

文章编号 1004-924X(2009)07-1759-07

运用旋转无关特征线实现景象匹配

张 叶, 曲宏松, 王延杰

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 为了寻求一种高效可靠的景象匹配算法, 使其在复杂背景下具有尺度无关、抗旋转、光照变化和图像轻微畸变的特性, 对基于特征线的景象匹配算法进行了研究。受人眼视觉系统(HVS)的启发, 利用类似人眼视觉皮层滤波器组的处理方式, 提出一种新的基于特征线的景象匹配方法。该方法利用向量描述特征线来完成图像间的匹配, 相比特征点的匹配算法具有特征数量少, 信息丰富的特点。介绍了利用提出的方法进行特征线的提取、表征与匹配的过程, 总结了该匹配方法的效果和特点。实验表明, 这种基于特征线的景象匹配算法可以完成复杂背景下图像间的匹配, 克服了旋转和尺度缩放, 并具有很好的鲁棒性, 匹配精度优于 1 pixel, 满足了自动景象匹配的稳定可靠、精度高、抗干扰能力强等要求。

关键词: 景象匹配; 特征线匹配; 尺度旋转无关。

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Implementation of scene matching based on rotation invariant keylines

ZHANG Ye, QU Hong-song, WANG Yan-jie

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: In order to provide a robust scene matching algorithm with the scale and rotation invariance and less influence by different illumination under complex conditions, this paper researches scene matching techniques based on key lines. Inspired by the Human Visual System (HVS), a new scene matching method based on key lines is put forward by using a set of filters that are the same processing models as the human cortex filter. The method uses the vectors to describe key lines to implement the matching between the two images and is characterized by less numbers of key line and great information as compared with that of a point matching method. It introduces the extraction, expression and matching lines and gives the simulation results and matching properties. Experiment results show that the proposed method works well for the condition of rotating and scaling, and can offer the precision of scene matching of 1 pixel, which meets the requirements of high stability and good robust for complex background scene matching.

Key words: scene matching; key line matching; rotation and scale invariance

收稿日期: 2008-07-28; 修订日期: 2008-10-08.

基金项目: 某军口 863 项目 (No. 2006AA703405F)

1 引言

景象匹配技术是在多学科基础上发展起来的一门新技术,在民用、军事、医疗等领域都具有重要的应用价值。在景象匹配制导中,主要使用基准图和实时图进行匹配,从而得到飞行器瞬时空间位置信息和需要打击的目标的位置信息。景象匹配算法的难点在于基准图和实时图一般是应用不同的传感器在不同的环境下拍摄的,它们之间存在尺度、视角、亮度、分辨率等方面的诸多差异。在硬件系统运转正常时,景象匹配算法的优劣决定了导航任务的成败。

由于景象匹配辅助导航的目的是为惯性制导提供实时的位置修正信息,因此景象匹配算法需要同时顾及精确性、实时性和鲁棒性才能有效可靠地完成辅助导航的任务。国内外的景象匹配算法主要分为以下 3 种:基于图像像素的景象匹配算法、基于变换域的景象匹配算法和基于图像特征的景象匹配算法。

空间像素相关法最常用的是基于像素灰度的匹配方法,一般是进行两幅图像间的灰度比较,用一些计算量来表征图像间的灰度差异,该算法适用于形状、大小、角度相差不大的图像间的匹配。灰度型景象匹配算法的缺点是对图像的灰度变化敏感,对缩放、形变、遮挡、旋转的图像间匹配没有很好的适应能力,但由于其计算量小,计算方法简单,具有实时性强、易于实现的特点,该类算法在同一传感器帧间景象匹配或目标图像的跟踪使用仍比较多。国内外对于灰度型景象匹配算法的研究比较成熟,匹配精度和速度大都满足快速帧间匹配的要求^[1]。

频域变换域的匹配算法可以结合对数极坐标变换(LPT, Log-Polar Translation)^[2-3]解决旋转和缩放问题,如 Fourier-Mellin 算法(FMT)^[4]。FMT 算法^[4]是傅里叶相位相关算法的扩展,相位相关算法可以处理图像平移情况,而 FMT 算法可以直接处理旋转和缩放的图像。传统的 Fourier-Mellin 算法易受到伪峰的干扰而得到不正确的结果,但该问题现在已得到较好解决^[5]。当然该算法对缩放和平移量稍大的图像适应性仍然不强,且对图像形变敏感,在缩放超过 2 倍,平移超过图像 1/3 长度时噪声引入明显,影响了匹配

