

无人机光电侦察航线自动规划方法

刘 洋¹, 王 晶¹, 周 明²

(1. 西安爱生技术集团公司, 西安 710065; 2. 西北工业大学第365研究所, 西安 710065)

摘要:针对手动规划的侦察任务航线,无法将光电载荷的侦察特性和使用方式联系,难以适应飞行时快速任务航线规划的需要,采用了基于光电载荷无人机侦察航线规划方法,利用已知的目标区域和目标点信息,计算出航点信息,同时在给定了目标区域和目标点的参数后自动生成任务规划航线;飞行试验结果表明:无人机地面指挥与控制系统采用该方法,免除了传统人工在地图上规划航线,能够快速生成光电载荷侦察航线,极大地提高了无人机光电载荷航线规划的效率,满足了无人机作战任务的使用要求。

关键词:无人机;光电载荷;地面控制车;侦察航线;自动规划

本文引用格式:刘洋,王晶,周明. 无人机光电侦察航线自动规划方法[J]. 兵器装备工程学报,2021,42(01):94-97,121.

Citation format:LIU Yang, WANG Jing, ZHOU Ming. Automatic Planning Method for UAV Optoelectronic Reconnaissance Route[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(01): 94-97, 121.

中图分类号:V249.3;TP311.1

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2021)01-0094-04

Automatic Planning Method for UAV Optoelectronic Reconnaissance Route

LIU Yang¹, WANG Jing¹, ZHOU Ming²

(1. Xi'an ASN Technology Group Co., Ltd., Xi'an 710065, China;

2. 365 Research Institute, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Reconnaissance route for manual programming is unable to load on the optoelectronic reconnaissance features and use of contact, which is difficult to meet the needs of the rapid flight task route planning. It adopted the UAV reconnaissance route planning method based on optoelectronic load, using known target area and target information, computing the way point, at the same time it given target area and target parameters automatically generated the mission planning route. The flight test results show that the UAV ground command and control system adopts this design method to eliminate the inconvenience of traditional route planning on the map, quickly generate the optoelectronic load reconnaissance route, greatly improve the efficiency of the UAV's optoelectronic load route planning, and meet the requirements for the use of UAV combat missions.

Key words: UAV; optoelectronic load; GCS; reconnaissance route; automatic planning

随着现代战争作战方式的转变,无人机在战争中的地位愈显重要^[1-3],其主要作战任务就是目标的侦察、探测和监视,相比有人机具有明显的优势,侦察无人机快速发展成为了无人机的主力军,需要根据侦察的目标和范围进行航线规

划^[4-10],以便使机载侦察设备采集到需要的侦察信息,从而为其他武器协同作战提供保障。

最基本的航线规划方法是通过无人机系统地面控制站软件在数字地图上设置航程点形成航线,然后将规划的航线

收稿日期:2020-03-18;修回日期:2020-03-30

基金项目:陕西省重点产业创新链项目(2019ZDLGY14-01)

作者简介:刘洋(1980—),女,硕士,高级工程师,主要从事导航、制导与地面指挥控制研究,E-mail:yangliu@163.com。

信息通过无线电数据链上传至飞机,再由机载导航系统控制飞机按照规划航线飞行。这种人工手动规划的侦察任务航线,无法将光电载荷^[11-13]的侦察特性和使用方式联系起来,操作过程繁琐,对操作人员要求较高,费时费力效率低且精确度不高,难以适应飞行时快速任务航线规划的需要。

因此,本文提出了一种适用于光电载荷的无人机侦察航线自动规划方法,根据给定的目标区域信息,自动生成侦察任务航线引导无人机执行光电侦察任务。简化了操作流程,提高了光电侦察航线规划的效率。

1 光电侦察无人机系统组成

光电侦察无人机系统组成如图1所示,由无人机平台、光电任务载荷、数据链、以及地面控制车组成。无人机平台包括无人机机体和飞行控制航电设备。数据链包括机载数据链设备和地面数据链设备。地面控制车包括飞行控制、任务控制、任务规划以及情报处理。

