

# 基于边缘检测的全景环形图像插值复原

张淑敏, 陆燕慧, 王保保

(西安电子科技大学 计算机学院, 陕西 西安 710071)

**摘 要:**在管道内壁形貌检测系统中,由全景环形透镜(PAL)组成的观测系统在没有活动部件的条件下,能够同时观测到绕光轴 $360^\circ$ 的物体,并且由于其独特的成像性能,能够产生一个环形像。但是所成环形像不便于人眼观察和测量,有畸变和失真。为此将环形像无失真地展开为常规平面像,需要解决环形像由外到内压缩引起的分辨率降低的问题。根据PAL成像的特点,以全景图像的最高分辨率为基准,采用一种基于边缘检测的插值方法,对边缘部分采用三次卷积插值法,非边缘区域采用双线性插值,此结果同双线性插值和三次卷积插值进行比较,较好地恢复了图像细节,同时减小了图像复原的计算量。

**关键词:**全景环形透镜; 环形像; 边缘检测; 双线性插值; 三次卷积插值

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)03-0059-03

## Panoramic Annular Image Interpolation Restoration Based on Edge Detection

ZHANG Shu-min, LU Yan-hui, WANG Bao-bao

(School of Computer Science and Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** In the detection of the feature of the pipeline wall, the observing system made up of PAL can observe objects around the lens without moving parts, and for the special imaging feature of PAL, that can form an annular image. But the annular image formed by PAL is not only inconvenient for observation and measurement, but also has distortion phenomenon. Thus an annular image from PAL needs to be unwrapped to conventional rectangular image without distortion, the problem of the decreased resolution from outer circles to inner ones needs to be resolved during unwrapping procedure. The PAL image is restored according to the imaging feature of panoramic annular lens, referenced to the highest resolution, adopt an interpolation method based on edge detection which adopts cubic convolution interpolation for edge and bilinear interpolation for non-edge. Compared with bilinear interpolation and cubic convolution interpolation, this method can restore the detail of the image better and decrease the computational cost.

**Key words:** panoramic annular lens(PAL); annular image; edge detection; bilinear interpolation; cubic convolution interpolation

### 0 引言

石油、天然气等输送管道,由于机械磨擦、流体冲刷、腐蚀作用的长期积累,可能造成管材内壁沟槽、腐蚀孔洞等内壁损伤。许多新管材也可能因商检时无法进行内壁检查而存在安全隐患。管道的这些缺陷如不及时发现并做相应的处理,可能会引发事故,造成不必要的损失,因此,管道内壁的检测技术发展迅速,但由于管道内壁结构的特殊性,以透镜为核心的检测技术代表了内壁检测的发展方向,成为此领域的研究热点。

采用全景环形透镜(PAL)组成的光学系统来进行

图像采集, PAL镜头是基于平面圆柱透视法(FCP)的一种光学镜头,即把围绕光学系统光轴 $360^\circ$ 范围的圆柱视场投影到二维平面的一个环形区域,如图1所示,独特的成像功能,使得由全景环形透镜组成的观测系统具有一个最突出的特点即没有活动部件,能同时观测到透镜周围 $360^\circ$ 的物体,正是这个特点使PAL所组成的系统适用于管道内壁形貌的图像的采集,但所成的环形像不便于观测和测量,且有明显的几何畸变和失真,所以就需要合适的图像处理方法,使得原图像得到较好的恢复,从而方便人眼的观察,并且不影响测量的精度。文中对全景环形透镜的二维平面环形像设计了展开算法,通过研究坐标的映射关系,对图像进行了很好的展开,并采用了基于边缘检测的插值方法,使展开后的图像无盲区,实现了对二维平面PAL像的真实恢复,且效果良好。

收稿日期: 2008-06-26

作者简介: 张淑敏(1984-),女,山东阳谷人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理和智能检测;王保保,教授,研究方向为网络数据库和智能检测。

