an automatic method in detecting the parallax of Head-Up Display based on DSP was proposed in this paper. The valuation function of the image was compared by using an embedded DSP chip, which is the core of image processing and automatic controlling. According to the search algorithm, the automatic focusing process was completed by means of controlling an inner focusing lens of this optical system. Then the off-focus amount and parallax value are computed based on the quantity motion of focusing objective lens. The result shows that the problem of subjective observation of observer can be eliminated by using this method, and disadvantages of measuring quality and efficiency were improved as well.

**Keywords:** head-up display; DSP; parallax; image evaluation function

### 0 引言

平视显示器(HUD)是综合航电火控系统的重要组成部分之一,其采用光电技术实现目标瞄准。平视显示器若存在视差,图像源上同一光点就会给出不平行的瞄准光束<sup>[1]</sup>,驾驶员头部处于不同位置将会瞄向不同方向,从而带来瞄准误差,所以视差的检测尤为重要。传统的平视差检测采用摆头法、视度筒法或者利用示数观测镜进行检测,摆头法操作简单,但对观测者精度判定的经验要求较高,因

此检测视差时存在一定的读数判定误差<sup>[2]</sup>。利用视度筒检测望远系统视差时,除视度筒本身精度造成的误差外,检测结果受观察者的主观因素影响较大<sup>[3]</sup>。俄罗斯的示数观测镜虽然能对视差的检测进行定性判断,却不能检测出具体的视差值,所以无法作为最终的调校结果来测试<sup>[4]</sup>。传统的视差检测方法都存在观测者的主观影响,不同的观测者会产生不同的视差读数,所以视差检测精度不高。

针对传统视差检测方法存在的局限性,结合数字图像处理技术,本文提出了一种基于 DSP 控制的平视差检测方法

法。采用嵌入式 DSP 芯片作为图像处理和自动控制的核心处理器,设计了用于视差检测的自动调焦电路。使 DSP 通过电机控制光学系统中的内调焦镜完成自动调焦过程,读取内调焦物镜移动量,便可计算出被测平显的视差值。同时,选取特定的图像评价函数和搜索算法,完成检测软件设计。

## 1 测量原理

视差检测仪的测量系统由光学系统、CCD 图像传感器、嵌入式 DSP 电路、步进电机及其驱动装置和计算机等部分共同构成。视差的测量过程如图 1 所示,步进电机通过 DSP 芯片输出的控制信号进行移动从而带动物镜组的内调焦镜的移动<sup>[5]</sup>,对平显进行调焦。

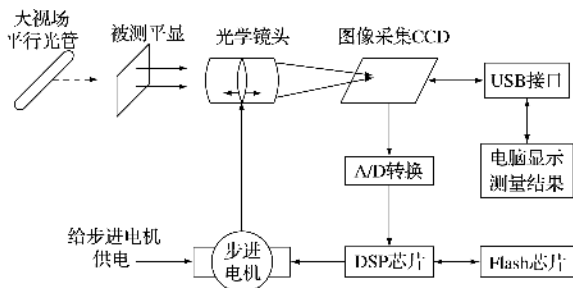


图 1 测量原理

测量前将被测平显、大视场平行光管和视差检测仪放置在基准平台同一轴线上。首先关闭被测平显,打开平行光管,由 CCD 采集平行光管图像传送到 DSP。DSP 芯片计算当前图像评价函数值并进行对比,根据对比情况发出控制信号控制步进电机移动,从而带动光学系统内调焦镜移动。移动完毕后继续采集图像传送到 DSP 进行处理和分析,直到找出平行光管的分划像在 CCD 上成像最清晰时内调焦镜的位置,这时计算机记录此时内调焦镜的位置,记为初始零位  $x$ 。第二步关闭平行光管,打开被测平显,这时控制步进电机进行第二次自动调焦,直到被测平显分划刻线成像最清晰为止,计算机记录此时的内调焦镜位置  $y$ 。得出  $\delta = y - x$  即为内调焦镜的移动量。若  $\delta = 0$  则系统没有视差,若  $\delta \neq 0$  则系统存在视差。通过读取调焦物镜移动量  $\delta$ ,由特定算法经自行设计的程序计算出被测平显的离焦量和视差值并显示在计算机上。

