

文章编号:1001-9081(2010)02-0344-04

孔壁全景图获取中的图像拼接技术研究

王成良¹, 杨鹏², 蔡耀泽³, 王振国³

(1. 重庆大学 软件学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400044;

3. 重庆地质仪器厂, 重庆 400033)

(wcl@cqu.edu.cn)

摘要:采用钻井后数字摄像获取具有真实感的孔壁全景图以进行地质分析已成为地质勘测的重要方法之一。已有的全景图获取方法存在设备成本高或图像拼接效果不理想等不足。通过控制测井深度,对井下孔壁四周360度的柱面空间投影到像面上得到序列环带图像,并对图像进行展开,运用中值滤波算法对图像进行预处理,通过差值图像匹配原理找出图像的重叠部分进行配准,然后采用贝塞尔曲线的逼近算法对图像进行融合,实现图像间的平滑过渡,最后得到具有真实感的孔壁全景图。实际地质勘测应用表明,该图像拼接技术简单,处理灵活高效,所获取的孔壁全景图具有理想的效果。

关键词:孔壁全景图;图像展开;图像拼接;图像配准;图像融合

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Image mosaic techniques in catching panorama image of hole wall

WANG Cheng-liang¹, YANG Peng², CAI Yao-ze³, WANG Zhen-guo³

(1. School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

3. Chongqing Geological Instrument Factory, Chongqing 400033, China)

Abstract: Using borehole digital camera technique to obtain the realistic panorama image of the hole wall has become one of the major ways to conduct geological analysis in geological survey. The existing methods of getting panorama image have such shortcomings as high cost of the equipment, unsatisfactory result of image splicing, etc. In this paper, a new method of acquiring the realistic panorama image of hole wall was proposed. By controlling the well depth and projecting the 360-degree cylindrical space of hole wall under the well onto plane, the authors could get the sequence ring images of hole wall, then unfolded the images and preprocessed them through median filtering algorithm, found out the overlapping parts of the image by the difference image matching principle, and blended them using Bezier curves approximation algorithm to achieve a smooth transition between images. Practical application on geological survey shows that the image mosaic technique presented in this paper is simple, flexible, efficient, and can provide ideal result of the panorama images of the hole wall.

Key words: hole wall panorama; image expansion; image mosaic; image registration; image blending

0 引言

近年来,随着图像传感器和数字图像处理技术的发展,高分辨率和大视场图像处理技术得到了广泛关注。在航空航天、国防技术、机器人视觉以及地质勘测等领域,兴起了全景图成像技术的研究,特别是环带成像技术越来越成为焦点^[1-2]。

全景成像是采用特殊成像装置获得水平或者垂直方向上大于180°的半球视场或360°视场,其中柱面全景图的生成技术很好地体现了全景成像的技术核心,它在水平方向上有360°视野宽度,使其能较好地应用于虚拟现实和计算机视觉等领域^[3-4]。在国内外监控和视频领域,全景成像技术正发挥着巨大的作用,如日本索尼公司的专利 Desktop Model RPU-C251 采用折反射全景成像方式在视频会议和监控等领域取得了成功^[5]。目前全景图生成主要有四种方法,分别为计算机绘制的方法^[6]、基于图像拼接的方法^[7]、通过全景相机直接拍摄的方法^[8]和采用全景环带成像的方法^[1]。第一种方

法通过数学建模进行计算机绘制得到全景图,其生成过程无需任何附加步骤,但费时和繁琐;第二种方法较为简单,但实时性差,且对照相机的摆放及拍摄方式有极高的要求;第三种方法效率高、质量好,但造价昂贵;第四种方法采用全景环带成像技术,体现了实时性,并可实现360°成像。

随着计算机以及图形学技术的发展,为方便地观测地下地质结构,人们开始采用数字图像技术来进行测井^[9]。通过应用全孔壁数字成像系统,可详细地获取整个井壁的地质资料,用于检测断层、裂缝、破碎带;探测地热资源、发现煤层等,也可用于指导地下仪器设备的安装埋设、地下管道的检查探测、隧洞开挖的超前探测等。目前,国内对地质勘测设备的开发研究都达到了一定的水准。各大厂家都有着各自的技术储备和生产标准^[10]。就实际应用的现状来看,对孔壁图像采集后得到的图像进行处理的技术有待进一步改进,例如圆环图像展开和图像拼接,需要设计更优的算法进而降低复杂度,提高系统性能和实时性。

