

全景环形透镜二维平面成像展开算法研究*

侯慧杰 白 剑 杨国光**

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 针对基于平面圆柱透视法 PCF(Flat Cylinder Perspective)设计的全景环形透镜 PAL(Panoramic Annular Lens)的环形像存在畸变失真的现象,对全景环形透镜 PAL 的二维平面环形像设计了展开算法,分别在切向和径向进行线性化处理.算法采用了线性插值,使展开后图像无盲区,同时建立在 FCP 成像原理上的转化,实现了对二维平面 PAL 像进行真实恢复,且效果良好.

关键词 全景环形透镜;二维平面展开;线性化

中图分类号 O439 **文献标识码** A

0 引言

传统光学系统中透镜遵循中心投影法,因其对大视场成像存在视场弯曲失真现象,故若要获得 360°的视场,就必须在系统中安放扫描器件,而后通过图像的拼接来得到全景成像.此方法不能在同一时刻观察到整个视场的成像,只能按照扫描顺序逐一观察小视场成像,并且系统复杂,图像拼接的处理量十分可观.本文用 FCP 透视法设计的全景环形透镜(PAL),可以实时获得全景成像,实现了对二维平面 PAL 像的真实恢复,且效果良好.

1 FCP 和 PAL

PAL 镜头是基于 FCP 透视法的一种光学镜头,即把围绕光学系统光轴 360°范围的圆柱视场投影到二维平面的一个环形区域(如图 1)^[1].成像满足 $f-\theta$ 关系,且景深为 100 mm 至无穷远,不遵循常规光学系统的瞳窗关系.该镜头以牺牲光学镜头正前方的视场范围来实现平面圆柱投影.且在 PAL

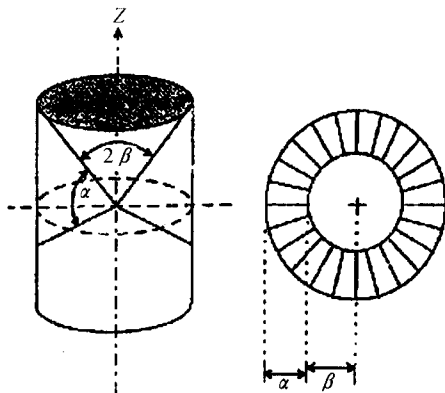


图 1 FCP 工作原理

Fig. 1 Principle of Flat Convergence Perspective

内成虚像,由后置镜头将像面拉出.

在 FCP 映射中,所有的与光轴平行的平行线会

聚于一点,图中能够成像的部分是 α 角的两条边绕轴旋转 360°后得到的三维立体区域.像面上每一个同心圆是与轴成同一角度点的轨迹(如图 2).环形透镜产生的环形像高度对应于侧像视场的范围.

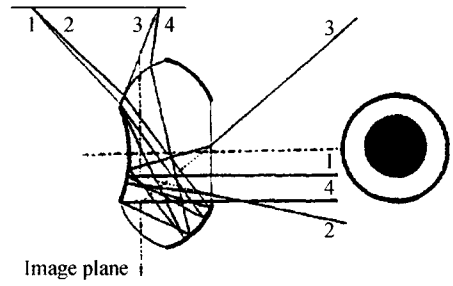


图 2 切向展开原理图

Fig. 2 Principle of tangential stretching

2β 角所代表的区域为盲区. PAL 成像原理(如图 3)^[2],成像圆柱面上所发出的光线 1,2 和 3,4 经 PAL 后为虚像,此虚像经中继透镜拉出为实像(图中未标出中继透镜).

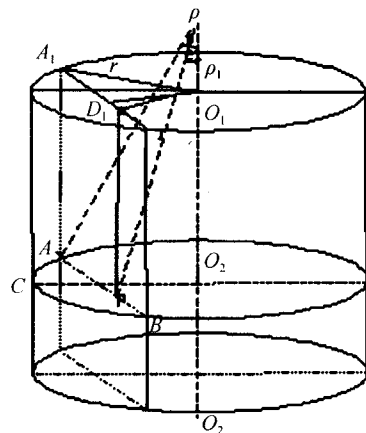


图 3 PAL 成像

Fig. 3 Ray diagram of PAL

本文根据 FCP 的工作原理,对二维平面的 PAL 像展开算法进行了研究,结果可实现对方形结构的 PAL 像的展开,消除了畸变和失真,能够很好地对二维平面结构进行恢复.

