

·测试、试验与仿真·

基于紫外成像引导技术的无人机自主着舰研究

丁宸聪

(海军装备研究院, 上海 200436)

摘要:针对无人机着舰性能要求,研究其紫外成像自主着舰引导技术。首先构建舰载无人机紫外成像自主着舰引导系统,然后计算分析该系统的可行性,最后给出该系统的涉及的相关算法。

关键词:舰载无人机;自主着舰;紫外成像;引导技术;

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2015)-05-0079-04

Research on UAV Autonomous Landing Based on Ultraviolet Imaging Guiding Technology

DING Chen-cong

(Naval Academy of Armament, Shanghai 200436, China)

Abstract: According to the requirements of unmanned aerial vehicle (UAV) landing characteristics, ultraviolet imaging autonomous landing guiding technology is researched. Firstly, the ultraviolet imaging autonomous landing guiding system of shipboard UAV is constructed. And then, the feasibility of the system is analyzed through calculating. Finally, the relative algorithm about the system is proposed.

Key words: shipboard unmanned aerial vehicle (UAV); autonomous landing; ultraviolet imaging; guiding technology

舰载无人机是海基航空力量的合理补充,可以执行战场侦察、目标监视、电子对抗、通信中继等任务^[1-3]。与此同时,舰载无人机的安全着舰技术一直备受关注,国外在这一方面公开报道的研究成果较少^[4],国内主要停留在用陆基无人机做模型进行设计和仿真^[5-6],但对于舰载无人机来说,着舰区域却是一个面积狭小的浮动平台,其伴随着母舰不规则的纵倾、横摇和沉浮等运动,理想着舰点 DTP (designate touch point) 可以在短时间内发生数米的改变^[7-8];除此之外,舰尾气流场的干扰也会对着舰过程产生非常大的影响,若不采取气流扰动抑制措施,仅尾流稳态分量一项干扰就能够引起几十米的水平误差;加之海面气候复杂多变,能见度无法保证。针对无人机着舰的特殊要求,研究其紫外成像自主着舰引导

技术。

1 基本原理

无人机进入进场模式后,启动机上紫外接收机工作,开始搜索舰上紫外合作目标,当捕获目标后,转入目标跟踪模式,测定目标方向和距离,同时不断解算跟踪误差,引导无人机飞向舰艇;在无人机与舰相距 1.5 km 左右时,紫外通讯链路建立;当无人机飞临母舰上空后,利用合作目标特征图案,求解出距离、方位和相对速度等着舰信息。舰上紫外发射机发射舰的姿态信息,机上紫外接收机接收后传递给机上处理控制器进行解调等处理,机上处理控制器将着舰信息与飞机(舰船)的速度、高度和姿态

等信息融合,生成控制命令引导无人机降落,工作示意图如图1所示。

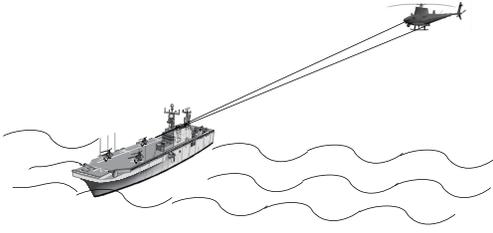


图1 系统工作示意图

当无人机收到进场命令后,紫外接收机搜索目标,当紫外接收机捕获到目标后,确定目标的方向,同时根据目标的灰度进行距离的估算,转入到目标跟踪模式,不断地解算出方位误差,将误差信息传给机上飞行控制器,机上飞行控制器根据惯性测量单元和紫外接收机提供的误差信息,修正无人直升机飞行方向;当飞机飞临母舰上空后,可以利用合作目标的图像特征,进行位置解算,求解出无人直升机相对于甲板的姿态和位置。

