

# 序列环带图像处理技术及其应用

张桂花, 王成良

(重庆大学计算机学院, 重庆 400044)

**摘要:** 结合在地质勘探中的特殊应用, 根据深度控制, 对井下孔壁四周 360°范围的柱面空间投影到像面上得到序列环带图像。根据图像拼接误差理论对相邻图像间重叠区域大小进行选定, 用改进的链队列种子填充法寻找环带图像的圆心和半径方向, 以一定的角度为步长遍历每一个同心圆, 将环带图像展开成矩形图, 再用网格匹配法进行相邻图像间的配准, 采用平滑因子实现序列图像间的无缝拼接, 使之更符合人的观察习惯。

**关键词:** 全景图; 序列图像; 图像展开; 图像拼接; 种子填充

## Sequence Annular Image Processing Technology and Its Application

ZHANG Gui-hua, WANG Cheng-liang

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044)

**【Abstract】** Combining the particular application in geological exploration, by the control of depth, the sequence of images, reflected from the space of entire section(360°) of the borehole wall, is presented as annuals images on the screen. The overlapping part between the two sequence images are chosen based on the theory of image stitching error. A new seed filling method based on link queue is used to find the center and radius of the circle. By traversing every concentric circle according to a given angle, the annular images are expanded into rectangle. Using the overlapped information between two sequence images and grid matching method, it makes the sequence images stitch smoothly which are more convenient for observation.

**【Key words】** Panoramic Image(PI); sequence image; image expansion; image stitching; seed filling

### 1 概述

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探等实践领域, 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。全景成像(Panoramic Imaging, PI)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, 即全景图的生成。

目前全景图生成主要有 4 种方法, 分别为计算机绘制的方法<sup>[1]</sup>、基于图像拼接的方法<sup>[2-3]</sup>、通过全景相机直接拍摄的方法<sup>[4]</sup>和采用全景环带成像的方法<sup>[5]</sup>。对于计算机绘制方法, 全景图的生成不需要任何附加步骤, 但建模费时和繁琐; 基于图像拼接的方法便于理解, 但实时性差, 且对相机的摆放及拍摄方式有极高的要求; 通过全景相机直接拍摄的方法效率高、质量好, 但造价昂贵; 采用全景环带成像技术, 体现了实时性, 并实现 360°成像。

本文根据井下孔壁的特殊性, 结合全景环带成像技术的环带成像优点和成熟的图像拼接理论, 采用深度控制的计数图像采集方式, 以深度为步长将采集的孔壁 360°图像在平面上成环形像, 同时迅速实现环形像的展开并存储, 最后拼接得到孔壁全景图, 具有实时性、高效性、准确性、简易性等特点。

其中, 运用改进的队列式种子填充法确定环形像所对应的圆环圆心和半径, 进行径向和切向矫正, 本文提出了以角度为步长的算法原理对环形图像进行展开复原, 然后通过相邻图像间的重叠区域采用渐入渐出方法进行图像间的无缝拼

接, 最后得到一幅反映井下四周孔壁地质面貌的全景图, 使之更适合人眼观察的形式。

### 2 序列环带图像采集原理

#### 2.1 环带图像成像原理

在深度控制器作用下, 通过井下摄像机和锥形反光镜摄取孔壁四周图像。

这种成像方式采用了平面圆柱投影法, 图像的灭点不再是一条直线, 而是一个点。它是在常规成像系统前加入反射面实现的, 可以使成像范围大大超过遵循中心投影法的纯折射式系统, 如图 1 所示。