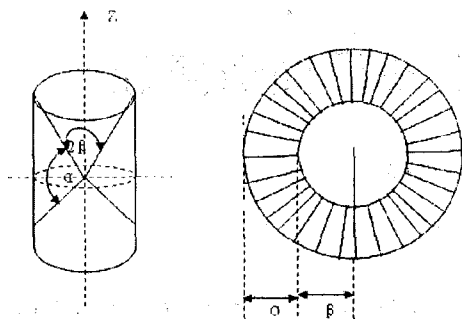


图 1 PAL 成像原理

## 1 PAL 成像特性

传统的光学成像遵循“中心投影法”(Central Convergence Perspective, CCP),在这种投影方式中,灭点(视线消失的那一点)在一条直线上(视平线)上,这样对于有限视场的常规光学系统来说,为获得一个  $360^\circ$  的全景像,需要在系统中安装扫描器件,而后通过图像的拼接来得到全景像。为了获得  $360^\circ$  的全景像,人们基于延展法的思想提出了平面圆柱透视法(Flat Cylinder Perspective, FCP),管道内壁可以看成是一个圆柱面,则图像可以用伸展的方法展成一个平面,用二维表示三维圆柱表面,这种透视法将一个柱面视场投影到一个二维像平面,全景环透透镜是为了实现 FCP 而设计的一个特殊透镜。

在图 1 中,能够成像的部分是  $\alpha$  角的两边绕轴旋转  $360^\circ$  后得到的三维立体区域,这一区域被投影到二维像面上的圆环内。 $2\beta$  角所代表的区域为盲区。图中也显示了出了决定视场的限定角,显然,增大  $\alpha$  减小  $\beta$  可以增大视场,但是这两个参量的值受到现有玻璃折射率的限制。

PAL 的结构如图 2 所示,其中 1 和 3 为反射面,2 和 4 为折射面,L 为转向透镜,使 PAL 成像在 CCD 传感器上。该系统沿光轴方向的视场角范围为  $(-\alpha_1, \alpha_2)$ ,  $\alpha_1$  为视场角的下限,  $\alpha_2$  为视场角的上限。

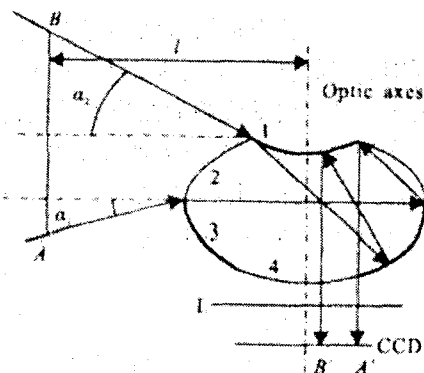


图 2 PAL 的结构

## 2 映射关系研究

在图 2 中,圆柱物面上的一点 A 发出的光线经过折反射成像在像面 A' 上,点 A 所在的水平面和围绕光轴的圆柱面相交成半径为 1 的圆,该圆上所有的点经 PAL 成像在环形像半径为 R 的圆上。

假设 CCD 传感器的像素密度是  $\rho$ ,则视场角为下限角的圆上点在像面上所拥有的像素为  $2\pi R$ ,对于同一圆柱面,视场角为上限角的圆上所有的点(如 B 点)在像面上所拥有的像素为  $2\pi r$ ,由于  $R > r$ ,视场角由下到上,空间上同一半径的圆在像平面上所拥有的像素越来越少,分辨率也随之降低,此过程相当于图像的降采样,降采样的比例由外到内逐渐增大。

常规降采样在整个图像上降采样的比例是一定的,即等间隔采样后的图像各处的分辨率保持一致。PAL 图像由于其成像特点,分辨率不均匀,其图像复原需要解决两个问题:一个是 PAL 的形变问题,二是在解决形变的同时,提高内径的分辨率,保持展开图像的分辨率均匀一致,恢复图像的细节。

### 2.1 几何形变

全景图像展开采用的映射方法是将环形像沿其外圆周展开<sup>[1,2]</sup>,由于外圆周具有最高的分辨率,即以最高分辨率为基准将图像展开,内圆的分辨率和最高分辨率保持一致,对环形像的展开分成两步<sup>[3]</sup>:

(1) 切线方向线性化:即保持内外最大尺度不变,将环形像展开成矩形像;

(2) 径向方向线性化:展开的图像需要在径向上进行拉伸,满足径向无畸变的需求。

### 2.2 插值处理

图像经几何位置校正后,在校正空间中各像点的亮度值应等于被校正图像对应点的亮度值,但校正后的图像往往会出现某些像点挤压在一起,另一些则分散开了,使校正后的像点不落在坐标点上,所以经常需要在数字图像的各像素阵列中计算一个不在阵列位置上的新像素的灰度值,这个过程称为重采样,重采样的像素灰度是根据它周围原像素的灰度按一定的权函数内插得出。根据图像重建理论,理想的重采样函数是辛克(sinc)函数,其横轴上的各点的幅值代表了相应点对其原点(O)处亮度贡献的权。但由于辛克函数是定义在无穷域上,又包含三角函数的计算,实际使用不方便,因此我们采用了一些近似函数来代替它,据此产生了三种采用的重采样算法:最近邻点法,双线性内插法,三次卷积法。

(1)最简单的方法是最近邻点法,即令输出像素的灰度值等于最近的输出像素的灰度值,但是当图像中像素之间灰度级有变化的细微结构时,最邻近插值会

在图像中产生人工的痕迹。

(2)双线性内插法<sup>[4]</sup>,此方法利用周围4个邻点的灰度值在两个方向上做线性内插以得到采样点的灰度值,即根据带采样点与相邻点的距离确定相应的权值计算出采样点的灰度值。

设A,B,C,D点的坐标分别 $(x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_3,y_3), (x_4,y_4)$ ,P与A点的距离为 $\Delta x, \Delta y$ ,则首先对A,B点插值,得到点 $I_1(x_{12}, y_{12})$ ,其灰度值为:

$$f(X_{12}, Y_{12}) = f(X_1, Y_1) + \Delta x[f(X_2, Y_2) - f(X_1, Y_1)] \quad (1)$$

对C,D点进行插值,得到点 $I_2(X_{34}, Y_{34})$ ,其灰度值为:

$$f(X_{34}, Y_{34}) = f(X_3, Y_3) + \Delta x[f(X_4, Y_4) - f(X_3, Y_3)] \quad (2)$$

则对 $I_1$ 点和 $I_2$ 点进行插值,得到点 $I(X_o, Y_o)$ ,其灰度值为:

$$f(X_o, Y_o) = f(X_{12}, Y_{12}) + \Delta y[f(X_{34}, Y_{34}) - f(X_{12}, Y_{12})] \quad (3)$$

把(1),(2)式代入(3)式就可得到最后的灰度值,将该点的灰度值赋给点P,令

$$f(x, y) = f(X_o, Y_o) \quad (4)$$

这样就通过插值处理得到了非整数地址点的灰度值。

(3)三次卷积法<sup>[4,5]</sup>:用一个三次重采样函数<sup>[6]</sup>来近似表示辛克函数,如图3所示。

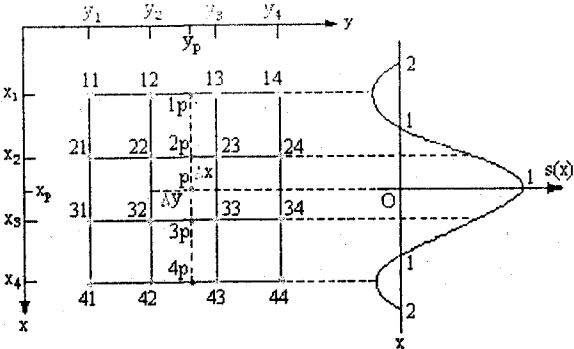


图3 三次卷积法

其中:

$$\text{sinc}(x) \approx$$

$$s(x) \begin{cases} 1 - 2x^2 + |x|^3 & |w| < 1 \\ 4 - 8|w| + 5|w|^2 - |w|^3 & 1 \leq |w| < 2 \\ 0 & |w| \geq 2 \end{cases} \quad (5)$$