离焦量(即线视差)  $b$  与调焦量  $\delta$  之间的关系式如下<sup>[6]</sup>:

$$b = \frac{f'}{f_1 - y + f' + f_1^2/\delta} \quad (1)$$

式中:  $f'$  为光学系统的焦距值,  $f_1$  为被测平显的焦距值。离焦量  $b$  与视差角度值  $Q'$  的关系式如下:

$$Q' = -\frac{bD}{f'^2} \quad (2)$$

式中:  $D$  为被测平显的口径。

自动调焦的过程也是搜索图像评价函数最大值位置的过程<sup>[7]</sup>。当选定图像清晰度评价函数后,CCD 每采集一幅图

像,送到 DSP 芯片进行一系列的计算和分析,得到光学系统内调焦镜在这个位置的图像评价函数值。比较每次图像评价函数值的变化情况,给出反馈信号控制内调焦镜移动。内调焦镜连续移动,直到采集到的图像评价函数值最大,说明此位置为内调焦镜的准焦位置,整个调焦过程完成。

## 2 电路系统研究

电路系统是以 DSP 芯片为核心处理器的自动调焦电路,其电路系统设计方案如图 2 所示。

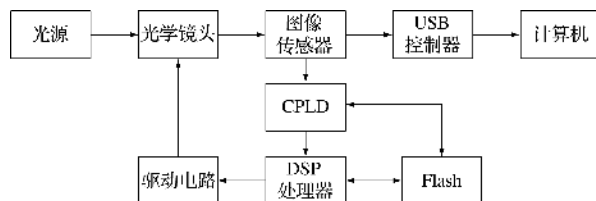


图 2 基于 DSP 的自动调焦系统设计方案

CCD 将采集到的图像向两个方向进行传送。一个方向传送给 USB 控制器,USB 控制器再将数据传送到计算机中,可以通过计算机直接观察系统对焦的详细过程、对焦效果以及实验结果。另一方向将采集到的图像信号传入存储器,通过 CPLD 对存储器中的图像选取对焦区域,并将对焦区域中的数据送入 DSP 进行图像评价函数值的计算。并根据图像评价函数值的变化情况,输出 TTL 电平信号控制步进电机左右移动,从而带动光学镜头的内调焦镜移动。通过内调焦镜的连续移动,找出准焦点从而完成自动调焦的过程。

## 3 算法研究及软件设计

### 3.1 搜索算法

一般自动对焦系统多采用爬山搜索法来寻找准焦点。整个搜索过程是第一步快速扫描和第二步精确扫描组成的。针对试验中传统爬山搜索法表现出的问题,提出改进办法:1) 第一步快速扫描中加入自适应步长<sup>[8]</sup>的方法。连续两幅图像的评价函数值变化小,说明准焦位置还很远,内调焦镜增大步长移动到下一采集位置;连续两幅图像的评价函数值变化大,说明接近准焦位置,内调焦镜减小步长移动。这样可以减小搜索的时间,提高系统自动对焦的效率;2) 为了防止噪声干扰产生的局部峰值,每次扫描前通过计算选定一个对焦范围,将对焦范围扫描一遍,选择扫描过程中出现的图像评价函数最大值为下一步扫描的基准点,这样就可以减少局部峰值对自动调焦的影响<sup>[9]</sup>。

对传统爬山搜索法进行优化,提出一种新的搜索算法。搜索过程如图 3 所示,第一步快速扫描采用自适应步长的方法进行快速扫描,其扫描范围为整个对焦范围,找到扫描到的最大图像评价函数值位置,此位置为第二步精确扫描的基准点。在基准点附近确定一个小的搜索范围,减小步长进行第二步精确扫描,找到最大图像评价函数值位置,内调焦镜移动到此位置,搜索过程结束自动调焦完成。