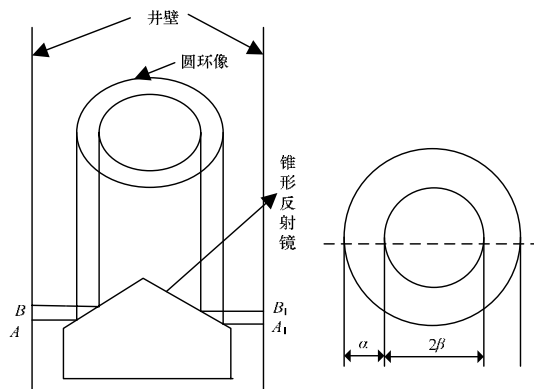


图 1 井下孔壁成像原理

**作者简介:** 张桂花(1982 - ), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图形图像, 多媒体技术, 软件工程; 王成良, 教授、博士

**收稿日期:** 2009-07-08 **E-mail:** ghz006@126.com

在井壁的  $AA_1B_1B$  深度下采集到孔壁图像，通过锥形反光镜在成像面得到环带图像，圆环内圆对应井壁  $BB_1$  深度，外圆对应井壁  $A_1A$  深度。

右边的圆环可以更直观地看到， $\alpha$  区域为成像区域，其中每个同心圆为与光轴成固定角度的物点的像点轨迹， $2\beta$  为盲区，不成像。

### 2.2 连续序列图像间重叠区选择

此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对准图像，待拼接的序列图像边界要有重叠，根据图像拼接误差理论确定最佳图像重叠程度<sup>[6]</sup>，如图 2 所示。

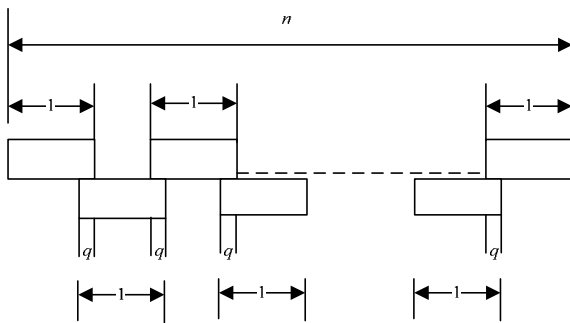


图 2 图像拼接示意图

假设在长度  $n$  的区域里进行图像拼接，每幅图像的宽度为 1，2 幅相邻图像的重叠部分占 1 幅图像宽度的比例为  $q(0 < q < 1)$ 。整幅图像的拼接需要  $(n-q)/(1-q)$  幅图像，共有  $(n-q)/(1-q)$  条接缝。只考虑相邻图像间的位置误差，设图像拼接准确度为  $a(a > 0)$ ，相邻图像间的误差为一随机变量  $X_i(i=1,2,\dots,(n-q)/(1-q))$ ，其中， $X_i$  在区间  $[-a, a]$  区间上均匀分布。拼接准确度与重叠比例的关系： $a=f(q), f(q) > 0$ 。重叠部分越多，提供的拼接参考特征就越多，拼接也越精确。

利用拼接误差理论得到整体误差的期望值  $E(Y)$ ：

$$E[Y] = E[|X_1| + E[|X_2|] + \dots + E[|X_i|]] = ((n-1)/2) \cdot (a/(1-q))$$

其中， $i=1,2,\dots,(n-1)/(1-q)$ 。

拼接区  $n$  的大小确定后， $E[Y]$  只与  $q$  有关，当  $E(Y)$  取最小值时对应的  $q$  即为最佳重叠比例。

在本次实验系统中，宽度  $n$  的区域为第一幅图像采集起始深度到最后一幅图像终止深度之间的部分，规定每次采集的图像为相同深度，即每幅图像的高度，本次实验中重叠比例取为 50%。

## 3 环带图像的展开与拼接

### 3.1 圆心和指北针的确定

环带图像圆心的有效确定是进行图像展开的重要前提。本实验系统中使用特殊设备采集到环带图像，其特点是环带图像的中间部分为不成像盲区的黑色区域，内外圆周区域为有效成像区域，由外到内为渐晕带来的渐进式模糊至黑暗。

其中在盲区的黑色区域内有一白色指针，该指针为指北针，它是采集系统的特殊装备。指北针受地磁引力，始终指向地理位置的北方，这为环带图像展开提供了依据，即沿指北针方向对环带图像进行展开。盲区区内还有特定大小的罗盘，如图 3 所示。

