

微型无人机载实时全景成像设备研究

王敏¹, 周树道¹, 李济生², 贾贇¹

(1. 解放军理工大学气象海洋学院, 南京 211101; 2. 总参作战部气象水文局, 北京 100081)

摘要: 针对目前基于图像拼接法和鱼镜头法无人机载全景成像实时性低、成本高的问题, 设计了一种微型无人机载实时全景成像设备。采用基于抛物面反射镜的折反射全景成像方式, 通过无线通信实时获取机载全景图像视频, 并利用投影变换展开成柱面全景图像, 从而实时获得水平方向 360°、垂直方向 286° 范围内的大视场图像, 提高了无人机载大视场成像的实时性, 降低了系统成本, 为进一步释读图像奠定了重要基础。

关键词: 无人机; 全景成像; 折反射; 抛物面反射镜; 投影变换

中图分类号: V249; TN942.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)11-0081-03

On Real-Time Panoramic Imaging Equipment Onboard UAVs

WANG Min¹, ZHOU Shu-dao¹, LI Ji-sheng², JIA Yun¹

(1. Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China;

2. MET-HYD Bureau of General Staff Battle Department, Beijing 100081, China)

Abstract: The panoramic imaging onboard UAV based on image mosaics or fish eye lenses has the shortages of low real-time performance or high cost. To solve the problems, we designed a UAV real-time panoramic imaging equipment. The catadioptric panoramic imaging based on parabolic reflector was used, and real-time airborne panoramic image was obtained through wireless communication, which was then changed to cylindrical panoramic image through projection transformation. Thus a real-time, large field-of-view image (360° in horizontal and 286° in vertical) was obtained. The method can improve the real-time performance large FOV imaging and decrease the cost, which lays an important foundation for further image interpretation.

Key words: UAV; panoramic imaging; catadioptric; parabolic reflector; projection transformation

0 引言

无人机成像系统具有体积小、重量轻、损耗低、成本低、重复使用率高和风险小等优势, 尤其是传统卫星成像所无法比拟的高时效和高分辨率性能, 已应用到军事侦察、军事预警、气象、资源勘测及处理突发事件等领域, 具有非常广阔的应用前景。

目前, 国内外全景成像技术的研究主要集中在地面采集, 对于空中全景图像采集研究较少。归纳起来, 为获得全景成像主要有图像拼接法和鱼镜头法 2 种方法。基于图像拼接的全景成像方法之一是使相机绕通过其光心的垂直轴线旋转对多个方向的场景成像,

再将这些不同方向的场景图像拼接成一幅全景图。这种方法, 虽然成像分辨力高, 但成像速度慢, 拼接算法复杂, 一般只能拼接出柱面全景图像, 不满足单一视点要求, 且成本高、系统复杂, 不能满足实时全景成像的需要^[1-2]。另外, 无人机载拼接图像还有以下 3 个问题: 1) 无人机的曲线型飞行航线, 使得图像的旁向重叠度不规则且过小 (低于 10%), 导致连接点的提取和布设难度大; 2) 获取的单幅图像倾角过大且无规律、个别航向重叠度过小 (低于 20%)、灰度不一致, 导致图像匹配难度大、精度低, 对后续的图像处理不利; 3) 图像幅小、数量多, 使得工作量大、效率低, 对采用的处理方法的时效性和自动化程度要求高^[3]。同时, 由于多数的无人机成像平台使用的是非量测型相机, 成像质量较差, 图像畸变大、不规则、辐射信息差异明显, 这些不利因素给图像拼接带来很大的挑战。

鱼镜头在获得大视场的同时又有其缺点, 即会产生严重的桶形畸变, 很难校正, 且成像分辨力低。高

收稿日期: 2015-01-25

修回日期: 2015-03-05

基金项目: 国家自然科学基金 (41301370)

作者简介: 王敏 (1983—), 女, 陕西咸阳人, 硕士, 讲师, 研究方向为成像技术、数字图像处理。

质量的鱼眼透镜通常采用 10 片以上的结构和高质量的 光学材料,因此系统复杂,成本昂贵^[1,4-5]。

如上所述,概括起来,目前无人机成像技术存在以下问题:成像速度慢,实时性差,不能同时获得完整的全景图像,更不能获得动态全景图像,且获取图像的数据量大,拼接算法复杂,而且不能满足单一视点要求、成本高、系统复杂。