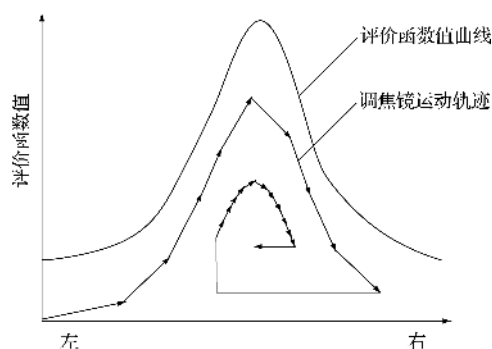


图3 优化过的搜索算法

### 3.2 图像评价函数

自动调焦过程也是搜索图像评价函数最大值位置的过程,根据选取的搜索算法特点可知,实验所需图像评价函数曲线要求具有良好的单峰性、斜率较大、峰值位置不在调焦范围边缘等优点。灰度梯度函数主要通过图像像素灰度的各种方法的计算及对比来说明图像的清晰情况<sup>[10-15]</sup>。在图像中某一点的灰度值被记作  $g(x, y)$ , 其梯度值为:

$$G_x = g(x, y) - g(x + 1, y);$$

$$G_y = g(x, y) - g(x, y + 1)。$$

通过对几种灰度梯度函数的函数运算时间、曲线单峰性和斜率进行比较,发现四领域灰度差绝对值之和函数的运算时间短,其模拟函数曲线图如图4所示,曲线符合系统要求。选择四领域灰度差绝对值之和函数为图像评价函数<sup>[11]</sup>,其表达式为:

$$F = \sum_x \sum_y [|g(x, y) - g(x - 1, y)| + |g(x, y) - g(x, y - 1)| + |g(x, y) - g(x + 1, y)| + |g(x, y) - g(x, y + 1)|] \quad (3)$$

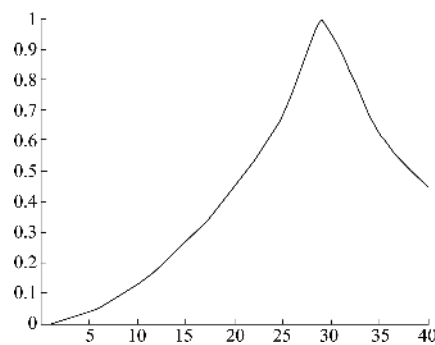
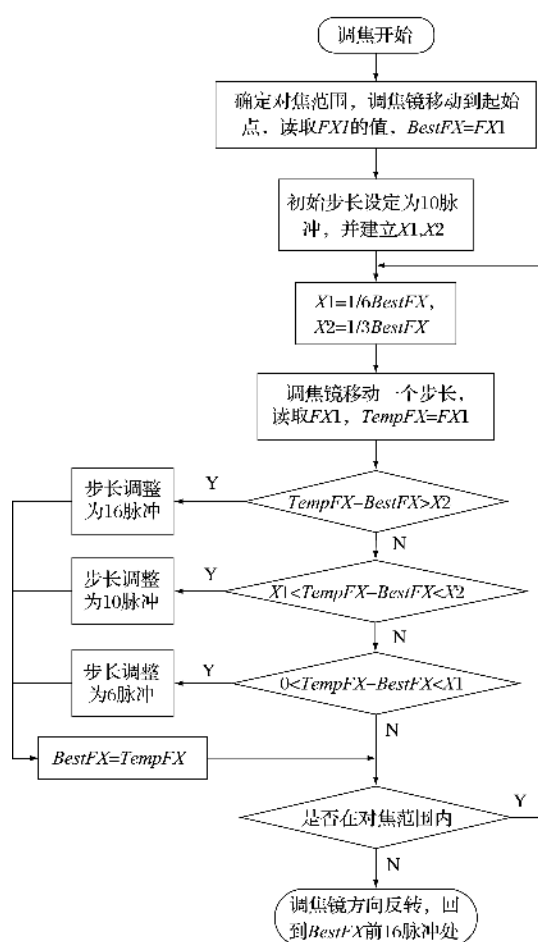
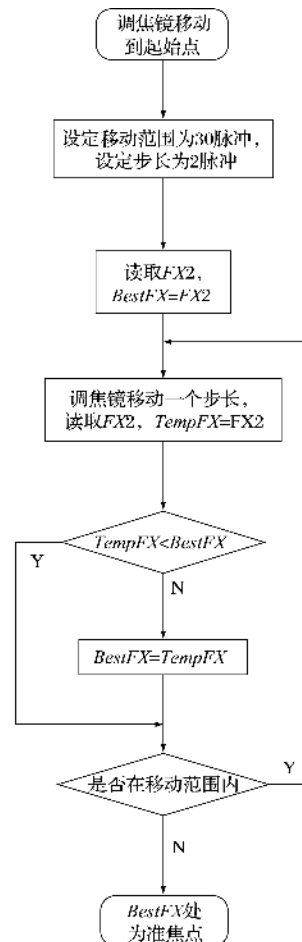