* 国家创新基金资助

** Tel:0571-87951186 Email:ggyang@zju.edu.cn

收稿日期:2005-08-03

2 算法原理

2.1 切向展开算法

根据 FCP 成像原理,圆柱面上所有平行于光轴的直线在 PAL 环形像中会聚于一点,所有对光轴成角度为 θ 的点成像后,为半径等于 ρ 的圆,其中 $\rho = k\theta$,其中 k 为一线性系数,由

$$k = \Delta\rho / \Delta\theta \quad (1)$$

确定,如图 4.

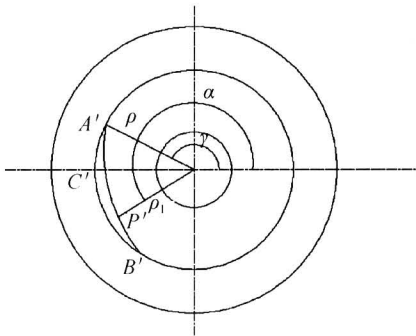


图 4 PAL 环形像
Fig. 4 Annular image of PAL

图 3 中, OO' 为系统光轴, O 为系统入瞳,对于某线段 AB , A 、 B 两点连接 O 点对光轴所成角度均为 θ ,若平面 ABC 与光轴垂直,则 \widehat{ACB} 上任意一点连接 O 点对光轴所成的角度均为 θ ,其像为 $\widehat{A'C'B'}$ (如图 4),为半径等于 $\rho = k\theta$ 的一段圆弧. 连接 AB ,其上任意一点 P ,连接 OP ,设其与 OO' 所成角度为 θ' ,其成像于图 4 中 P' ,则

$$P' = k\theta' \quad (2)$$

则 P' 必不在 $\widehat{A'C'B'}$ 上. 设圆柱半径为 r , O_1 到 AB 的距离为 d , O_1P_1 为 l ,如图 5,则

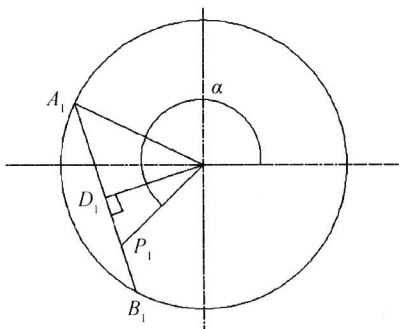


图 5 切向展开俯视图
Fig. 5 Planform of tangential stretching

$$l = d / \sin(\pi - \arcsin d/r - \alpha + \gamma) \quad (3)$$

$$\theta' = \arctan(l/h) \quad (4)$$



图 8 切向展开结果
Fig. 8 Tangential stretching results

式中 h 为 OO_2 的距离.

由 $h = r / \tan \theta$,把式(3)代入式(4),可得

$$\theta' = \arctan\left(\frac{d \tan \theta}{r \sin(\arcsin d/r + \alpha - \gamma)}\right) \quad (5)$$

其关系由图 6 来表示(其中 θ 的取值范围为 $22^\circ \sim 89^\circ$, α 的取值范围为 $-45^\circ \sim 45^\circ$, γ 取 -45°).

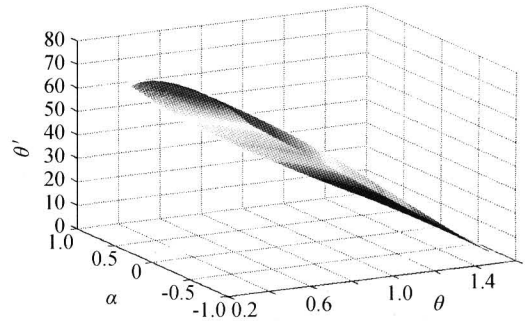


图 6 角度关系图
Fig. 6 Graph of angles' relation

通过切向展开算法,可以还原直线的像为直线.

2.2 径向展开算法

由于 FCP 投影法遵循 $f-\theta$ 理论,故柱面上等距环线的环形像为随半径增大间距渐大的圆环. 故图像需要径向展开. 传统成像像高满足 $f-\tan \theta$ 关系,故展开后像高 h' 与原始 PAL 像高 h 满足

$$h' = h \tan \theta / \theta \quad (6)$$

经过径向和切向展开后,可以对与光轴平行的平面像进行很好的恢复,去除其畸变. 本文的切向和径向算法均通过逆向线性差值运算来完成,从而使展开后的像面连续,且无盲点.