的准确性。而且由于该方法是一种基于图像全局的方法,对于图像的畸变或部分内容的改变适应能力较差。

基于图像特征的景象匹配是利用提取的特征点或线或区域来表征图像,图像信息被大大减少。特征的选取和特征对的匹配是特征型景象匹配技术的两个关键问题。常用的特征型景象匹配算法包括:角点匹配算法、边缘匹配算法等。现阶段,比较具有代表性的解决景象匹配问题的特征型算法是 SIFT 算法^[6-8]。SIFT 算法提取图像的局部特征,该特征对旋转、缩放、亮度变化保持不变性,对视角变化、仿射变换、噪声也保持一定程度的稳定性,特征点具有很好的独特性以相互区分,但特征性景象匹配算法最明显的特点是运算时间与运算精度相互矛盾。SIFT 算法虽有很好的匹配性能,但该算法牺牲存储空间和计算时间换来特征点的独特性与匹配精度,而且提取的部分特征点并不具有直观的视觉意义。

本文提出的方法属于基于图像特征的景象匹配,利用向量描述特征线条来完成图像间的匹配,相比特征点的匹配算法具有特征数量少,信息丰富,独特性好的特点。

2 特征线的提取

De Valois 等人发现,人类的视觉系统类似于一组具有方向敏感性的带通滤波器,基于此,本文使用最基本的高斯滤波器组来实现特征线的提取。Perona(1995)列出了使用不同个数的方向组搭建的各种系统,滤波器数目从 4 到 11,方向数目从 2 到 18,各个程序的方向数目相差很大,但结果表明,只要大于 6 个方向,似乎对结论就没有多大影响,同样没有任何迹象显示,利用更加复杂的一组滤波器比使用基本的点滤波器加条形滤波器组合能获得更好的提取效果^[1]。

本文基于上述原理建立了类人眼视觉皮层滤波器组。使用不同方向、不同尺寸和相位的带方向的滤波器组,拟定经过 6 个滤波器组成的滤波器组。图 1 所示是尺度为 5×5 的高斯条形滤波器,这些滤波器都是水平的条形滤波器旋转后的样式。

由于滤波器组对图像滤波过程是独立的,因此可以并行执行,而且 DSP 最适合的运算就是乘



图 1 一组 6 个带方向的条形滤波器

Fig. 1 A group of line filters with 6 directions

加运算,可以充分地利用 DSP 资源来减少运算时间。用此滤波器组对图像进行滤波,条形滤波器将对方向的条形响应强烈,而对其他模式响应很弱。以测试图像 cameraman. bmp 为例,图 2 为 0°条形滤波器对图片的滤波效果,输出的浅色像素表示强烈的响应,使用自动阈值分割技术可以完成特征线条的提取。



图 2 0°条形滤波图像

Fig. 2 Filtering images with 0° Gaussian filter

若欲检测尺度较大的线条,可将图像进行平滑后按金字塔方法抽点,再使用小尺度滤波器标注线条位置。这样做不但可保证精度,而且可以节省运算时间。按照此方法,可以将所需要尺度的边缘按方向归类。

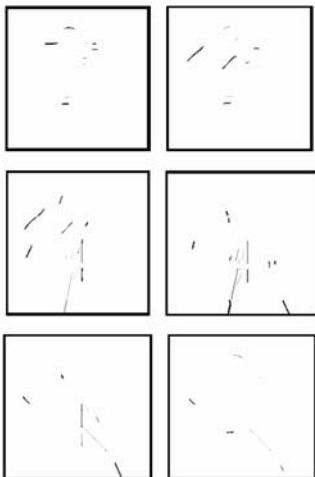


图 3 通过阈值分割提取出特征线

Fig. 3 Key lines extracted by thresholding

提取了 6 个方向的特征线条,它们分别是 0°、30°、60°、90°、120°、150°条形滤波器对图像进行卷积后,应用自动阈值分割后的结果,如图 3。

3 特征线的表征

去除过短的线条后,按照线条的长度和个数将滤波器处理后的图像进行排序,选择特征线较长、个数较多、比较有代表性的几个尺度方向,依次建立极坐标并描述特征向量。特征线最长、个数最多的方向视为图像特征线条的主导方向,其余为次导方向,根据特征线的总线条像素个数来确定主方向。首先进行了两幅图像主导方向上线条的比较,如图 4 所示。

