文章编号: 1001-5078(2006)09-0874-04

双目立体实时测距系统的关键技术研究

赵勋杰,李成金
(苏州大学物理科学与技术学院,江苏 苏州 215006)

摘 要:基于双目视差测距原理,建立了一个被动测距实验系统。围绕提高测距系统的测距精度、准确率、速度和抗干扰性能等,研究了图像预处理、配准算法、搜索策略等关键技术。提出了改进的互积相关配准测度,并采用粗、精配准相结合的搜索策略以及抛物线拟合方法,实现了快速双目立体目标测距。实验证明该测距算法可有效地抑止噪声、双目光强和图像对比度差异等因素的影响;测距系统测距精度高、稳定性好、实时性好,对于 10km目标相对测距误差小于 4%,响应时间小于 0.5s。

关键词:双目测距;配准算法;亚像素定位;机动目标测距
中图分类号: P225.2; TN209 **文献标识码**: A

Research of Key-tech in a Binocular Real-time Ranging System

ZHAO Xun-jie, LI Cheng-jin
(School of Physical Science &Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: A binocular passive ranging system is developed. The key techniques of binocular ranging are analysed in detail. An improved algorithm of matching is proposed. By incorporating sketchy matching with accurate matching, and using parabola fitting, the matching position can be obtained quickly and accurately in the order of sub-pixel. The experiments on the ranging system's stability, repeatability and precision have done. The results show that the ranging relative-error is below 4% for a target at 10 km and the response time is less than 0.5 s. The advantages of high accuracy, real-time make it will be attractive in mobile target positioning.

Key words: binocular ranging; matching algorithm; sub-pixel positioning; mobile target ranging

1 引 言

随着光电技术的发展,光电成像观瞄设备和警戒跟踪设备广泛应用。由于光电成像系统不能提供目标的距离信息,只能提供目标的角度信息,限制了它的作战效能。如果光电系统能在发现和跟踪目标的同时能得到目标的距离信息,可以提高光电成像系统自动识别目标能力和跟踪精度。

立体视觉测距是仿照人类利用双目感知距离的方法[1],人两眼从稍有不同的两个角度去观察客观三维世界的景物,由于几何光学的投影,离观察者不同距离的像点在左右两眼视网膜上就不是在相同的位置上。这种两眼视网膜上位置的差就称之为双眼视差,它反映了客观景物的距离。运用两个或多个摄像机对同一景物从不同位置成像获得立体像对,通过各种算法匹配出相应像点,从而计算出视差,然后采用基于三角测量的方法恢复距离。把立体视觉测距技术应用到光电成像观瞄和警戒跟踪系统中,可以解决光电成像系统的测距问题。

图 1为双目立体视觉测距原理示意图。左右两个 CCD像机光学中心相距 b,光轴平行,具有相同的焦距 f,Q是待测距物点,到像机的垂直距离为 R,在

作者简介:赵勋杰(1960 -),女,研究员,研究方向光电探测技术。
收稿日期: 2006-03-31

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

左右像机上形成的像点分别是 Q_1 和 Q_2。利用相似三角形性质可得:

$$\frac{R}{p}=\frac{R+f}{p+x_2} \tag{1}$$

$$\frac{R}{p+b}=\frac{R+f}{p+b+x_1} \tag{2}$$

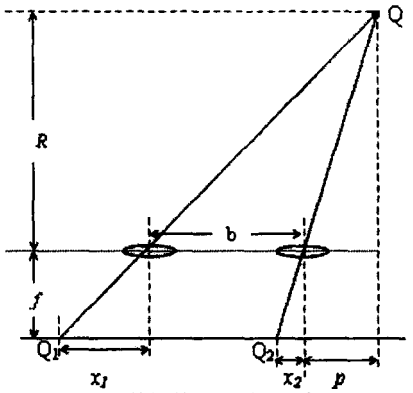

图 1　立体视差测距原理示意图

由 (1)和 (2)式,Q点的距离 R 为:

$$R=\frac{bf}{x_1-x_2} \tag{3}$$

(3)式中的 x_1-x_2 是 Q点在左右两幅图像上像点位置差 (又称为视差),它通过图像配准方法在两个像面上找出对应点而得到。由 (3)式,影响测距精度的因素有:图像配准误差 (即 x_1-x_2 误差)和光学传感器误差 (主要包括水平光轴和垂直光轴不平行产生的误差、焦距 f或视场角误差、基线距离误差),后者是系统误差,可以通过校正给予补偿。

本文围绕提高双目测距系统的配准精度、准确率、速度和抗干扰性能等开展研究。实验中,双 CCD摄像机光轴距离设置为 2m,成像器件选用了 1008 ×1018像素的 CCD,摄像机镜头视场为 1°。