本文根据井下孔壁的特殊性,结合全景环带成像技术的

收稿日期:2009-08-28;修回日期:2009-10-15。 基金项目:重庆市科技攻关计划项目(CSTC2009AC2060)。

作者简介:王成良(1964-),男,江苏丹阳人,教授,博士,主要研究方向:图形与图像、多媒体技术、网络、数据库技术; 杨鹏(1985-),男,甘肃民勤人,硕士研究生,主要研究方向:图形与图像、多媒体技术、Web 开发技术; 蔡耀泽(1964-),男,重庆璧山人,高级工程师,主要研究方向:电子仪器; 王振国(1961-),男,黑龙江呼兰人,高级工程师,主要研究方向:电子仪器。

环带成像优点和成熟的理论快速实现环形图像的展开,根据展开的图像,运用中值滤波算法对图像进行预处理,通过差值图像匹配原理找出图像的重叠部分进行配准;然后采用贝塞尔曲线的逼近算法,实现图像间的平滑过渡,进一步消除拼接的痕迹;最后得到具有真实感的孔壁全景图。

1 序列环带图像的展开

1.1 硬件设计与制造

硬件设计与制造是地质勘测开展工作的基础。要采集到井下孔壁的图像,需要的硬件包括井下探头(由锥镜、摄像头、三基色环型照明光源组成)、深度传感器和图像采集卡、缆绳等,如图1所示。

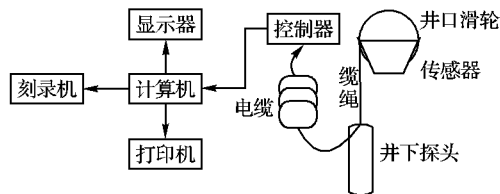


图1 全孔壁图像采集与处理系统硬件组成

1.2 环带图像成像原理

系统自动控制图像的采集和处理。在采集过程中所采集到的图像为锥形反射镜投影而成的环形图像,其工作原理如图2所示。

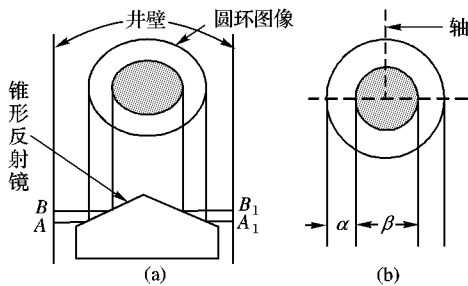


图2 井下孔壁成像原理

采集井壁 AA_1B_1B 深度区域的孔壁图像,在锥形反射镜成像面得到环带图像,环带图像的内圆与井壁 BB_1 深度对应,外圆与井壁 AA_1 深度对应。在图2(a)中,锥形反射镜只对 360° 范围内的圆环成像,这一成像区域被投影到二维像面的圆环内,如图2(b)所示。通过图2(b)可以更直观地看到, α 区域为井壁 AA_1B_1B 深度的成像区域,而 β 区域内是盲区,不成像。

1.3 孔壁环带图像展开

系统获取孔壁的二维图像后,首先采用基于优先队列的种子填充算法,高效准确地识别出指北针(图像中标识孔壁环带图像的起始展开位置,是采集系统的特殊装置,受地磁引力,始终指向地理位置的北方)所在的位置,为图像展开和拼接做准备。如图3所示,以指北针为基线,对半径为 $R = (R_1 + R_2)/2$ 的圆3进行 360° 展开,得到一个矩形图像,以圆3作为参照,对半径为 R_1 的圆1和半径为 R_2 的圆2所构成的圆环逐一展开,得到一幅完整的环带图像展开图。其中,圆1的半径 R_1 和圆2的半径 R_2 可从采集时的参数设置中得到。此处描述的图像为BMP格式的位图,在展开并存储的时候需要下从上、从左到右,由圆1到圆2,不断扩大半径,并选定一弧度为步长遍历一个圆周,获取该圆周上的像素点和坐标值。