图4 四领域灰度差绝对值之和函数曲线



(a) 快速扫描流程



(b) 精细扫描流程

图5 系统扫描流程

### 3.3 系统软件设计

自动调焦过程主要分两步来完成,第一步快速扫描流程图如图5(a)所示,根据光学系统所确定的对焦范围,将内调焦镜移动到对焦范围的起始点。采集此位置的图像信息,传送到DSP计算此位置的图像评价函数值并记为 $FX1$ ,此时最大函数值 $BestFX = FX1$ 。建立 $X1$ 、 $X2$ 为阈值用作步长改变的依据,并取值为 $X1 = 1/6BestFX$ 、 $X2 = 1/3BestFX$ 。内调焦镜开始移动,设定初始移动步长为10脉冲。每走一步读取一次图像评价函数值 $FX1$ ,通过分析图像评价函数值的变化量来调整步长和刷新 $BestFX$ 值,并记录当前 $BestFX$ 值所在位置的脉冲数。当变化量绝对值小于 $X1$ 时调整步长到16脉冲;当变化量绝对值大于 $X2$ 时调整步长为6脉冲;当变化量绝对值处于两阈值之间时,步长调整为10脉冲。内调焦镜位置不在调焦范围内时,说明已经扫描过整个调焦范围,此时记录的 $BestFX$ 值为第一次快速扫描的最大图像评价函数值,即精细扫描的基准点。此时电机反转,回到基准点前面16脉冲数,此为第二次精细扫描的起始位置。

第二次精细扫描流程图如图5(b)所示,首先确定调焦镜的起始点为快速扫描基准点前16脉冲处,读取当前

图像评价函数值为 $FX2$ ,此时最大图像评价函数值 $BestFX = FX2$ 。内调焦镜移动方向从起始点向基准点移动,移动范围为32脉冲。内调焦镜开始移动,设定步长固定为2脉冲。每走一步读取一次图像评价函数值 $FX2$ ,根据读取的图像评价函数值大小刷新 $BestFX$ 值并记录走过的脉冲数,直到走完32脉冲为止。此时 $BestFX$ 值的位置为系统的准焦位置,内调焦镜返回准焦位置,整个调焦过程结束。

### 4 实验结果及分析

使用视度筒、摆头法和DSP自动检测系统对存在视差的平显进行检测。实验中DSP自动检测系统采用的光学系统的技术参数如下:视场 $\geq 12^\circ$ ;相对孔径为1/2;入瞳直径 $\geq 14$  mm;焦距为28 mm。所采用的CCD最大像素数量为 $2048 \times 1536$ 。DSP芯片为TMS320VC5509A,其运算速度为288 Mips,可扩展空间的大小为16 M。调焦镜的移动步长设定为0.01 mm,根据计算得出其对应的视差角值为 $10.74''$ 。将测量出的调焦镜位移量进行计算,得出视差角度值与其他方法进行实验结果比较。