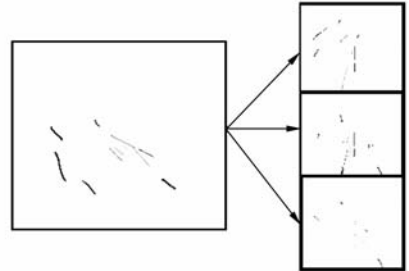


图 4 按照线条总元素数选择图像的主方向,并对另一幅图像的前几个方向进行比较

Fig. 4 Choosing the leader direction of one image according to pixel numbers of key line and comparing it with front directions of another image

然后,对特征线抗旋转和缩放进行表征。以线条所在方向为极坐标的零点,计算线条长度为半径区域的四象限梯度方向,并用向量来表征。极坐标的建立都是以线条方向为 0°进行的,得到的 4 个象限的梯度方向向量都是以线条和与线条垂直的线来划分的。当图像发生旋转时,图像上的线条也发生旋转,由于极坐标都是以线条为基准建立的,所以与图像是否发生旋转无关,具有旋转无关的特性,实现了旋转归一化;所计算的局部范围都以线条长度为基准,当图像发生尺度变化时,图像上的线条也会发生尺度变化,而邻域范围的选择与线条的尺度有固定关系,所以也与图像缩放无关,具有尺度无关的特性,实现了尺度归一化,示意图如图 5。

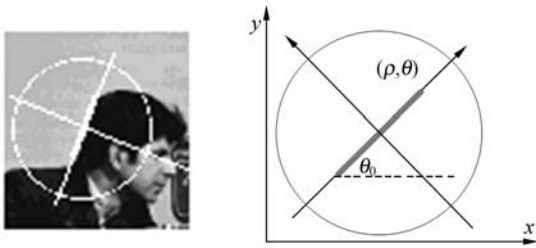


图 5 极坐标建立的示意图

Fig. 5 Simplified schematic of establishing log-polar coordinate

然后,利用线条周围的邻域信息对每个线条进行向量描述。在实际计算时,邻域范围的划定是以直线中心为中心,直线长度 $2/3$ 倍为半径的圆内区域,以线条方向为 0 方向建立对数极坐标,然后使用直方图统计邻域像素四象限的梯度方向,并将其记录为向量特征描述线条。

经过滤波,原图像在 60° 方向滤波器下的结果与旋转后图像在 90° 滤波器下的结果都表现为线条数量较多且较长,可视为图像线条方向的主导方向。以每个线条中心位置为极点,线条所在方向为 0° ,在线条长度 $2/3$ 为半径内的区域建立极坐标系。以图 6 的一条特征线为例,可以看出,虽然两幅图像间具有旋转和缩放,但以特征线邻域建立的极坐标图像具有旋转和缩放无关的性质,基于特征线建立的极坐标图像内容几乎是相同的。



图 6 旋转缩放前后的极坐标图像的对比

Fig. 6 Comparison of log-polar images before and after rotation and scale

4 特征线的统计表征方法

如上文所述,以特征线中心为原点,特征线长

度的 $2/3$ 为半径的圆内区域进行旋转,以特征线所在方向作为 0 方向,建立坐标系得到的极坐标图像具有抗旋转和缩放的性质。但是如果直接进行对数极坐标图像的比较,计算量极大,因此,本文使用向量来对对数极坐标图像进行描述。首先,由于该向量应包含极坐标图像的灰度特征,利用分析直方图的方法可以确定图像直方图的峰值位置及高度(如图 7 所示)。然后,将特征线的领域区域分为 4 个象限,每个象限区域提取 5 个量作为后期的匹配标准。第一个量为该象限灰度直方图峰值个数,这个量表现了该象限内像素灰度的丰富程度;第二个量为在最高峰与次高峰的比值大于一定阈值条件下记录的最高峰的相对灰度,该值表现了该象限主流灰度,这个量也使用直方图分析方法来求解;将该象限以 30° 、 60° 为界分为 3 个区域,计算每个区域上梯度变化的方向和大小,得到 3 个带符号的量,以向外方向为正,向内方向为负来表示。这样,每个象限建立 5 个量的特征向量,共 4 个象限即 20 个向量表示特征线的特性。图 8 显示了对各个象限梯度方向和大小的描述方法。