3 实验结果

图 7 为实验所用一方形结构的 PAL 环形像以及一方井的 PAL 像. 实验用方形结构内侧为分布均匀的图案颜色可区分的区域,长宽均为 2.75 cm,方形结构经过切向展开后的结果如图 8,方形结构和

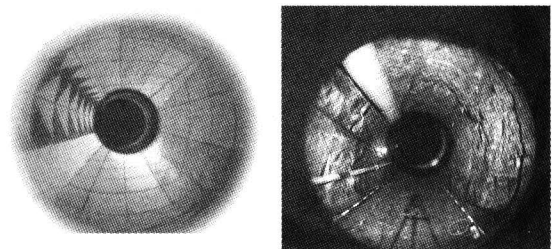


图 7 方形结构环形像
Fig. 7 Annular image of two models

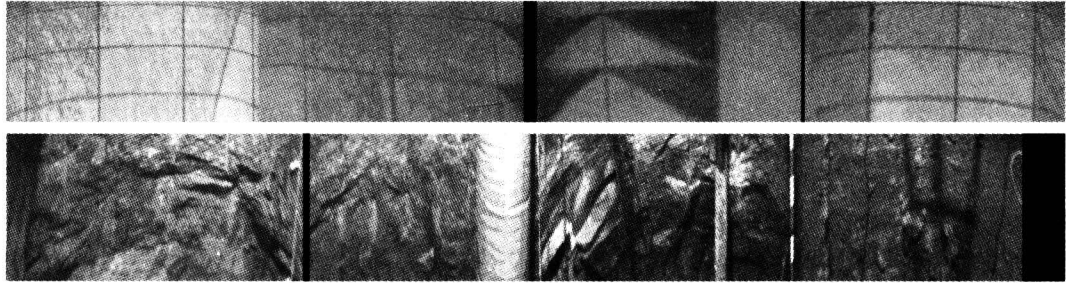


图9 径向和切向展开结果

Fig. 9 Stretching results of radial and tangential processes

方井经过切向和径向展开后的结果如图9。

实验展开误差由以下几点引起:1) 本文算法是针对标准平面设计,由于实验用方形结构为一软质纸折方筒,各个平面都存在不同程度的弯曲现象,不是理想的平面,故展开结果不是十分标准的长方形阵列. 这一现象可由展开结果看出;2) d/r 测量误差是由于所用方形结构的测量仪器为一毫米刻度尺,测量准确度不高,面形不完善,以及 d, r 较小等原因造成的;3) 对于实际物体,如方井,表面不完善,则每一点的 d/r 均不相同,故展开结果并不是原物体几何意义上的完全恢复,但对于实际操作已具有极大的改善作用;4) 对边界选取具有比较大的依赖性. 由于展开算法对 d, r 具有很强的依赖性,故平面与平面之间的边界选取显得十分重要,否则相当于人为增大或减小了 d, r ,造成较大误差.

4 结束语

本文通过对 FCP 原理的分析,对平面物体的 PAL 像进行了切向和径向的展开处理,实现了对平

面物体的恢复,进一步拓展了 PAL 的应用领域,使其可应用于方形隧道等类似领域的窥探工作,例如钻井中的应力裂纹,炮筒中的表面缺陷实时检测,机器人实时全景视觉等研究.

参考文献

- 1 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. 光电工程,2001,28(1):32~35
Yao W Y, Cheng H Q, Zhu F M, et al. *Opto-Electronic Engineering*, 2001, 28(1):32~35
- 2 朱方明,杨国光,姚炜勇,等. 全景环形透镜形像的线性化研究. 光子学报,2001,30(9):1111~1114
Zhu F M, Yang G G, Yao W Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2001, 30(9):1111~1114
- 3 Greguss P. The tube peeper; a new concept in endoscopy. *Opt Laser Techn*, 1985, 17(1):41~45
- 4 Gilbert J, Fair S, Caldwell S, Gronner S, et al. A hemispherical imaging and tracking (HIT) system. AIAA SDIO Annual Interceptor Technology Conference, Huntsville, AL, May 1992. 19~21

Research on Image Processing of Two-Dimensional Plan of the Hemispheric Panoramic Imaging System

Hou Huijie, Bai Jian, Yang Guoguang

State Key Laboratory of Modern Optics and Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2005-08-03

Abstract PAL (Panoramic Annular Lens) was a hemispheric panoramic imaging system based on the principle of FCP (Flat Cylinder Perspective), field range of 360° around the optical axis could be imaged into a annular plane without any kinds of rotatable parts. The image was distorted, thus it was necessary to correct the deviation. An algorithm of correcting the image of a two-dimensional plane was provided based on the principle of FCP, after being treated by radial and tangential linear processes, image of the plane could be corrected into its former shape.

Keywords Hemispheric panoramic imaging system; Two-dimensional plane stretching; Linearization

Hou Huijie was born in 1982. She received her B. S. Degree in Zhejiang University in 1999 and now she is pursuing her M. S. Degree in Department of Optical-Electrical Information Engineering, Zhejiang University. Her major is Optical Engineering, research areas including optical information engineering, image processing and optical instrument measurement.