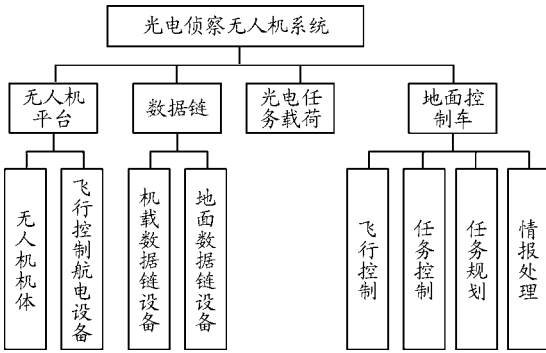


图1 光电侦察无人机系统组成框图

当无人机完成起飞并飞行到作战区域上空时,根据光电载荷执行任务^[14-15]的模式,分为点侦察和区域侦察,地面飞行操作人员输入待侦察的目标或区域信息,地面控制车任务规划系统自动生成侦察航线,并将规划航线信息通过数据链上传至机载,无人机接收到规划航线和程控命令后将会按照航线飞行,同时光电载荷执行侦察任务并将侦察信息实时下传至地面控制车。

2 侦察航线自动规划方法

2.1 点侦察航线自动规划方法

2.1.1 点侦察参数输入

接受侦察任务目标参数输入:驶入目标区域A点经纬度坐标 (L_A, B_A) ,驶出目标区域B点经纬度坐标 (L_B, B_B) ,侦察目标点T点经纬度 (L_T, B_T) ,海拔高度为 H_T ,无人机在执行侦察任务时相对目标区域的高度为 h ,无人机围绕目标点作圆周飞行时的盘旋圆的半径为 R_T ,图2中的长方形为目标点所在区域。

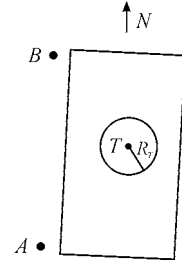


图2 点侦察模式目标信息示意图

2.1.2 点侦察航线计算

分别将A点、B点以及T点的经纬度坐标 (L_A, B_A) 、 (L_B, B_B) 以及 (L_T, B_T) 转换为平面直角坐标 (X_A, Y_A) 、 (X_B, Y_B) 以及 (X_T, Y_T) ,根据3点的位置计算出A点至T点的距离 D_{AT} ,B点至T点的距离 D_{BT} ,如式(1)所示:

$$\begin{cases} D_{AT} = \sqrt{(X_T - X_A)^2 + (Y_T - Y_A)^2} \\ D_{BT} = \sqrt{(X_T - X_B)^2 + (Y_T - Y_B)^2} \end{cases} \quad (1)$$

通过A点作盘旋圆的切线,切点为S点,通过B点作盘旋圆的切线,切点为E点,如图3所示;计算A点至S点的距离 D_{AS} 以及B点至E点的距离 D_{BE} ,如式(2)所示:

$$\begin{cases} D_{AS} = \sqrt{D_{AT}^2 - R_T^2} \\ D_{BS} = \sqrt{D_{BT}^2 - R_T^2} \end{cases} \quad (2)$$

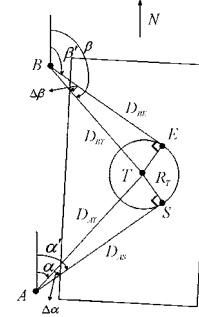


图3 点侦察模式计算关系示意图

A点与目标点T点连线的方向角(与正北方向夹角)为 α ,线段AT与AS形成的夹角为 $\Delta\alpha$,同样B点与目标点T点连线的方向角(与正北方向夹角)为 β ,线段BT与BE形成的夹角为 $\Delta\beta$,计算出 α 和 $\Delta\alpha$,如式(3)所示,计算出 β 和 $\Delta\beta$,如式(4)所示:

$$\begin{cases} \alpha = \arctan\left(\frac{X_T - X_A}{Y_T - Y_A}\right) \\ \Delta\alpha = \arcsin\left(\frac{R_T}{D_{AT}}\right) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \beta = \arctan\left(\frac{X_T - X_B}{Y_T - Y_B}\right) \\ \Delta\beta = \arcsin\left(\frac{R_T}{D_{BT}}\right) \end{cases} \quad (4)$$