式中, $x$ 定义为以被采样点 $p$ 为原点的邻近像素 $x$ 坐标值,其像素间隔为1,当把上式的函数作用于 $y$ 方向时,只要把 $x$ 换为 $y$ 即可,设 $p$ 点为采样点,它距离左上方最近像素22的坐标差: $\Delta x$ 与 $\Delta y$ 是一个小数值,即:设

$$u = \lfloor x_p \rfloor \quad v = \lfloor y_p \rfloor$$

$$\Delta x = x_p - u = x_p - x_{22} \quad (6)$$

$$\Delta y = y_p - v = y_p - y_{22} \quad (7)$$

$$\text{则 } p \text{ 点的灰度值: } f(x_p, y_p) = ABC \quad (8)$$

其中:

$$A = [s(1 + \Delta y) \ s(\Delta y) \ s(1 - \Delta y) \ s(2 + \Delta y)]$$

$$C = [s(1 + \Delta x) \ s(\Delta x) \ s(1 - \Delta x) \ s(2 + \Delta x)]^T$$

$$B = \begin{bmatrix} f(u-1, v-1) & f(u-1, v) & f(u-1, v+1) & f(u-1, v+2) \\ f(u, v-1) & f(u, v) & f(u, v+1) & f(u, v+2) \\ f(u+1, v-1) & f(u+1, v) & f(u+1, v+1) & f(u+1, v+2) \\ f(u+2, v-1) & f(u+2, v) & f(u+2, v+1) & f(u+2, v+2) \end{bmatrix}$$

对于上述三种方法,性能对比如表1所示。

表1 三种方法比较

	最近邻值	双线性插值	三次卷积插值
图像质量	失真较大	轮廓模糊,精度降低	较好保留了图像的高频成分
运算量	简单像素赋值,运算量低	对周围2*2像素点做线性插值,计算量相对较大	对周围4*4像素点作三次插值运算,运量很大
处理速度	0.0700s	1.1320s	2.1750s

(本表格中程序运行时间是512\*512灰度图像在内存256M, CPU 1.6GHz, 操作系统XP运行所得,不具有纵向可比性。)

基于以上分析,为了获取较好的图像质量,并保证处理速度,提出了基于边缘检测的插值复原方法,在进行插值之前首先使用Sobel算子<sup>[7]</sup>来判断此点是否为边缘点,若为边缘点采用三次卷积插值,非边缘点采用双线性插值,这样既保证了图像的质量,处理速度也得到保证。

### 3 实验结果

为了更为清楚地看到转换的结果,采用了一幅比较清楚的测试图,如图4所示,图由方块、方格和同心圆组成几何图像,只用双线性插值由文中的算法转换后所得到的图像如图5所示,由于此方法仅考虑了四个直接邻点灰度值的影响,而未考虑到邻点间灰度值变化率的影响,因此具有低通滤波器的性质,使展开后的图像高频分量受到损失,图像的轮廓变得比较模糊,

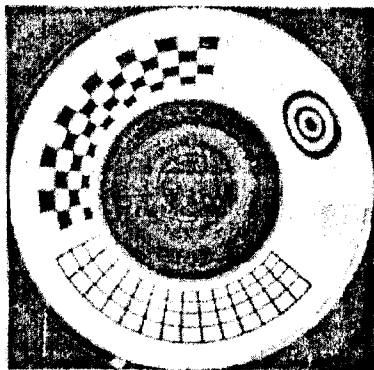


图4 原图像

Jcomponent 类,使 Ruler 类的对象具有组件性质,可以按照组件的有关方法来实现相应的四条标尺线,从而悬浮在所设置的图像上,具有随鼠标拖动的功能。在系统中 EditProperty. Java 文件就是用于把编辑器中当前用户设置的组件属性数据保存下来,以便生成 .xml 文件时系统从此文件中提取数据。其对应的界面如图 4 所示。