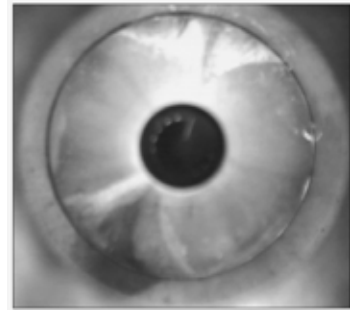


图 3 环带图像示意图

对于环带图像圆心的确定已经有矢量纠偏法<sup>[7]</sup>和成像交线法<sup>[8]</sup>。本次实验提出了改进的队列式种子填充法对盲区内的像素点进行遍历，利用几何计算关系找到圆心点。其实现原理是：由用户设定视频中心点作为种子点，保证该种子点为黑色点的情况下，对它的四连通区域进行遍历。同时，该种子点的  $X$  和  $Y$  坐标值作为基准，遍历完整个黑色区域的  $X$  方向和  $Y$  方向上像素点，将其  $X$  方向和  $Y$  方向上的最小值和最大值与种子点的最值相比较，找出整个黑色区域的  $X$  方向和  $Y$  方向上边缘的最小值和最大值。利用平均几何关系得到圆心点坐标，其公式表示为： $centerpoint((nMinX+nMaxX)/2, (nMinY+nMaxY)/2)$ ，其中， $nMinX$  为  $X$  方向上边缘的最小值； $nMaxX$  为  $X$  方向上边缘的最大值； $nMinY$  为  $Y$  方向上边缘的最小值； $nMaxY$  为  $Y$  方向上边缘的最大值。这种确定圆心的方法简单、快速、高效。

指北针方向的确定也是采用了队列式种子填充法，应用快速排序的高效性，可以准确迅速地找到指北针的方位。从圆心出发，寻找白色点。指北针的确定与罗盘半径紧密相关，这里罗盘半径默认为 50 mm，现在就在罗盘区域遍历寻找 50 个白色点，如果找到，则指北针便确定下来了。

### 3.2 环带图像矫正与展开

根据方位角的变化以指北针为基线对一定半径的圆周进行  $360^\circ$  展开，得到一个矩形的图像，以它作为参照，对内外半径之间的圆环展开后进行插值和抽值，以得到一幅环带图像的展开图。

如图 4 所示，标注为几何空间变换基准线的半径圆为参照，其半径设为  $r=(R_1+R_2)/2$ ，其中， $R_1$  为内圆半径； $R_2$  为外圆半径。

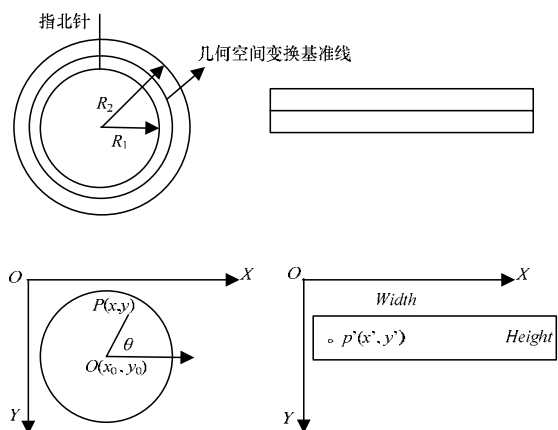


图 4 环带图像展开

则设图像的高度  $Height$  为深度(depth), 宽度  $Width$  为  $\pi(R_1+R_2)$ , 其中, 深度和  $R_1, R_2$  可以从采集时的参数设置得到。

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从下到上, 从左到右。由内圆到外圆, 不断扩大半径, 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。以圆心为起始点, 根据数字图像里的相邻像素间的相似性, 与参照圆相比较进行插值和抽值。其展开前后的像素对应关系如图 4 所示。