2 可行性计算

从能量传递特性可知,日盲型紫外探测系统对目标进行探测,当CCD的靶面照度等于CCD的最小照度(灵敏度)时,目标与探测系统之间的距离即为系统的探测距离。

设目标与探测系统之间的距离为 L ,由辐射学的相关公式,目标的辐射经过大气传输,通过透日盲型紫外光学系统后在像增强器靶面上的辐照度 E 为

$$E = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{I}{L^2} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \overline{\tau(L)} \cdot \left(\frac{D}{f}\right)^2 \quad (1)$$

式中, I 为目标在日盲型紫外波段的辐射强度; τ_1 为透日盲型紫外镜头的透过率; τ_2 为日盲型紫外滤光片的透过率; $\overline{\tau(L)}$ 为目标的紫外辐射在大气中传输距离为 L 时的平均透过率; D 和 f 分别为透日盲型紫外光学系统的有效孔径和焦距。

综合考虑像增强器和光纤光锥的作用,可求得CCD靶面的照度 E_{CCD} 为

$$E_{CCD} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{I}{L^2} \cdot G_{MCP} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_{\beta} \cdot \overline{\tau(L)} \cdot m^2 \cdot \left(\frac{D}{f}\right)^2 \quad (2)$$

式中, G_{MCP} 为像增强器的辐射增益; τ_{β} 和 m 分别为

光纤光锥的透过率和几何放大率。如果已知目标在日盲型紫外波段的辐射强度,再令 E_{CCD} 等于可见光的灵敏度 S_{CCD} ,由下式,可以求得探测距离 L 。

$$L = \frac{m \cdot D}{f} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot I \cdot G_{MCP} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_{\beta} \cdot \overline{\tau(L)}}{4S_{CCD}}} \quad (3)$$

式(3)是关于探测距离 L 的隐函数方程,所以在求解方程时,需要反复利用LOWTRAN软件计算 $\overline{\tau(L)}$,进行线性插值和迭代。

当探测距离指标要求为3 km,紫外接收机的探测灵敏度为 0.25×10^{-10} W/m²,经计算求得,当紫外源的辐射强度为0.032 W/sr时,紫外发射系统由200个紫外LED组成可以满足要求(按束散角120°的单个紫外LED辐射功率 0.5×10^{-3} W计算)。

3 算法设计

该系统设计的核心算法主要包括图像处理、位置解算、通讯调制与解调和信息融合等。

3.1 图像处理

将实时接收的图像,经目标检测、目标识别跟踪等处理,后实时输出目标位置。

(1) 目标检测

紫外图像具有背景干扰小、信噪比高的特点,有利于目标识别。计算图像的直方图,根据直方图确定图像的分割阈值,对图像进行二值化分割,经区域增长后,将目标的坐标、面积、形状和能量等特征信息提取出来。

系统性能由成像光电传感器的特性、杂波剔除软硬件,以及信号处理器的计算能力确定。信号处理器的计算能力决定探测系统的灵敏度门限,并与事件出现的数量相适应。

$$\frac{dN_{跟踪}}{dt} = g \cdot N_{像素} - r \cdot N_{跟踪} \quad (4)$$

$$\left. \frac{dN_{跟踪}}{dt} \right|_{静态} = 0 \rightarrow g \cdot N_{像素} = r \cdot N_{跟踪} \quad (5)$$

$$r = 1 - P_{r0} = g \cdot N_{像素} / N_{跟踪} \quad (6)$$

其中, $N_{跟踪}$ 为同时跟踪的目标数; r 为单个探测事件,持续时间不超过帧时。系统在连续数帧内获得稳定跟踪。

P_0 算子持续进行,直到出现一个置信度充分的探测事件。确认探测事件常用的方法是非相关综合,即从 $M(M \geq N)$ 个探测事件中求出 N 个,虚警概率

为

$$P_{j0} = \sum_{k=N}^M C\binom{k}{M} r^{M-k} (1-r)^k \quad (7)$$

利用“帧-帧”相减可进行像素内的背景扣除,保留目标信号或它的变化量,可进行移动目标的强度探测。实际上由于传感器的抖动而引起像素“模糊”、“帧-帧”空间配准较复杂。