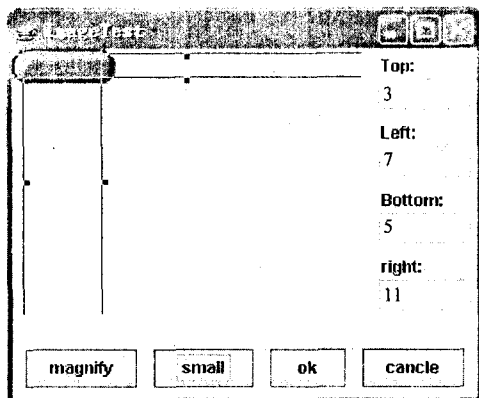


图 4 图像预览和边界设计窗体

## 6 结束语

通过对 Java Synth 以及 XML 技术和 UML 技术的研究和分析,提出了一种组件外观的定制工具模型,按照统一建模语言 UML 的开发方案设计,实现了一个

基于 Java Synth 的组件外观定制工具系统。实践表明用户通过本系统进行定制组件外观,能够大大缩短软件系统的开发周期,提高软件开发质量,降低开发成本,使应用程序外观的个性化过程变的更加容易,使软件行业发展更加迅速。

### 参考文献:

- [1] Abernethy M. Advance Synth[P/OL]. 2005-02-10. [http://www-128.ibm.com/developerworks/java/library/j-synth/?S\\_TACT=105AGX52&S\\_CMP=cn-a-j](http://www-128.ibm.com/developerworks/java/library/j-synth/?S_TACT=105AGX52&S_CMP=cn-a-j).
- [2] 方美琪. XML 及其在电子商务中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [3] 陈伟波. Java 实例[EB/OL]. 2005-2007. <http://www.java3z.com/cwbwebhome/javacode.jsp>.
- [4] Sun Microsystems, Inc. JDKTM 5.0 Documentation[S/OL]. 2004. <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/index.html>.
- [5] 萨 密. 电子商务实现采用 Java 技术和基于 XML 技术[D]. 上海:同济大学,2006.
- [6] 陈 张. 基于 Java 技术的工作流管理系统的研究与开发[D]. 上海:同济大学,2006.
- [7] 王 祯,赵合计,李德兴. UML 建模中一致性分析[J]. 计算机工程与设计,2006,27(22):4331-4333.
- [8] 张洪斌. 成功通过 Sun 认证 Java 2 程序员考试[M]. 北京:北京科海集团公司,2006.

(上接第 61 页)



图 5 双线性插值得到的结果



图 6 文中算法得到的插值结果

图 6 为使用文中的算法得到的结果,图像的亮度连续,并且能够较好保留图像的高频成分,轮廓比较清晰。

### 参考文献:

- [1] 朱方明,杨国光,姚炜勇,等. 全景环形透镜环形像的线性化研究[J]. 光子学报,2001,30(5):590-593.
- [2] 姚炜勇,程惠全,朱方明,等. 半球全景成像系统中的非线性映射研究[J]. 光电工程,2001,28(1):31-35.
- [3] 侯慧杰,白 剑,杨国光. 全景环形透镜二维平面成像展开算法研究[J]. 光子学报,2006,35(11):1686-1688.
- [4] Lehmm T M, Gooner C, Spitzer K. Survey: inmrpolation methods in medical image processing[J]. IEEE Trans on Medical Image,1999,18(11):1049-1075.
- [5] Keys R G. Cubic convolution interpolation for digital image processing[J]. IEEE Transaction on Acoust, Speech, Signal Process,1981,29(6):1153-1160.
- [6] Han J K, Kim H M. Modified cubic convolution scaler with minimum loss of imformation[J]. Optical Engineering,2001,40(4):540-546.
- [7] 求是科技. Visual C++ 数字图像处理典型算法及实现[M]. 北京:人民邮电出版社,2007:136-179.