

doi: 10.7690/bgzdh.2019.12.004

某摄录型无人机脱靶量计算方法

赵 慧

(中国人民解放军 92419 部队 4 分队, 辽宁 兴城 125106)

摘要: 针对新型导弹在中靶瞬间, 由于射程远、速度快、海况差等导致拍摄难度增大的问题, 提出一种摄录无人机脱靶量算法。利用小孔成像原理, 依据 OpenCV 函数库, 建立相应的数学模型, 从参考点选取、船身姿态、相机角度 3 个方面对计算误差进行分析, 通过在陆地上试飞和摄录, 对算法进行验证。实验结果表明: 该无人机摄录设备和脱靶量计算方法满足使用要求, 与实际距离及百度地图测距距离对比, 测量误差在 1.5 m 以内。

关键词: 摄录无人机; 脱靶量; 计算方法; OpenCV; 函数库

中图分类号: TJ760.5 **文献标志码:** A

Calculation Method of Miss Distance for Camera UAV

Zhao Hui

(No. 4 Team, No. 92419 Unit of PLA, Xingcheng 125106, China)

Abstract: Aiming at the problem that the shooting difficulty of the new missile is increased because of its long range, fast speed and poor sea condition at the moment of target hitting, an algorithm for the miss distance of UAV is proposed. According to OpenCV function library and the principle of small hole imaging, the corresponding mathematical model is established. The calculation error is analyzed from 3 aspects: reference point selection, hull attitude and camera angle. The algorithm is validated by flight test and video recording on land. The experimental results show that the UAV cameras and miss distance calculation method meet the application requirements. Compared with the actual distance and Baidu map ranging distance, the measurement error is less than 1.5 m.

Keywords: camera UAV; miss distance; calculation method; OpenCV; function library

0 引言

脱靶量是指武器系统测试鉴定或使用过程中, 实际飞行轨迹与目标的最小距离^[1], 是评估武器性能的一个重要参数, 得到了越来越多的关注^[2-4]。新型导弹战斗部技术发展迅速^[5], 因射程远、速度快、海况差等问题, 增大了中靶瞬间的拍摄难度。现在多选用无人机作为过靶实况摄录平台。其中: 无人直升机的任务半径、任务载荷和抗风能力都很难满足海上远距离摄录任务要求; 固定翼无人机系统经费高、风险大、寿命短, 且操控保障需要较大场地和较多的技术保障人员; 有动力飞艇的抗风、续航力一般不满足靶场使用需求, 增加抗风能力就要增加艇体体积和发动机功率, 经费将大幅度增加, 使用和存放的困难也将相应加大; 系留球平台载荷能力大但缺乏机动性, 系统收放时间长; 多旋翼无人机, 机动灵活、空中视场较好, 但其航时有限, 续航时间通常小于 40 min, 若从船上起降, 将弥补续航时间短的不足。