取原图中的一点  $P(x,y)$ ,  $R_1$  为内圆半径,  $R_2$  为外圆半径,  $O(x_0,y_0)$  为圆心,  $P$  点所在的圆环图像中对应的半径为  $R$ 。展开图像规格为  $Height \cdot Width$ ,  $P$  点对应到展开图像中的点  $p'$  为  $(x',y')$ 。展开图像时以指北针为基准, 则相对于圆心坐标的  $p'$  坐标值为

$$X' = x_0 + \sin(\text{Radian} \cdot \Delta \text{Weight} + d \text{Direction} + \pi/2) \cdot (R_1 + \Delta \text{Height})$$

$$Y' = y_0 + \cos(\text{Radian} \cdot \Delta \text{Weight} + d \text{Direction} + \pi/2) \cdot (R_1 + \Delta \text{Height})$$

其中,  $\text{Radian} = \text{actan}(\text{step}/R)$  表示以参照圆为基准, 选定它所对应的一个弧度为偏移量,  $\text{step}$  为图像展开精度, 用弧度表示;  $d \text{Direction}$  表示指北针方向;  $\pi$  表示圆周率, 大小为 3.141 592 653 589 793 238 46;  $\Delta \text{Weight}$  为宽度增量;  $\Delta \text{Height}$  为高度增量; 又有  $x$  和  $y$  的取值范围为:  $x^2 + y^2 > R_1^2, x^2 + y^2 < R_2^2$ 。

### 3.3 序列图像无缝拼接

图像拼接技术是指根据图像重叠部分将多张衔接的图像拼合成一幅高分辨率的全景图。其核心点在于准确找到相邻图像间重叠区域的位置以及范围, 即图像配准问题。

通常采用的方法是基于 2 幅图像重叠部分所对应的 RGB 或 CMY 颜色系统中灰度级的相似性, 自动寻找图像的匹配位置。常用的方法有比值匹配法、块匹配法、网格匹配法和特征块匹配法, 本实验根据采集图像的深度控制得到 2 幅图像间的重叠大小, 所以采用了网格匹配法<sup>[9]</sup>。每次水平或垂直移动一个步长, 根据像素点 RGB 值差的平方和进行计算匹配。在匹配过程中, 结合自动匹配和交互调整<sup>[10]</sup>, 避免一些误匹配。

为了达到相邻图像间的无缝拼接, 采用了淡入淡出的思想, 利用渐入渐出的方法对相邻图像进行了平滑过渡拼接。设 2 幅图像为  $image1$  和  $image2$ , 拼接后的图像为  $image3$ , 平滑因子为  $d(0 < d < 1)$  则有  $image3 = d \times image1 + (1-d) \times image2$ , 其中,  $d$  由 1 慢慢变到 0, 它与图像之间的水平方向重叠距离有关。

本实验先采集到井下孔壁图像, 然后拼接, 采用 VC++6.0 实现, 其效果如图 5 所示, 图上左边的白色字为深度标注, 可以对拼接好的图像进行任意加注和编辑。



图 5 360°四周孔壁图像展开拼接

## 4 结束语

在钻井中, 通过对四周孔壁图像的采集, 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, 为进一步的图像理解提供了依据, 在地质勘探中具有较高的工程价值。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] Zhu Zhigang, Xu Guangyou, Riseman E M, et al. Fast Generation of Dynamic and Multi-resolution 360° Panorama from Video Sequences[C]//Proc. of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems. Florence, Italy: [s. n.], 1999: 400-406.
- [3] 王晓燕, 戴 青, 郝 力. 360 度柱面全景图像的生成[J]. 微计算机信息: 测控自动化, 2006, 6(1): 227-229.
- [4] 曾吉勇, 苏显渝. 折反射全景成像系统[J]. 激光杂志, 2004, 25(6): 62-64.
- [5] 赵玮芳. 超高像素全景环带成像研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [6] 唐 璉, 谷士文, 蔡自兴. 图像拼接误差的理论分析[J]. 小型微型计算机, 2003, 24(12): 2185-2189.
- [7] 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学[M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [8] 许禅玉. 全景环形成像展开算法的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [9] 李志刚, 纪玉波, 薛 全. 边界重叠图像的一种快速拼接算法[J]. 计算机工程, 2000, 26(5): 37-38.
- [10] 赵脚松. 序列图像拼接中的交互调整方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(4): 201-203.

编辑 任吉慧