(2) 识别跟踪

单帧处理后,根据目标的坐标、面积、形状和能量等特征信息,建立目标数据,经目标相关、轨迹相关、航姿融合后,更新目标数据库,持续对目标进行跟踪。

假定全部跟踪在图像空间形成一条直线(即使平台机动),系统需将未确定目标图像的位置变换成惯性空间坐标。在短的时间周期内,跟踪速度可能会有很大变化。跟踪的概率($P_{跟踪}$)确定为

$$P_{跟踪} = P(T|D)P(D) \quad (8)$$

其中, $P(D)$ 为在给定时间内探测足够目标事件的概率; $P(T|D)$ 为对单独目标探测并形成跟踪文件的确定概率。

为简化起见,假定系统采用TBD结构,那么,当 $P(T|D) \sim 1$,每个探测事件都独立于其他事件,且 $P_{跟踪} = 1 - (1 - P_{j0})^N$ 。

3.2 位姿解算

(1) 光轴角度偏移量计算

摄影成像模型:成像过程是三维空间到二维平面上的投影。即将空间物体上某种属性按一定规律投射在平面上形成图像,通常称为透视。

摄影测量常用坐标系一般采用右手准则来定义,常用坐标系有:世界坐标系、摄像机坐标系(由于摄像机固定安装在机体上,机体坐标系和摄像机坐标系为同一坐标系)和图像坐标系。如图2所示。

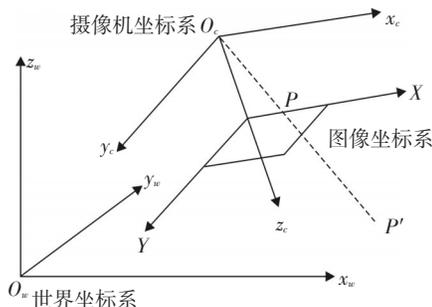


图2 相关坐标系定义

光轴角度偏移量计算,如图3。其中 b 为摄像机光轴与图像平面的交点,即图像平面($X-Y$)的几何中心。 M_1 为地面其中一个特征区域的中点, M_1' 为 M 在图像平面上的像点。

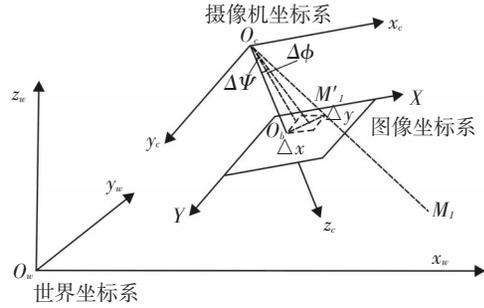


图3 光轴角度偏移量计算

摄像机拍摄的图片中,得到的 M_1' 相对于 M_1 的偏移量是在像素坐标系下 (u, v) ,转换到 $X-Y$ 坐标系下的转换公式为

$$\begin{cases} X = (u - u_0)/S_x \\ Y = (v - v_0)/S_y \end{cases} \quad (9)$$

可以求出得到 M_1' 相对 M 的偏移量为 $\Delta x, \Delta y$,又已知摄像机的焦距为 f ,可以得出光轴方位和俯仰偏转角 $\Delta\psi, \Delta\phi$ 为

$$\begin{cases} \Delta\psi = \arctan(\Delta x / f) \\ \Delta\phi = \arctan(\Delta y / f) \end{cases} \quad (10)$$

(2) 距离的估算

通过分析辐照度变化与距离变化关系,可估计径向运动目标的距离变化,进一步得出距离。推导如下:

接收机辐照度随源强度、距离、大气衰减的变化可表述如下

$$E_r = \frac{1}{R^2} \times I \times \exp(-\alpha R) + N_c \quad (11)$$

式中, I 为源辐射强度; R 为距离; α 为大气衰减系数; N_c 为噪声或杂波; E_r 为接收的带内辐照度。对时间求导数可得

$$\frac{dE_r}{dt} = -E_r \left(\frac{2}{R} + \alpha \right) \frac{dR}{dt} \quad (12)$$