笔者基于系留多旋翼搭载任务, 组成反舰导弹

过靶实况空中摄录平台, 集图像摄录、处理、存储于一体^[6], 主要技术指标满足使用需求, 且升降操作简单、滞空时间长、搭载能力强、效费比高。

1 整体算法

该无人机脱靶量计算流程如图 1 所示。

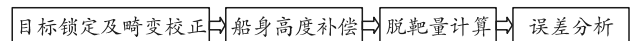


图 1 测距流程

1.1 目标锁定及畸变校正

该无人机加载 Gopro Hero3 摄像机, 利用小孔成像原理, 其成像模型如图 2 所示。

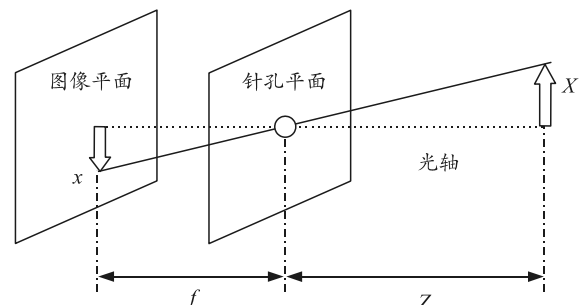


图 2 摄像头针孔成像模型

收稿日期: 2019-08-14; 修回日期: 2019-09-20

作者简介: 赵 慧(1986—), 男, 河南人, 硕士, 工程师, 从事飞行器设计研究。E-mail: 34214039@qq.com。

在针孔成像模型中，存在以下关系：

$$-x = f \frac{X}{Z} \quad (1)$$

其中： f 为针孔到屏幕的距离； Z 为摄像机与目标的距离； X 为目标长度； x 为目标成像。

通过理想针孔，得到一个对视觉中 3 维几何分析有用的模型，但实际中，必须采用透镜以便使得足够的光聚集到某个点上，采用透镜就引入了畸变。标定是摄像机视觉中的关键技术环节之一^[7]。可以采用 OpenCV (open source computer vision library) 开源图像处理函数库计算内外参数及畸变参数。OpenCV 是跨平台计算机函数库，包含多种计算摄像机内外参数的算法。本例利用 cvCalibrateCamera2 计算摄像机内外参数函数。在这个程序中，标定方法是把摄像机对准一个有很多独立可标识点的物体 (常用的为棋盘格)，多方位对这个物体成像，计算摄像机的相对位置、方向以及摄像机的内外参数。然后储存这些角点坐标，进而求出摄像机的内外参数和畸变参数，最后通过 OpenCV 中 initUndistortRectifyMap 和 remap 函数得到平面映射矩阵，实现畸变图像到非畸变图像的映射。

图 3 为 Gopro Hero3 摄像机拍摄到的图像和畸变校正后的图像。经过标定和畸变校正，图像中的物体形状比例和实际中物体形状比例变得一致。假如拍摄角度垂直向下，且物体在视野中央，那么实际中的长宽比即为在图像中的长宽比，但实际上存在拍摄角度并非垂直向下的情况，需要做算法上的补偿。



图 3 Gopro Hero3 摄像机畸变校正对比

1.2 船身高度补偿

无人机从船上起飞到船体正上方高度为 H 。假设船身高度为 h ，则绝对飞行高度为 $H+h$ 。由于测量船身以外的点都在海平面上 (绝对高度为 0)，会引进测量误差。对于畸变校正完毕的图像，以 x 方向为例，建立摄像机、船身高度、测量点的数学模型如图 4 所示。

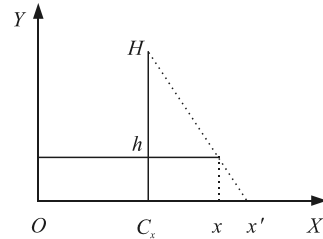


图 4 船高效应数学模型

其中： C_x 为飞行器正下方的点在图像中的横坐标； x 为图像中待测目标点的横坐标。如果忽略船高，那么 $|C_x - x|$ 即为图像中两点的距离。实际中，参考距离是在 h 高度下标定的，而测量点是在 0 高度下，由于差值 h 的存在，导致测量值不准确。测距必须保证目标点和参考点都在同一高度下。可以建立几何模型， x' 为经过补偿后，目标点在图像中的横坐标。根据相似三角形原理，存在如下几何关系：

$$\frac{H}{x - C_x} = \frac{h}{x' - x} \quad (2)$$

进一步可得：

$$x' = x + \frac{h}{H}(x - C_x) \quad (3)$$

实际上，可能出现待测目标点恰好处于船身边缘的情况。此种情况下：1) 将此点看作船上某点进行处理；2) 将此点看作船外某点进行处理。假设 $h=10\text{ m}$ ， $H=200\text{ m}$ ，1 m 占用 12 个像素，船宽 20 m，占用 $20 \div 2 \times 12 = 120$ 个像素^[8]。代入式(2)，得 $x' - x$ 占用 6 个像素，会带来 50 cm 的误差；因此，应尽量避免此种情况的发生。

1.3 计算方法

对标定的图片进行船高补偿，可以通过鼠标画点或者特征提取的方式采集船体参考点的坐标。以图 5 为例，拍摄角度垂直于地面，且船身大约位于图像中央的位置。要测量图像中某一个点 (如 A 点) 到船上 B 点的实际距离，图像中的参照物就是船。假设船的实际长度为 L_a ，在图像中像素长度为 L_p ， AB 点的实际距离为 X_a ，在图像中的像素长度为 X_p 。

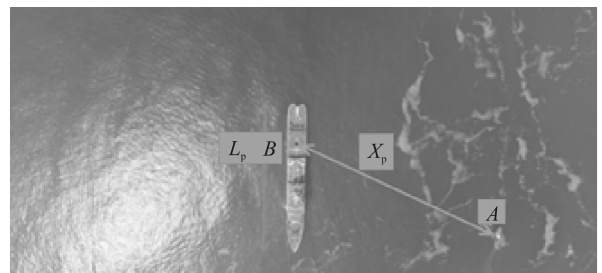


图 5 范例照片

设经过补偿后的 A 点坐标为 A' , $A'B$ 像素距离为 $X_{p'}$, 存在以下关系:

$$\frac{L_a}{X_a} = \frac{L_p}{X_{p'}} \quad (4)$$

其中船长 L_a 可以实际测得。这样, 就能计算出目标点实际距离 X_a 。

1.4 误差分析

该算法误差主要由 3 部分组成:

1) 由参考点选取引起。实际上, 由于鼠标选点造成的参考点误差很小。为将误差降至最低, 可以采取放大图片后再画点的办法。

2) 由船身倾斜引起。假设船身高 20 m, 倾斜 15° , 会带来 1 个像素的误差, 可忽略不计。为将误差降至最低, 应在船身上安装倾角传感器, 当倾角稳定在 10° 内, 再进行测量。

3) 由拍摄角度倾斜引起。根据小孔成像理论,

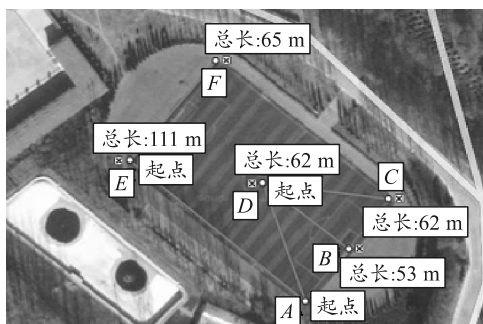


图 6 百度地图自带测距工具获得的数据

表 1 计算、实测、百度地图测量距离的对比结果 m

线段	计算距离	实际测量距离	百度地图测量距离	最大误差
AD	61.48	61.92	62.00	0.52
BD	52.03	52.85	53.00	0.97
CD	61.45	61.91	62.00	0.55
AE	109.56	110.50	111.00	1.44
EF	63.77	64.86	65.00	1.23

使用该无人机及摄录设备, 对比现场标定数据以及百度地图自带的测距距离可知: 测量误差在 1.5 m 以内, 误差较小, 满足使用要求。

3 结论

结果表明: 该无人机摄录设备和脱靶量计算方法测量误差较小, 满足使用要求。但随着测量偏角的增大, 误差也有增大趋势。

参考文献:

[1] HOFFMAN J R, MAHLER R P S. Multitarget miss distance via optimal assignment[J]. IEEE Trans, on Man

and Cybernetics, Part A, 2004, 34(3): 327-336.

2 验证实验

如图 6 所示, 在某体育场进行验证实验, 图中标定的距离为利用百度地图自带的测距工具获得的 5 组数据。AC 经实地测量距离为 64.86 m, 以此边长实际值作为计算参考值。如图 7 所示, 无人机搭载 Gopro Hero3 相机自 A 点起飞, 定高 200 m 悬停拍摄棋盘格, 调用 OpenCV 的函数对相机进行标定和畸变校正。实际中, 无论实地测量或者百度地图测距, 都存在一定误差, 为更准确掌握无人机拍摄误差的范围, 将上述 2 种测量方式作为对比对象。表 1 为计算距离、实际测量距离、百度地图测量距离的对比结果, 其中最大误差为计算距离与实际距离或百度地图测量距离差值的最大值。



图 7 Gopro hero3 相机获得的图片

- and Cybernetics, Part A, 2004, 34(3): 327-336.
- [2] CHANG C, LIN D F, QI Z K, et al. Study on the optimal terminal guidance law with interception and impact angle[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2009, 29(3): 233-239.
- [3] 刘宇, 顾佼佼, 胡文莹, 等. 地空导弹系统与反辐射导弹对抗中的发射时机研究[J]. 兵工自动化, 2018, 37(9): 5-7.
- [4] WANG H, LIN D F, CHENG Z X. Time-to-go weighted optimal trajectory shaping guidance law[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2011, 20(3): 317-323.
- [5] WEI J F, WEN Y Q. Initiation style optimization of aimed warhead simulation[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2008, 17(3): 285-289.
- [6] 高昕等. 实现高速大阵面图像摄录处理存储一体系统的技术途径[J]. 飞行器测控学报, 2002(6): 28-31.
- [7] 张伟, 程鸿, 韦穗. 摄像机标定系统的设计与实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(2): 255-256, 276.
- [8] 袁新波, 江多琨, 周前进, 等. 某型迫击炮射无人机应用研究[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(6): 105-109.