表1 6组被测平显的测量结果

被测平显	自动检测系统 1/''	自动检测系统 2/''	视度筒检测 1/''	视度筒检测 2/''	摆头法检测 1/''	摆头法检测 2/''
1	55.3	65.8	40	80	60	30
2	138.9	128.5	100	120	120	120
3	150.8	150.8	180	140	120	150
4	107.6	107.6	160	100	90	150
5	97.3	86.9	80	120	120	120
6	186.7	186.7	140	180	150	120

对6组存在视差的平显进行2次检测的实验结果如表1所示。从表1中可以看出,DSP自动检测系统的检测精度高而且稳定性强。

检测过程中产生的误差主要来自于三个方面:一是图像信号进行的预处理不完善。系统采用的图像评价函数是灰度值的计算,噪声和图像亮度的不一致会使图像评价函数曲线出现假峰,影响自动调焦的精度。二是被测平显、大视场平行光管和DSP自动检测系统轴线不重合带来的误差,影响调焦镜移动量 $\delta$ 的大小。三是CCD器件灵敏度和分辨率的限制不仅使采集到的图像信号缺失或失真,而且产生象点灰度的畸变及象点的位移,致使计算的图像评价函数值与实际值不相符。另外还有大视场平行光管系统误差、焦深等,也会给检测结果带来影响。

### 5 结束语

研究了一种平显视差自动检测的方法,可以消除传统的平显视差检测中观测者带来的主观影响。检测系统以DSP

为核心处理器,选取具有良好单峰性和曲率的四领域灰度差绝对值之和函数作为图像评价函数,通过优化的爬山搜索算法,控制光学系统中的调焦物镜移动,从而使系统可以快速准确的完成自动调焦。图像评价函数的正确选择和爬山搜索算法的优化,可以有效减少检测的误差,提高检测质量。测量结果表明,DSP自动检测系统稳定性强,检测精度优于 $15''$ ,系统不仅有效地排除观测者的主观因素对视差检测造成的影响,使检测精度得到保证,提高了检测效率。

### 参考文献

- [1] 杨秀芝. 平视显示器的设计[J]. 福州大学学报, 2000, 28(4): 29-32.
- [2] 张伟, 汪岳峰, 董伟. 光学仪器视差自动检测研究[J]. 光学技术, 2002, 28: 32-37.
- [3] 曲卫东, 雷萍, 薛挺, 等. 大口径平行光管用于光轴平行度测量的实现[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 13-17.

(下转第42页)

## 4 结束语

本文设计并实现了以工业控制计算机为核心,由传感器及其信号调理电路、数据采集卡、伺服电机及其驱动器等组成的轴承刚度测试分析系统,测试过程完全由计算机软件实现。实践中,该测试系统能够满足测试要求,解决了全手动测试的现状,大大提高了测试的精度和效率。

## 参 考 文 献

- [1] 朱欣华,姚天忠,邹丽新. 智能仪器原理与设计[M]. 北京:中国计量出版社,2005. 30-41.
- [2] 施珍珠,张玮. 虚拟仪器技术. 国外电子测量技术[J]. 2002,21(1),9-10.
- [3] 李爱民. 超声波电机自动测试系统的研究[D]. 南京理工大学硕士毕业论文,2005,13-15.

- [4] PCL-818 Series High-performance Multifunction User's Manual ADVANTECH 2003.
- [5] DEVICES A. Universal LVDT signal conditioner AD698, Analog Devices Datasheet, 2002.
- [6] 王敬亭,廖力清,凌玉华. AD698 型 LVDT 信号调理电路的原理与应用[J]. 国外电子元器件,2005,(9).
- [7] Maxon gear Technology- short and to the point.
- [8] 张丽,许海. 电力系统测控装置的抗干扰技术研究[J]. 国外电子测量技术,2008,27(07),69-70.
- [9] 冯师颜. 误差理论与实验数据处理[M]. 北京:科学出版社,1964.
- [10] 王俊杰,刘波,张丰涛,等. 基于温度补偿方法去敏的新型光栅压力传感器[J]. 仪器仪表学报,2009,30(11).
- [11] 刘元宾,靳世久,陈世利. 压力传感器 SP12 在胎压监视系统中的应用[J]. 电子测量技术,2008,31(2).