如图3所示,A点与S点连线的方向角(与正北方向夹角)为 α' ,B点与E点连线的方向角(与正北方向夹角)为

β' 。若 $\alpha - \beta > 0$, 则 α' 和 β' 如式(5)所示; 若 $\alpha - \beta < 0$, 则 α' 和 β' 如式(6)所示:

$$\begin{cases} \alpha' = \alpha - \Delta\alpha \\ \beta' = \beta + \Delta\beta \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \alpha' = \alpha + \Delta\alpha \\ \beta' = \beta - \Delta\beta \end{cases} \quad (6)$$

根据方向角 α' 和 β' , A 点直角坐标 (X_A, Y_A) 和 B 点直角坐标 (X_B, Y_B) , 距离 D_{AS} 和距离 D_{BE} , 计算 S 点和 E 点的位置 (X_S, Y_S) 和 (X_E, Y_E) , 如式(7)和式(8)所示:

$$\begin{cases} X_S = X_A + D_{AS} \cdot \sin\alpha' \\ Y_S = Y_A + D_{AS} \cdot \cos\alpha' \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} X_E = X_B + D_{BE} \cdot \sin\beta' \\ Y_E = Y_B + D_{BE} \cdot \cos\beta' \end{cases} \quad (8)$$

利用坐标转换将 S 点和 E 点的直角坐标 (X_S, Y_S) 和 (X_E, Y_E) 转换为经纬度 (L_S, B_S) 和 (L_E, B_E) 。

根据以上计算和推导, 得出点侦察模式下侦察航线的航点依次为:

A 点驶入点: $(L_A, B_A, H_T + h)$;

S 点开始侦察点: $(L_S, B_S, H_T + h)$, 指令为开始侦察, 盘旋半径为 R_T , 盘旋圆心为 (L_T, B_T) , 盘旋周期为 n , 经过 n 次盘旋后进入 E 点结束侦察;

E 点结束侦察点: $(L_E, B_E, H_T + h)$, 指令为结束侦察;

B 点驶出点: $(L_B, B_B, H_T + h)$ 。

无人机进入任务程控后, 由 A 点进入目标区, 驶向 S 点, 在 S 点开始执行侦察任务, 以半径为 R_T 进行圆盘旋, 对目标点进行侦察, 经过 n 次盘旋后, 在 E 点结束侦察任务, 飞向 B 点, 使出 S 区, 点侦察任务结束。

2.2 区域侦察航线自动规划方法

2.2.1 区域侦察参数输入

为了对区域进行全面无遗漏侦察, 在执行任务时采用光栅式搜索路线(弓形航线)。接受侦察任务参数输入: 侦察区是宽度为 D_w 、高度为 D_H 的长方形, 长方形侦察区的中心点 C 点的经纬度坐标为 (L_C, B_C) , 侦察区域倾斜角为 θ , 如图4所示(一般情况下, 为了避免无人机转弯时带来的误差, 选取的长方形侦察区域要大于实际的侦察区域), 区域海拔高为 H_s , 无人机在执行任务时相对于侦察区域的高度为 h , 弓形航线的间距为 d (间距 d 和光电平台的视场角以及无人机飞行高度有关, 选择的间距一定要满足图像重叠率要求)。

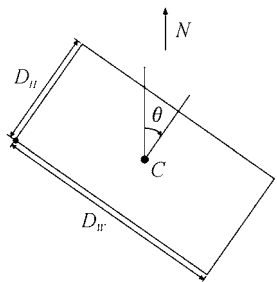


图4 区域侦察模式信息示意图

2.2.2 区域侦察航线计算

假设侦察区域倾斜角为 0 度, 将区域中心点 C 点的经纬度坐标 (L_C, B_C) , 转换为直角坐标 (X_C, Y_C) , 计算区域顶点 0 点(将该点作为弓形航线的起始点)的位置, 如式(9)所示:

$$\begin{cases} X_0 = X_C - \frac{D_w}{2} \\ Y_0 = Y_C + \frac{D_H}{2} \end{cases} \quad (9)$$