2 环带图像的拼接

图像拼接过程就是将上述展开的所有矩形图像拼接成一

幅完整的全景图,此过程包括图像预处理、图像配准和图像融合三个步骤,其中后两者为图像拼接关键环节。拼接过程如图4所示(以两幅图像的拼接为例)。

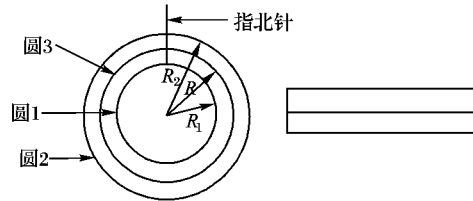


图3 环带图像展开



图4 图像拼接过程

2.1 图像预处理

图像预处理可保证图像配准的精度,对孔壁环带展开图像做一些折叠变化或坐标变换,可缩小匹配范围,提高配准速度。孔壁图像在采集的过程中很容易受到噪声的干扰,使图像质量退化,中值滤波是一种非线性平滑滤波方法,能够在衰减随机噪声的同时不让图像边界模糊,较好地保护原始信号,起到很好的平滑处理效果^[11],同时也提高了配准的速度。孔壁全景图相邻环带图像的重叠区域在各自图像中的位置是不相同的,如图5所示,该重合区域位于 $image1$ 的下部和 $image2$ 的上部。由于光源位于反光锥面之上,观测区域的上部即圆形图像内圆(圆形图像的内、外圆对应它的平面展开图的上部和下部)附近的亮度较高,观测区域的下部即圆形图像外圆附近的亮度偏低。由此可知,相邻两幅环带图像的叠加区域在亮度上存在偏差,所以有必要对该单幅环带图像的亮度做调整。

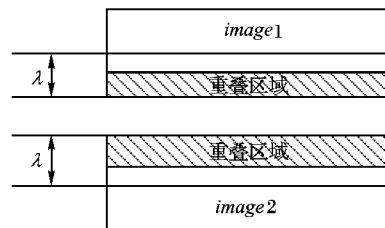


图5 差值图像匹配原理

由于圆锥面亮度从上到下的变化是均匀的,因此可以先获取某一线性渐变因子,然后用该因子来调整单幅环带图像的亮度。具体算法由以下4个步骤组成(假设相邻两幅图像的重叠区域分别为 F_n 和 F_{n+1} ,而且重合部分的深度超过1 mm):

1) 计算 F_n 最后1 mm深度内所有像素点的亮度值和 $sum1$,计算 F_{n+1} 最前1 mm深度内所有像素点的亮度值和 $sum2$;

2) 计算亮度的比值 $Differ = sum1/sum2$,可知 $Differ \in (0, 1.0)$;

3) 将单幅环带图像的第一行亮度值的权重设定为 $Differ$,最后一行亮度值的权重设置1.0,其他各行亮度值的权重由首行到尾行权重的等差递增计算所得;

4) 将每行各像素点的亮度值除以该行所对应的权重,并将计算结果覆盖原有亮度值。

2.2 图像配准

全孔壁成像系统通过井口滑轮处的深度传感器控制当前采集孔壁图像的高度,得到连续不断的序列图像。为了能在图像拼接时确定这些序列图像之间的变换关系,即图像配准,

待拼接的序列图像边界要有重叠,重叠范围的确定主要是基于相邻两幅图像重叠部分对应像素的相似性。常用方法是基于面积的匹配和基于线段的匹配^[12]。基于面积的匹配,只要窗口选得足够大,可以保证精度;基于线段的匹配可以保证拼接准确性。但这两种算法计算量太大,且受光照条件的影响,往往不能满足实用性要求,让人们难以接受。为方便地提取两幅图像之间的重叠部分,在图像配准过程中采用了一种新的重叠区域的搜寻方法——差值图像匹配法,其原理如图 5 所示。*image1* 的下端和 *image2* 的上端具有如图 5 所示的重叠区域,算法设定了一个指针 λ 来确定图像的计算区域, λ 从 *image1* 下端开始向上移动,相应 λ 从 *image2* 上端向下移动,由 λ 所决定的区域为计算区域,*image1* 和 *image2* 在计算区域内的差值图像的相似度差值函数定义为:

$$J = \sum |H_1(i, j) - H_2(x, y)|$$

其中, i, j, x, y 分别属于 *image1* 和 *image2* 计算范围内的像素坐标; $H_1(i, j)$ 和 $H_2(x, y)$ 是计算区域内的像素点灰度值。相似度差值函数随变量 λ 的变化曲线如图 6 所示,因此问题就简化为寻找 λ 的极小值。与基于面积或线段的匹配相比,此算法能够精确地找到两幅相互重叠图像的匹配点,并且只进行加减法运算,减小了计算量,通过合理选取 λ ,可使得收敛速度很快。