2　图像配准技术

图像配准方法分为基于面积的配准方法和基于特征的配准方法。基于面积的配准方法是把一幅图像中某一点邻域作为模板,按某种相似性度量顺次在另一幅图像中搜索具有相似灰度值分布的对应点邻域,从而实现两幅图像的配准。由于基于面积的配准是直接利用图像中的像素灰度值进行匹配,因此它对噪声、光强和对比度的变化非常敏感。基于特征的配准不是直接利用图像灰度,而是通过灰度导出特征来实现匹配,因此,受光强和对比度变化的影响小。

在立体视觉中,由于两个 CCD摄像机光学系统的差异、CCD器件固有的差异,以及图像噪声的影响,尽管两个 CCD摄像机的设计完全相同,它们的图像差别仍然较大。采用基于灰度相关的配准算法进行图像配准时,相关函数变化的锐度不够,常常出现误匹配,且重复性很差,难以得到精确的配准结果。为了解决这些问题,提出了滤波 +边缘提取及二值化 +积相关的配准算法。二值边缘图像是描述灰度图像特征有效的手段之一。该匹配方法克服了相关函数锐度不够以及对光强和对比度变化敏感的缺点,且充分利用了目标图像间的几何相似性。

2.1　图像滤波

为了减少图像噪声对配准结果的影响,先对图像进行平滑滤波,再进行边缘提取和二值化。针对实验摄取的图像,研究了邻域平均滤波和中值滤波的滤波效果,图 2给出了两种滤波的效果,可以看出邻域平滑滤波较中值滤波效果好。

在进行平滑滤波时,窗口大小的选择也是很重要的,窗口太大使图像边缘模糊,且运算时间长,窗口太小滤波效果差。窗口的大小取决于滤波和边缘图像综合效果 (见图 2)。根据实验结果,选择了 5邻域平滑滤波。

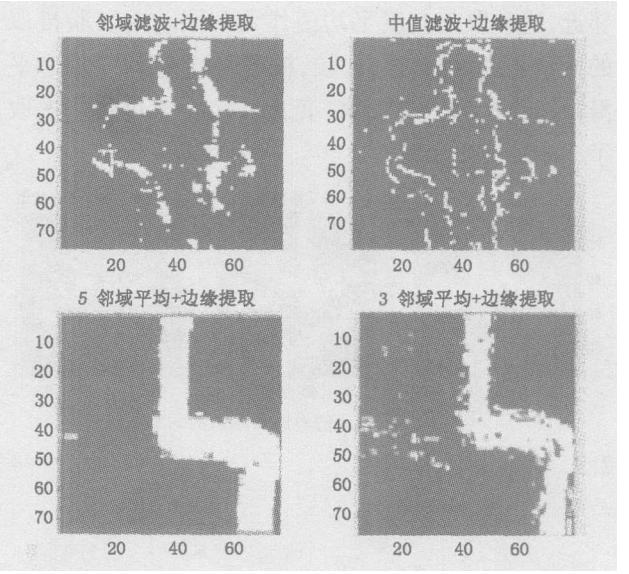

图 2　滤波算法和窗口大小对滤波效果的影响

2.2　边缘提取

为了寻找一种更适合本研究的边缘提取方法,对 Sobel算子、Laplacian算子和 Prewitt算子进行了实验研究,图 3给出了部分实验结果。

由于以上算子不能给出满意结果,我们提出了 (4)式的边缘提取算法:

$$\nabla^2 f(i,j)=|f(i+1,j)-f(i,j)+(i+1,j+1)-f(i,j+1)|^2+|f(i,j+1)-f(i,j)$$

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$+ f(i+1, j+1) - f(i+1, j)|^2 \quad (4)$$

图3中给出了本算子对图像的作用效果。

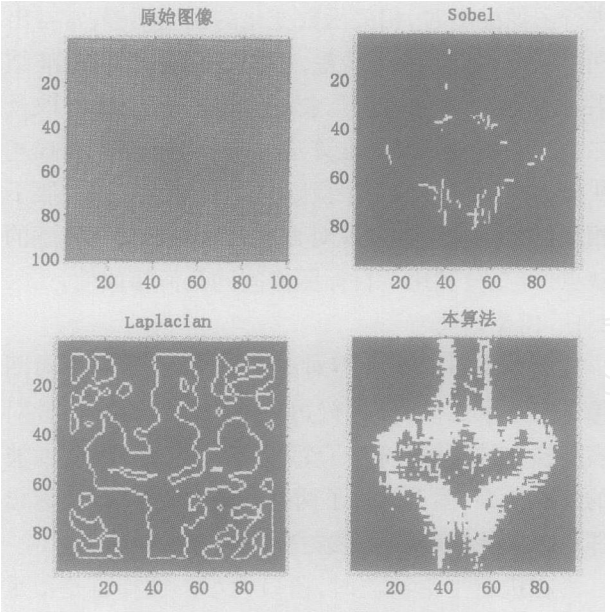

图3 几种边缘提取算法边缘检测效果

对边缘图像进行二值化时,阈值的选取也是非常重要的。对于具有较大灰度梯度的像素集合(边缘图像属于此类),由于它们大都在区域阶跃边界邻近,通常取其灰度平均值作为门限。对实验摄取的大量图像进行研究比较,根据滤波、边缘提取和平滑窗口大小的综合效果(见图4),二值化阈值选取了平均值的1.5倍。