如图5所示, 以 $1, 2, 3, 4$ 四个点为一个循环, 计算整个区域的循环次数 $n = \lfloor D_w / 2d \rfloor$ ($\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整函数, 即 $\lfloor X \rfloor$ 表示不大于 X 的最大整数), 则整个区域的弓形航线航点数为 $N = 4n + 1$, 对 i 从 0 开始进行循环, $i < n$, $j = 4n$, 计算除起始点 0 点以外的航点位置, 如式(10)至式(13)所示:

$$\begin{cases} X_{(j+1)} = X_j \\ Y_{(j+1)} = Y_j + D_H \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} X_{(j+2)} = X_j + d \\ Y_{(j+2)} = Y_j + D_H \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} X_{(j+3)} = X_j + d \\ Y_{(j+3)} = Y_j \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} X_{(j+4)} = X_j + 2d \\ Y_{(j+4)} = Y_j \end{cases} \quad (13)$$

利用给定角度的坐标变换计算侦察区域倾斜角为 θ 时的弓形航线航点位置, K 为航点序号 (K 从 0 开始), $*$ 代表侦察区域旋转倾斜角 θ 之后的弓形航线航点, 如式(14)所示:

$$\begin{cases} X_K^* = X_C + (X_K - X_C) \cos\theta + (Y_K - Y_C) \sin\theta \\ Y_K^* = Y_C + (Y_K - Y_C) \cos\theta - (X_K - X_C) \sin\theta \end{cases} \quad (14)$$

将所有航点直角坐标位置转化为经纬度坐标 (L_K, B_K) , 所有弓形航线航点高度均为 $H = H_s + h$ 。

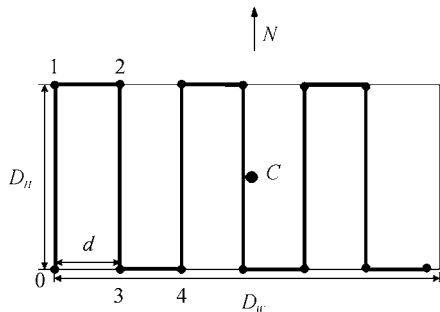


图5 区域侦察计算关系示意图

3 侦察航线自动规划实现

CPU 的主频为 2.1 GHz ; 内存为 8 GB ; 硬盘为 512 GB ; 网卡为 1000 Mbps 。

操作系统为 Microsoft Windows 7; 开发平台为 Microsoft Visual Studio 2012; 开发语言为 C++。

侦察航线自动规划方法被包含在地面控制车任务规划

软件中。当无人机到达作战区域上空时,地面指挥人员选择任务模式(点侦察和区域侦察),任务规划软件接收到任务监控发送的侦察点和侦察区域信息,并输入侦察所需参数,地面控制车任务规划软件根据以上信息计算侦察航线航点位置,自动生成侦察航线,并将规划航线信息通过数据链上传至机载,无人机即进入程控并按照航线飞行,完成侦察任务。