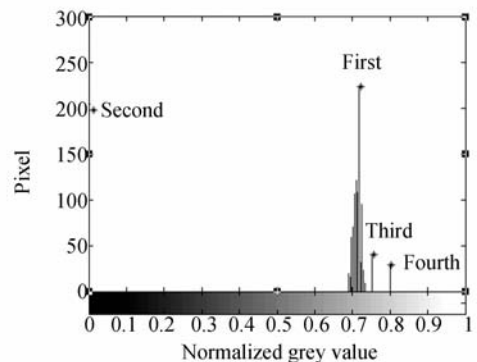


图 7 直方图分析方法

Fig. 7 Histogram analysis method

这样用 4 个象限的 20 个成员的量信息来描述这条特征线。对两幅图像分别进行 6 个方向的滤波之后,提出特征线数较多且较长的几个方向进行由多到少排序,分别在这几个方向图像上进行特征线表征。两对图像组进行向量匹配,选择距离相近的图像对,剔除不满足变换关系的特征线对,建立图像变换方程进行参数求解。

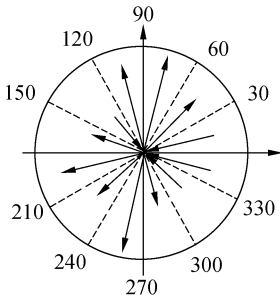


图 8 梯度方向和大小的描述方法

Fig. 8 Discription of magnitude and direction of gradient

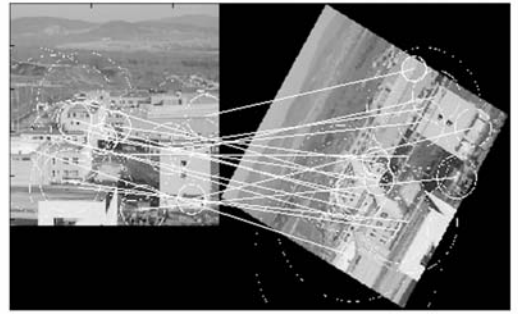


图 10 匹配结果

Fig. 10 Maching result

5 基于特征线的景象匹配算法仿真结果及可行性分析

分别按各个方向进行线条对匹配,如果某一方方向匹配度大于阈值,则认为匹配成功,不需进行后续匹配,简化了运算步骤。如果得到的特征线条个数较少,可以按照方向排列顺序依次进行其他方向上的特征线提取与匹配。图 9~11 显示了试验结果,圆形线条是以特征线中心为原点,特征线长度的 2/3 为半径划定的邻域区域,两图之间的连线为已经匹配上的线条的中心相连。

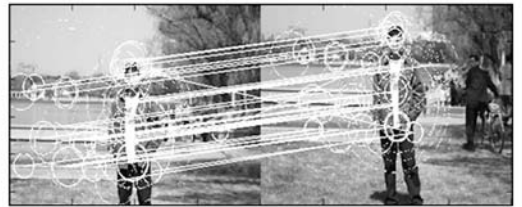


图 11 全方向匹配结果(两幅图像拍摄的视角有所不同,且有平移和畸变,甚至图像内容也有很多不同)

Fig. 11 Match results in nature spaces(the changes between the two images are complex, including more differences in illumination, view angles, translation and some contents



图 9 匹配结果(两幅图像间旋转角度为 45°,并具有 50 个灰度级的亮度变化)

Fig. 9 Maching result (rotation angle between the two images is 45°, and the illumination is changed by 50 gray levels)

分析算法的可行性,特征线匹配算法具有以下特点:

(1) 首先,基于特征线的匹配方法对于复杂背景下的景象匹配是适用的,尤其是对于景象匹配制导技术,一般感兴趣图像区域多为人工建造区域,图像纹理丰富,具有明显线条,因此,可以使用特征线进行景象匹配,如德国的 EADS/LFK 公司和瑞典的 SaabBofors Dynamics 公司组成的金牛座系统股份有限公司研制的 KEPD -350 空地导弹就是采用特征线匹配技术而不是特征点匹配技术。

(2) 其次,特征线比特征点从排列上就多了一个约束条件,应用滤波器组对图像进行并行滤波提取线条满足实时性要求,同一滤波器下线条

方向的一致性对直线组的性质又多了一个约束,按方向分类匹配稳定可靠,且缩短运算时间。

(3) 对于每一个线条的特征向量描述可以根据工程需要进行调整,适当增加或降低特征向量维数,在保证运算精度的同时满足工程实时性的需求。由多特征线条确定的图像间的变换关系,可以由最小二乘法拟合来获得,图像间的匹配精度优于单个线条之间的匹配。匹配精度与匹配上的特征点对的个数有关,有效的特征点对越多,精度越高,匹配精度优于 1 pixel。