本文研究了一种微型无人机载实时全景成像设备,采用基于抛物面反射镜折反射全景成像方式^[6-7],地面接收控制模块通过无线通信实时接收机载全景图像视频,并利用投影变换展开成易于视觉查看的柱面全景图像,提高了无人机载大视场成像的实时性,降低了系统成本,为进一步释读图像奠定了重要基础。

1 折反射全景成像基本原理

折反射式全景成像通过不同形式的反射镜(双曲面、抛物面、球面、椭球面、圆锥面等)把水平方向 360°范围内物体的光线反射或折射到成像传感器内,从而实时成像获得远大于普通相机视场范围的景象。相比图像拼接和鱼镜头技术,折反射全景成像技术能一次性获取水平 360°方向的图像,具有成像速度快、结构简单、成本低等优点。一般折反射全景成像设备主要由反射镜、成像透镜和感光元件等组成^[6,8],如图 1 所示。

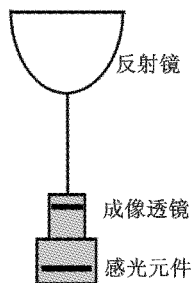


图 1 折反射全景成像系统组成

Fig. 1 Composition of catadioptric panoramic imaging system

2 系统和实时全景成像设备组成

本文设计了一种微型无人机载实时全景成像系统,由微型旋翼式无人机平台、实时全景成像设备和地面接收控制模块组成,如图 2 所示。

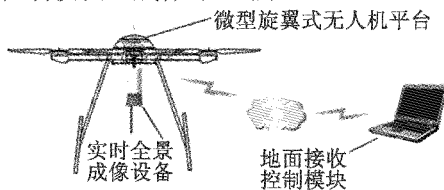


图 2 微型无人机载实时全景成像系统组成图

Fig. 2 Composition of UAV real-time panoramic imaging system

微型无人机载实时全景成像设备由连接件、光学保护罩、铝合金外壳、反射镜、高清摄像头、信号传输与控制板、无线天线和电源等组成,如图 3 所示。该设备长 135 mm,直径 70 mm。

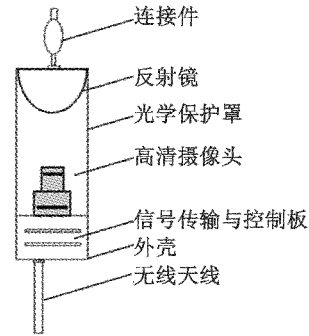


图 3 微型无人机载实时全景成像设备组成图

Fig. 3 Composition of UAV real-time panoramic imaging equipment

图 3 中,反射镜采用抛物面镜面线型,由黄铜加工而成,可以实时获取水平 360°,垂直方向 286°的大场景图像。高清摄像头装在反射镜的焦距倍位置,无线信号传输与控制板在(铝合金)外壳内,无线天线装在外壳外部。光学保护罩材质为高透光率石英玻璃或 PC 材料。同时,实时全景成像设备预留锂电池、外接直流电源适配器接口。

摄像机镜头焦距 6 mm,实时全景成像设备外观尺寸为长 135 mm,直径 70 mm。

抛物面反射镜口径为 $D_M = 52$ mm,要求设计的全景系统具有大于半球视场成像($\theta_{\max} = 143^\circ$)。

摄像机光心到镜面边缘的距离为

$$H = \frac{D_M}{2} \left(\frac{\cos \theta_{\max} + 1}{\sin \theta_{\max}} \right) \quad (1)$$