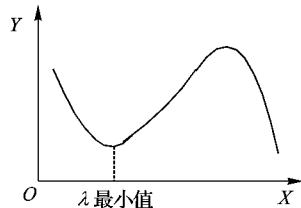


图 6 相似度差值函数分布曲线

2.3 图像融合

将两幅图像配准后,对重叠区域的图像进行融合,由于相邻图像采集时间不同,若将重叠部分进行简单地叠加,拼接处会产生明显的接缝。为使融合的图像具有视觉一致性,典型的算法有渐入渐出法^[13],即将图像重叠区域的像素值按一渐变系数相加合成。以上下拼接的两幅图像 *image1* 和 *image2* 为例,设渐变因子为 d ($0 < d < 1$),*image1* 重叠部分的像素集合为 $\{img1\}$,*image2* 重叠部分的像素集合为 $\{img2\}$,则融合后图像的像素集合为 $\{img\} = d * \{img1\} + (1 - d) * \{img2\}$,其中 d 由 1 慢慢变化到 0 时,图像从 *image1* 过渡到了 *image2*,这样实现了图像间的平滑过渡。但采用此方法,若在预处理和配准方面不对图像做更多的处理,图像拼接的痕迹仍然清晰可见。采用 Bezier 曲线^[14] 的逼近算法,对孔壁展开的多幅图像进行融合,可以保证图像的无缝拼接。

贝塞尔曲线是由法国数学家 Pierre Bezier 所发现,应用于二维图形应用程序的数学曲线。它有不同的数学定义形式,如德卡斯特里奥递归算法、波恩斯坦基表示形式等,其中用控制顶点定义的波恩斯坦基表示形式容易理解,应用广泛。

给定 $n + 1$ 个空间向量 p_i ($i = 0, 1, \dots, n$),则 Bezier 曲线定义为:

$$p(t) = \sum_{i=0}^n p_i B_{i,n}(t) \quad (1)$$

$$\begin{cases} B_{i,n}(t) = C_n^i t^i (1-t)^{n-i} \\ C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!} \end{cases} \quad (2)$$

其中: $B_{i,n}(t)$ 称为基函数; $i = 0, 1, \dots, n; 0 \leq t \leq 1$ 。

为便于对 Bezier 曲线的波恩斯坦基表示形式有直观地理解,现给出 0 至 3 次的 Bezier 曲线代数表达式及其说明:

$n = 0$: $B_{0,0} = 1$, 即 $p(t) = b_0$, 此时曲线为一个点;
 $n = 1$: $B_{0,1} = 1 - t, B_{1,1} = t, p(t) = b_0(1 - t) + b_1(t)$, 此时曲线为一条直线;
 $n = 2$: $B_{0,2} = C_2^0 t^0 (1 - t)^2 = (1 - t)^2, B_{1,2} = C_2^1 t^1 (1 - t)^1 = 2t(1 - t), B_{2,2} = C_2^2 t^2 = t^2$, 即: $p(t) = b_0(1 - t)^2 + 2b_1t(1 - t) + b_2t^2$;
 $n = 3$: $B_{0,3} = C_3^0 t^0 (1 - t)^3 = (1 - t)^3, B_{1,3} = C_3^1 t^1 (1 - t)^2 = 3t(1 - t)^2, B_{2,3} = C_3^2 t^2 (1 - t)^1 = 3t^2(1 - t), B_{3,3} = C_3^3 t^3 = t^3$, 即: $p(t) = b_0(1 - t)^3 + 3b_1t(1 - t)^2 + 3b_2t^2(1 - t) + b_3t^3$ 。曲线有四个点:起始点、终止点(也称锚点)以及两个相互分离的中间点。滑动两个中间点,Bezier 曲线的形状会发生变化。