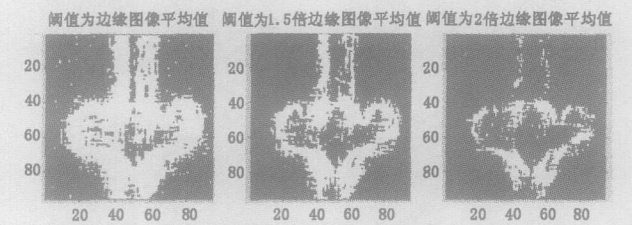

图4 二值化阈值对边缘图像的影响

2.3 图像配准

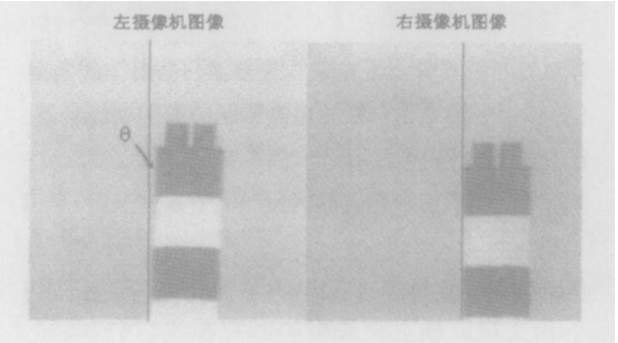

图5 垂直光轴不平行引起的图像旋转

a)图像旋转 安装双CCD时垂直光轴不平行使两个CCD摄取的图像发生旋转,见图5。这种旋转不仅影响图像配准,而且使目标相对摄像机俯仰角不同时视差不同,使测得的目标距离随俯仰角变化。

分两步解决这个问题:①对选定目标的图像区域先进行旋转;②图像配准求视差,根据目标中心的俯仰坐标进行视差补偿。视差补偿量$\triangle x$为:

$$\triangle x = y \times tan(\theta) \quad (5)$$

其中,y为目标中心俯仰坐标。补偿后测距公式为:

$$R = \frac{bf}{(x_1 - x_2) \pm \triangle x} \quad (6)$$

b)配准测度 分别研究了最大互相关配准和最小误差配准方法。互相关配准测度为:

$$R_B(m, n) = \sum_i \sum_j b_f(i, j) \cdot b_g(i+m, j+n) \quad (7)$$

其中$b_f(i, j)$和$b_g(i, j)$分别是目标区域和搜索区域的二值化边缘图像。(7)式取极大值时达到最佳匹配。误差函数测度为:

$$D(m, n) = \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} |(b_f(j, k) - b_g(j+m, k+n)| \quad (8)$$

(8)式取极小值时达到最佳匹配。

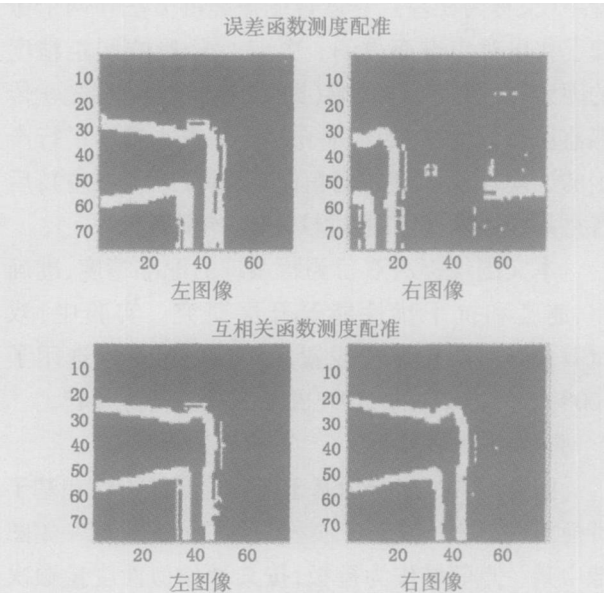

图6 互相关函数测度和误差函数测度配准实例

分别采用互相关测度和误差函数测度对实验采集的图像进行配准,研究发现采用误差函数测度经常出现误匹配(见图6),而互相关测度匹配准确,且重复性好。最终选择了互相关配准方法。

c)配准搜索策略 为了提高匹配速度,采取了由粗到精的匹配搜索策略。首先获得低分辨率的图像,低分辨率图像中的像素值是高分辨率图像中对应的9像素的平滑。然后在每幅图像中提取目标边