计算可得设备的抛物面反射镜面形参数,即摄像机光心到镜面边缘的距离 $H = 13$ mm。抛物面反射镜面高度为

$$h = \frac{D_M(1 - \cos \theta_{\max})}{4 \sin \theta_{\max}} \quad (2)$$

可得设备的抛物面反射镜面高度为 $h = 26$ mm,抛物面反射镜面形(抛物线)的解析几何表达式为

$$z = \frac{H^2 - r^2}{2H} \quad (3)$$

可得设备的抛物面反射镜面形(抛物线)的解析几何表达式为 $z = 6.5 - \frac{r^2}{26}$ 。

3 全景图到柱面全景图的投影变换

由折反射全景成像系统获取的原始图像(即球形图)称为折反射全景图像,如图 4a 下方。但由于原始

图像严重变形,不适合直接观察,需要把折反射全景图像变换为符合人眼视觉习惯的圆柱面投影图像,如图 4b。其中:抛物面顶点 O_1 设为空间坐标系的坐标原点; A 为抛物面焦点;抛物面的焦距 $AO_1 = \lambda$; k 为坐标原点 O_1 到圆柱底面的距离; r 为抛物面底面半径; W 为球形全景图所在成像底片宽; H 为成像底片高。将圆柱面全景图沿着与 X 轴正方向垂直相交的一条母线展开,以左下角顶点为原点建立二维直角坐标系,得到柱面投影变换全景图。求柱面全景图上任意点 $P_3(X, Y)$ 对应的球面全景图上点 P 的坐标 (U, V) [6,9] 的过程,即柱面全景图与折反射球面全景图之间的投影变换。依据图 4 折反射球面全景图变换为柱面全景图的光路,则投影变换公式为

$$\begin{cases} U = \frac{W}{2} - \frac{a(Y-k-\lambda) + \sqrt{a^2(Y-k-\lambda)^2 + 4a\lambda r^2}}{2r} \cdot \cos \frac{X}{r} \\ V = \frac{H}{2} + \frac{a(Y-k-\lambda) + \sqrt{a^2(Y-k-\lambda)^2 + 4a\lambda r^2}}{2r} \cdot \sin \frac{X}{r} \end{cases} \quad (4)$$

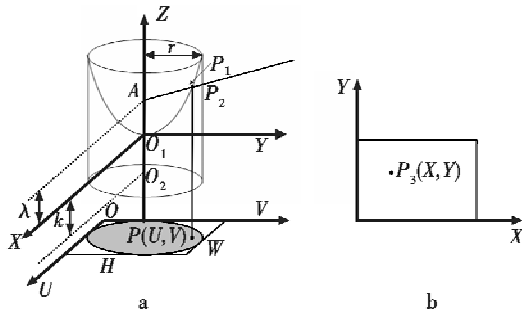


图 4 折反射球面全景图变换为柱面全景图
Fig. 4 Transformation from catadioptric panoramas to cylindrical panoramic image

4 实验效果

本文设计的微型无人机载实时全景成像系统和全景成像设备实物如图 5 所示,实验获取的全景图像如图 6 所示,展开的柱状图如图 7 所示。



图 5 微型无人机载实时全景成像系统实物
Fig. 5 Material object of UAV real-time panoramic imaging system

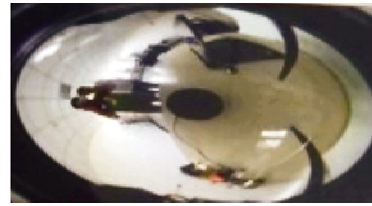


图 6 微型无人机载实时全景图
Fig. 6 UAV real-time panorama image



图 7 微型无人机载实时柱面全景图
Fig. 7 UAV real-time cylindrical panoramic image

由于采用折反射式成像原理,相比于旋转拼接获得全景图像而言,不需要扫描镜、不需要进行多幅图像的无缝拼接,因此可以实现无延迟的实时成像。但由于搭载在无人机平台上进行空中离地的全景图像采集,因而,地面接收控制模块获取图像的延迟仅是由于采用的压缩和无线传输所引起的,本系统中图像的延迟不大于 0.5 s,与现有基于旋转拼接的机载全景成像系统相比,实时性更好。

5 小结

本文设计的微型无人机载实时全景成像系统及实时全景成像设备,能够一次性实时获取空中对地观测的全景图像,系统和设备结构简单、成本低廉、体积小、功耗低,可方便移植到有人飞机、微型飞行器、机器人等平台,以及海关、银行等其他社会安全监测场所,构成实时全方位监控系统,对于促进监控技术水平的提高有重大意义,具有广阔的市场应用前景与经济价值。

但由于本系统的图像延迟来源于无线图传模块,因此有必要对图像的压缩编码和无线传输算法进行研究;另一方面,机体运动和振动等原因还会引起全景图像像移,即运动畸变,还需对全景图像进行运动模糊图像复原处理。因此,在建立了机载折反射式全景实时成像设备后,还需对图像的无线传输实时性以及后期的图像质量进行提升。

参考文献

[1] BENOSMAN R, DEVARS J. Multidirectional stereovision sensor, calibration and scenes reconstructinn [C] // Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognitinn, 1996:161-165.
[2] YAMADA K, LCHIKAWA T, NAEMURA K, et al. High quality stereo panorama generation using a 3 camera sys-