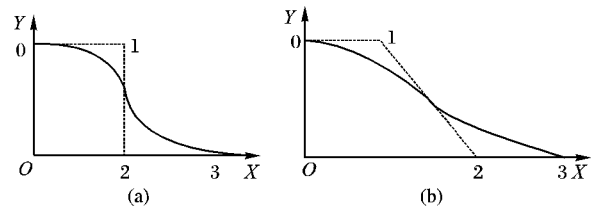


图 7 贝塞尔曲线图

采用 Bezier 曲线的逼近算法,把曲线的两个中间点作为图像融合的平滑过渡因子,随着中间点位置的不断变化,曲线的形状不断地动态改变,图像从 *image1* 慢慢过渡到了 *image2*,实现了图像间的平滑过渡。

3 实验验证

实验 1 为了验证本文所提拼接算法的有效性,将探头通过缆绳放入一个圆柱形塑料管中,在管壁内侧贴有精确的刻度条,以此来检测图片是否能够真正融合,效果如图 8 所示。

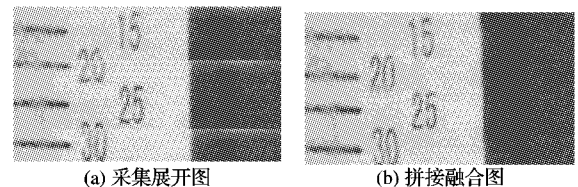


图 8 实验 1 采集展开及拼接融合图

实验 2 为了验证本文所提亮度调整算法的有效性,将探头放入地下井中进行实际操作,采集处理效果如图 9 所示。

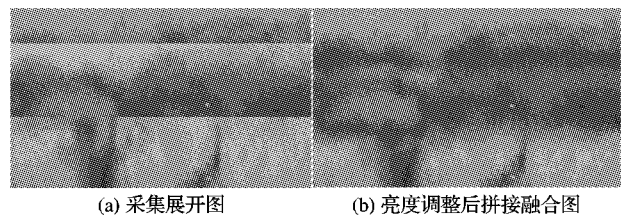


图 9 实验 2 采集展开及拼接融合图

实验 3 为了验证本文所提拼接融合算法的有效性,运用传统的渐入渐出算法对图像进行拼接,效果如图 10 所示。

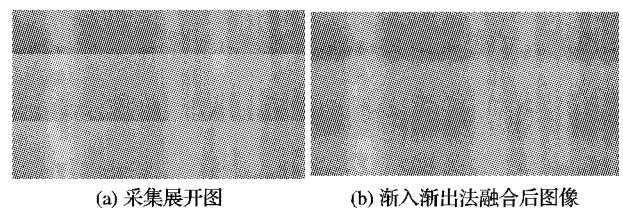


图 10 实验 3 采集展开及融合图

实验 4 为了验证本文所提配准、融合算法的有效性,将探头放入地下井中进行实际操作,拼接后的效果如图 11 所示。

通过以上实验可以看出,图9中采集到的图片在运用亮度调整算法后,亮度明显改善;图10中的图片运用传统的渐入渐出算法后,仍有明显的拼接痕迹;图8、图11中的图片运用本文所提出的算法后,图像拼接准确、连续性好、拼接速度快,相比传统算法在性能和效果上有很大的提高。