式中,包括了距离、时间导数和径向速度 dR/dt 等信息。由于紫外波段大气衰减严重, α 作为常数通常均大于 1 km^{-1} ,通过分析辐照度变化与距离变化关系,可估计径向运动目标的距离变化。

3.3 机-舰通讯

紫外主发射机中IMU获得舰的姿态信息,控制管理电路将信息进行脉冲调制,经紫外LED发射出去,机上紫外接收机将紫外信息送到机上处理控制器,处理控制器将紫外信息进行解调(如图4)。

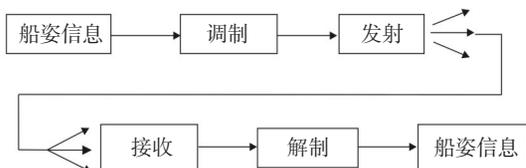


图4 紫外通讯流程图

紫外通讯采用PPM调制方式,误码率最小,紫外辐射源光强恒定,要传输的数据通过调频转换成相应频率的信号,通过控制开关来控制紫外辐射的闪烁频率。

3.4 信息融合及控制

机上处理控制器接收紫外通讯链路上传的船姿信息,同时将获取无人机在自动着舰过程中位姿参数,机载导航姿态、位置、高度信息和舰载导航姿态、速度、沉浮等信息融合,生成着陆控制命令给无人机飞行控制器,引导无人机着舰(如图5)。

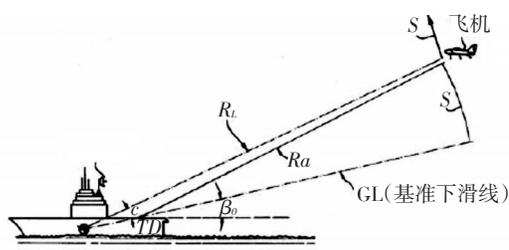


图5 无人机着舰引导示意图

4 结论

研究了舰载无人机的紫外成像着舰引导技术,设计了自主着舰引导体系模型,计算分析了系统实现可行性,最后给出了自主着舰引导算法。将紫外成像技术用于着舰引导,在复杂气象条件下和复杂电磁环境中,具备一定的优势。

参考文献

- [1] 赵宏天,王耀亮. 舰载无人飞机-21世纪水面舰艇的常规装备[J]. 舰载武器,2001(1):48-50.
- [2] 郑昌. 舰载无人机在岛屿登陆作战中的运用[J]. 四川兵工学报,2011,32(6):31-36.
- [3] 张晓敏. 舰载无人机作战使用研究[J]. 科技信息,2010(17):84.
- [4] Isaac Kammer, Antonio Pascoal, Eric Hallberg, et al. Trajectory tracking for autonomous vehicles: An integrated approach to guidance and control[J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 1998, 21(1):29-38.
- [5] 刘强,袁锁中. 基于TECH/H的无人机纵向着舰系统设计[J]. 安徽大学学报(自然科学版),2011,35(1):47-51.
- [6] 徐廷学,曹云峰,罗锋. 某型无人机自动着陆系统研究[J]. 南京航空航天大学学报,1997,29(5):523-528.
- [7] 杨迎化,唐大全. 无人机自动着舰方案研究[J]. 飞航导弹,2003(11):51-55.
- [8] 刘玉洲. 舰艇摇摆对雷达测向精度及工作方式的影响[J]. 舰船电子对抗,2002,25(2):18-21.
- [9] 李丹,冯巍巍,蔡宗岐,等. 紫外吸收全光谱法测定海水硝酸盐研究[J]. 光电技术应用,2015,30(1):68-71.
- [10] 李永,尹庆国. 面源红外诱饵辐射特性测试研究[J]. 光电技术应用,30(3):74-78.

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊,并加入中国光学期刊网,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。