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

缘。对左图像中给定目标的边缘特征,在右图像中进行搜索,在互相关函数最大的位置点(可能有多个)扩大到高分辨率图像中继续进行搜索,直到获得配准点为止。

d)亚像素级精配准　由于 CCD分辨率的制约,匹配精度受到限制,图 7为 2个配准实例。

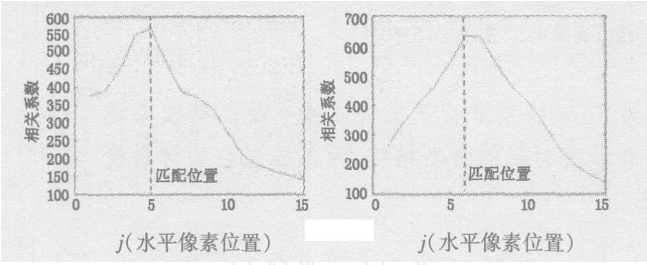

图 7　互相关函数配准实例

采取抛物线拟合方法进一步提高配准精度。图像配准点行列坐标分别为 i和 j,相关系数为 $R_b(i, j)$。以 $(j, R_b(i, j))$为中心,以 $(j-1, R_b(i, j-1))$和 $(j+1, R_b(i, j+1))$为邻域进行抛物线拟合(如图 8),定位点位置由抛物线顶点坐标给出:

$$j_c = j + \frac{R_b(i, j-1) - R_b(i, j+1)}{2[R_b(i, j+1) + R_b(i, j-1) - 2R_b(i, j)]} \quad (9)$$

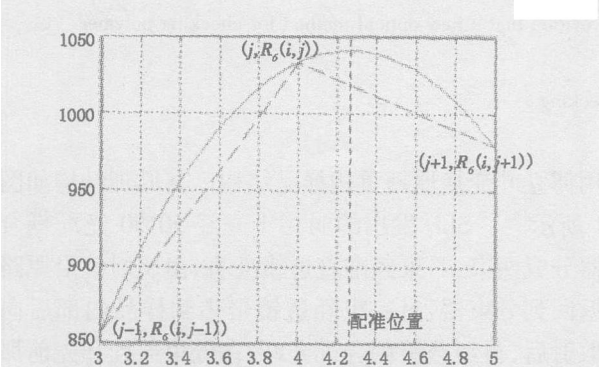

图 8　抛物线拟合实例

对 2.2km处目标多次进行实验测距,表 1给出图像配准得到的视差和曲线拟合的结果,可以看出匹配精度提高了一个数量级。

表 1　图像配准视差和曲线拟合结果

图像配准视差(像素)	抛物线拟合结果(像素)
213.1	212.7
212.9	212.8
212.8	212.8
212.7	212.8

3　实验及结论

对不同距离上的目标进行测距,结果记录于表 2中。目标距离 R_0是用测距精度为 5m的激光测距机测量的。从实验结果看,测距系统测距稳定,精度高,对测距响应时间(目标出现到给出目标距离)进行了测量,测量结果小于 0.5s。

本研究采用双 CCD光电传感器和改进的互积相关配准技术(滤波 +边缘提取及二值化 +互相关)以及亚像素级图像精确配准技术,实现了高精度双目成像目标测距。实验证明,采用的图像处理技术和匹配算法能有效地抑止噪声、光强和对比度等不确定性因素对匹配算法的影响。匹配算法精度高,匹配正确率高,速度快,抗干扰性强。

由于立体视觉测距精度取决于双目的距离、视场角和 CCD的分辨率,当追求短基线时,必然导致光学视场小,使得该测距技术应用范围受到限制。因此该技术适用于地面光电警戒、跟踪系统对各种机动和固定目标测距。该技术可以经扩展研究应用到机动平台上,采取单目移动立体方式[2],用时间换取空间实现视差测距。

表 2　外场测距实验数据

目标	目标距离 R_0(m)	测量距离 $R(i)$(m)	相对误差(%)
1	2500	2512	0.5
		2507	0.3
		2518	0.7
2	3465	3475	0.3
		3470	0.1
		3499	1.0
3	4975	4944	1.4
		4883	0.2
		4891	0.3
4	5380	5449	1.3
		5316	1.2
		5433	1.0
5	10950	10822	1.2
		10678	2.5
		10568	3.5

参考文献:

[1]　高文,陈熙霖. 计算机视觉 -算法与系统原理[M]. 北京:清华大学出版社, 1998.

[2]　B Bhanu, P Symosek, S Snyder. Synergism of Binocular and Motion Stereo for Passive Ranging[J]. IEEE Transation on Aerospace and Electronic System, 1994, 30(3): 523 - 532.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net