参考文献:

- [1] FORSYTH D A, PONCE J. 计算视觉——一种现代方法[M]. 北京:电子工业出版社,2004:11,89.
FORSYTH D A, PONCE J. *Computer Vision: A Modern Approach* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2004:11,89. (in Chinese)
- [2] BAILEY J G, MESSNER R A. Log-polar mapping as a preprocessing stage for an image tracking system [J]. *Intelligent Robots and Computer Vision*, 1988(7):223-227.
- [3] LIM F L, WEST G A W, VENKATESH S. Use of log polar space for foveation and feature recognition [J]. *IEEE, Proc. Vis. Image Signal Process*, 1997,144(6):323-331..
- [4] CHEN Q S, DEFRISE M, DECONINCK F. Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994,16(12):1156-1168.
- [5] HAROLD S S, TAO B, MCGUIRE M. Analysis of image registration noise due to rotationally depend-

6 结 论

本文受到人眼视觉模型的启发,提出一套全新的基于特征线的景象匹配方法,并介绍了特征线的提取、表征与匹配过程,最后给出了该算法对于处理景象匹配问题的效果。实验结果证明:基于特征线的景象匹配算法匹配精度优于 1 pixel,并可以完成具有旋转、缩放变换的两幅图像间的匹配,克服了轻微畸变和部分图像内容改变的影像,满足自动景象匹配的要求。

- ent aliasing[J]. *Visual Communication and Image Representation*, 2003,14:14-135.
- [6] DAVID G L. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004,60(2):91-110.
- [7] DAVID G. Lowe, local feature view clustering for 3D object recognition[C]. *Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001,1:682-688.
- [8] DAVID G L. Object recognition from local scale-invariant features [C]. *International Conference on Computer Vision*, 1999,2:1150-1157.
- [9] ZHANG Y, WANG Y J. High accuracy real-time automatic thresholding for centroid tracker [J]. *SPIE*,2006,6027:1-7.
- [10] 高莹莹,杨建峰,马晓龙,等. 基于 Fourier-Mellin 算法的干涉图像配准[J]. *光学 精密工程*,2007,15(9):1415-1420.
GAO Y Y, YANG J F, MA X L, *et al.*. Interference image registration based on Fourier-Mellin algorithm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9): 1415-1420.

作者简介:



张 叶(1981—),女,吉林长春人,助理研究员,博士,2003年于吉林大学获学士学位,2008年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获博士学位,主要研究方向为计算机视觉与模式识别。E-mail:zhang.leaflet@gmail.com



王延杰(1963—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,1988年于吉林工业大学获得学士学位,1998年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要研究方向为数字图像处理。E-mail:wjyjiomp@gmail.com



曲宏松(1980—),男,辽宁大连人,助理研究员,博士,2003年于吉林大学获得学士学位,2008年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要研究方向为图像传感器设计及应用。E-mail:quhongsong@yahoo.com.cn

●下期预告

一种高性能电磁式微机械振动环陀螺

陈 李,陈德勇,王军波,毋正伟,张 明

(中国科学院 电子学研究所 传感技术国家重点实验室,北京 100190)

模态匹配和高品质因数是提高振动环陀螺性能的关键。设计制作了一种电磁式微机械振动环陀螺,采用全对称结构实现了模态匹配。通过理论推导建立了陀螺灵敏度和机械噪声的数学模型,分析了陀螺参数对灵敏度及分辨力的影响。采用(100)晶向的单晶硅及MEMS体硅标准工艺加工了陀螺样片,该工艺简单,无需键合。器件频率响应实验结果表明,所设计的振动环陀螺驱动模态和检测模态频率之差 <0.5 Hz,大气压下品质因数约为500,在1 Pa的低真空下达到14 000。锁相放大器测试结果表明,在 $-200\sim 200$ °/s陀螺分辨力为 0.05 °/s,灵敏度为 0.2 $\mu\text{V}/(^{\circ}/\text{s})$ 。测试结果表明该陀螺能够实现模态匹配和较高的品质因数,具有较高的性能指标。