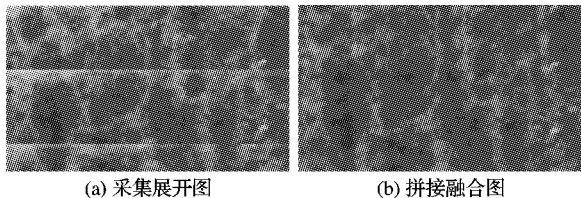


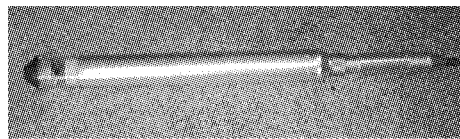
图11 实验4采集展开及拼接融合图

4 实际应用

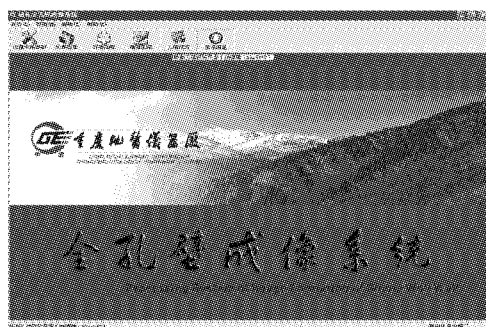
通过本文所采用的处理技术研制了全孔壁图像采集与处理设备(如图12所示)。



(a) 便携式图像处理计算机



(b) 井下摄像探头管



(c) 全孔壁成像系统启动初始化界面
图12 全孔壁图像采集与处理设备

目前该设备已经在市场上开始推广应用,可以准确划分岩性、查明地质构造、确定软弱泥化夹层;检测断层、裂缝、破碎带;检查浇筑质量、灌浆处理效果;协助地质力学试验及地

质灾害的监测、检测;指导地下仪器设备的安装埋设、地下管道的检查探测、隧洞开挖的超前探测等。使用该设备,图像处理速度快,可方便快捷地以较低成本获取地质勘探资料,具有勘探方法工作效率高,产品制造成本低的特点。

5 结语

图像拼接是一个日益流行的研究领域,它可以提供具有真实感的全景图。本文采用差值图像匹配原理和贝塞尔曲线逼近算法,实现了图像的拼接。实际地质勘测应用表明,本文采用的算法速度快,鲁棒性好,拼接效果理想。在地质勘测中,通过全孔壁成像系统,对四周孔壁图像进行采集,应用图像处理技术进行展开复原和全景图拼接,可得到所需要的地层、岩性、孔隙和裂缝等重要信息,给地质分析带来了很大的便利,具有良好的工程价值。

参考文献:

- [1] 白剑,牛爽,杨国光,等. 全景光学环带凝视成像技术[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(3): 331 - 335.
- [2] KOIOLOVIC I, VAGVOLGYI B, SZIRANYI T. Application of panoramic annular lens for motion analysis tasks: Surveillance and smoke detection[C]// Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000, 4: 714 - 717.
- [3] 王晓燕,戴青,赫力. 360度柱面全景图像的生成[J]. 微计算机信息, 2006, 22(6-1): 227 - 230.
- [4] 杨记,陈孝威. 基于全景图像的VR建模研究与实现[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(1): 249 - 251.
- [5] 赵有金,夏桂华,徐明道. 基于FPGA的高分辨率全景图像处理平台[J]. 电子技术应用, 2008, 34(12): 54 - 57.
- [6] 崔汉国,张星,刘晓成. 图像和建模相结合的虚拟场景绘制技术研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1168 - 1171.
- [7] ZHU ZHI-GANG, XU GUANG-YOU, RISEMAN E M, et al. Fast generation of dynamic and multi-resolution 360-degree panorama from video sequences[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999, 7: 400 - 406.
- [8] 陈辉,龙爱群,彭玉华. 由未标定手持相机拍摄的图片构造全景图[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 328 - 334.
- [9] 柴满州,张庆生,孙景丽. 可见光井下电视图像数字化处理技术[J]. 测井技术, 2003, 27(5): 377 - 379.
- [10] 范中原,许刚林. 综合物探技术研究及其在应用[J]. 水力发电, 2001(8): 30 - 31.
- [11] 卫保国. 一种改进的自适应中值滤波算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(7): 1732 - 1734.
- [12] 张显全,唐振军,卢江涛. 基于线匹配的图像拼接[J]. 计算机科学, 2005, 32(1): 221 - 223.
- [13] 马令坤,张震强. 图像拼接算法的研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(2/3): 303 - 305.
- [14] 韩丽娜,张红祥,张群会. Bezier曲线修改的一种分割算法[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(7): 77 - 79.

(上接第343页)

- [7] FARSIU S, ROBINSON M D, ELAD M, et al. Fast and robust multiframe super resolution [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(10): 1327 - 1344.
- [8] LERTRATTANAPANICH S, BOSE N K. High resolution image formation from low resolution frames using Delaunay triangulation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(12): 1427 - 1441.
- [9] ZITTOVA B, FLUSSER J. Image registration methods: A survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(11): 977 - 1000.
- [10] GALATSANOS N P, KATSAGGELOS A K, CHIN R T, et al.

- Least squares restoration of multichannel images [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(10): 2222 - 2236.
- [11] SROUBEK F, FLUSSER J. Multichannel blind iterative image restoration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(9): 1094 - 1106.
- [12] CHEN L, YAP K-H. A parametric double regularization approach to adaptive blind image deconvolution [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(5): 624 - 633.