(上接第 27 页)

- [4] 李春亮. 平视显示器的视觉调校研究[J]. 电光与控制,2002,(1): 54-57.
- [5] 蔡昌金,朱明. 基于 DSP 的自动调焦系统[J]. 电子器件,2007,30(1): 297-299.
- [6] 左晓舟,刘钧,高明. 望远系统视差自动检测技术研究[J]. 激光与电子学进展,2010,47: 012201-1-012201-6.
- [7] Meng Bo, Zhu Ming, Cai Chang-jin. Design of Video Auto Focusing Based on Image Processing[J]. Optical Information Processing, 2006, (6027): 501-509.
- [8] 宫光勇,何文忠,高旭辉. 红外系统中自动调焦爬山搜索算法的优化设计[J]. 激光与红外,2007,37(11): 1213-1215.
- [9] 李阳超,熊显名. 嵌入式自动聚焦系统的设计[J].

仪器仪表学报,2007,28(4): 62-65.

- [10] 方以,郑崇勋,闫相国. 显微镜自动聚焦算法研究[J]. 仪器仪表学报,2005,26(12): 1275-1277.
- [11] 孙杰,袁跃辉,王传永. 数字图像处理自动图像聚焦算法的分析和比较[J]. 光学学报,2007,27(1): 36-37.
- [12] 许斌,王富,王传鑫. 基于正交幅度调制的无线图像传输系统设计[J]. 国外电子测量技术,2009(01):45-47.
- [13] 田建东,唐延东. 基于几何特征的快速高精度角点检测算法[J]. 仪器仪表学报,2009(02):287-292.
- [14] 沈民奋,陈家亮,代龙泉,等. 基于图像分解和区域分割的数字图像修复[J]. 电子测量与仪器学报,2009(09):11-17.
- [15] 陈淑丹,汶德胜,杨文才,等. 基于 DSP 的空间瞬态光信号图像处理[J]. 电子测量技术,2009(06):65-67.

(上接第 30 页)

## 参 考 文 献

- [1] 宿绍莹,刘平,陈曾平. 宽带实时频谱分析仪设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报,2007,1(5): 113-115.
- [2] 韩实,沈保锁,王新乐. 数字下变频器在现场可编程门阵列中实现[J]. 电子测量技术,2006,29(1): 46-47.
- [3] 王国华,俞能海. 基于快速折叠算法和时频分析的 LPI 跳频信号截获[J]. 电子与信息学报,2007,29(7): 1569-1572.
- [4] 李贵山,戚德虎. PCI 局部总线开发者指南[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001. 10-11.
- [5] 侯永宏,侯春萍,曹达仲,等. 数字下变频及抽取的 FPGA 实现[J]. 电路与系统学报,2005,10(1): 123-125.
- [6] 杨小牛,楼才义,徐建良. 软件无线电原理与结构

[M]. 北京:电子工业出版社,2001. 41-43.

- [7] 王旭东,刘渝. 一种基于 FFT 的超宽带数字正交变换算法及实现[J]. 仪器仪表学报,2008,29(8): 1715-1718.
- [8] 田耘,徐文波,张延伟,等. 无线通讯 FPGA 设计[M]. 北京:电子工业出版社,2008. 110-114.
- [9] 朱军,高清淮,韩璐. 基于 DSP 和 FDGA 的数据通信实现方案[J]. 电子测量技术,2009(01):102-104.
- [10] 刘纯武,黄芝平. 一种多通道信号处理复用结构及其 FPGA 实现方法[J]. 电子测量与仪器学报,2008(01):72-75.
- [11] 辛洁,赵健东,孙运强. 基于 FPGA 的四相移键控调制解调器的建模与设计[J]. 国外电子测量技术,2009(01):52-54.