基于光电载荷的无人机侦察航线自动规划实现流程如图6所示。

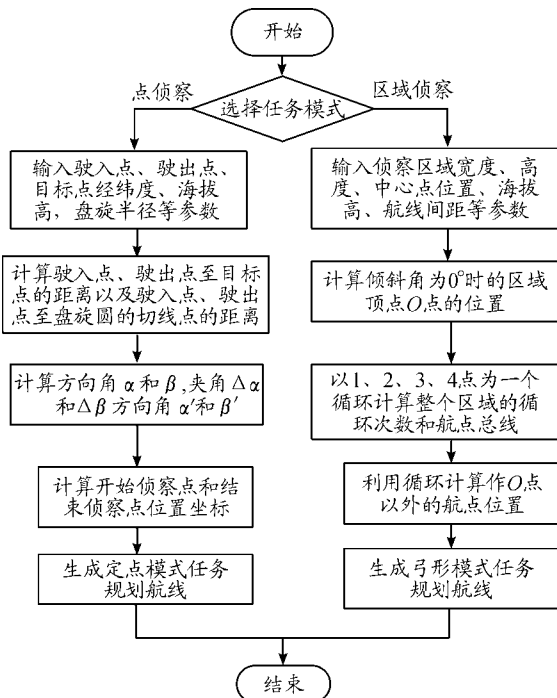


图6 侦察航线自动规划实现流程框图

4 飞行验证

该无人机侦察航线自动生成方法经某型光电侦察无人机系统飞行,通过任务规划软件将自动生成光电侦察航线嵌入到无人机巡航航线中。

图7为某一架次飞行点侦察自动生成航线和实际无人机飞行航迹,图中绿色线条为规划航线,蓝色虚线为自动规划的圆盘旋航线,橙色为实际飞行航迹,由图可看出点侦察圆盘旋实际飞行航迹基本与规划的圆形航线吻合。

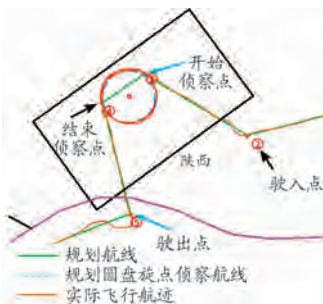


图7 自动生成点侦察航线与实际飞行航迹

图8为某一架次飞行区域侦察自动生成弓形航线和实际无人机飞行航迹,图中绿色线条为规划航线,橙色为实际飞行航迹。能够看出,除了无人机转弯半径本身带来的少许误差(规划的区域要比实际侦察的区域大,将此误差抵消),其余的真实飞行轨迹和规划航线重合度良好。

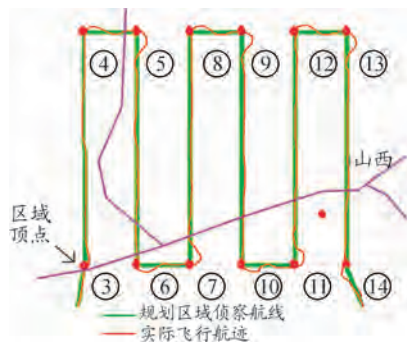


图8 自动生成区域侦察航线与实际飞行航迹

某型光电侦察无人机利用本光电侦察航线自动生成方法共飞行12架次,其中点侦察8次,区域侦察10次,累计侦察时长32h。飞行试验的应用验证了该方法的可行性,能够满足无人机光电侦察任务的使用要求。

5 结论

本文采用基于光电载荷的无人机侦察航线规划方法,利用已知目标区域和目标点信息,计算航点信息,在给定目标区域和目标点的参数后自动生成任务规划航线。将该设计应用于某型侦察无人机系统中,飞行试验结果证实了该方法可免除传统人工在地图上规划航线,极大地提高了无人机光电载荷航线规划效率。

参考文献:

- [1] 吴汉平,等译.无人机系统导论[M].2版.北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 祝小平,向锦武,张才文,等.无人机设计手册[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [3] 代威,张洪涛,惠俊鹏.无人机在未来海战场中的应用分析[J].兵器装备工程学报,2018,39(01):21-24.
- [4] 叶文,范洪达,朱爱红,等.无人飞行器任务规划[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [5] 王玥,张克,孙鑫,等.无人飞行器任务规划技术[M].北京:国防工业出版社,2015.
- [6] 张帅,郭杨,王仕成,等.考虑探测效能的有限时间协同制导方法[J].兵工学报,2019,40(09):1849-1859.
- [7] 胡木,李春涛.无人机在线航路规划技术研究及其工程实现[J].四川兵工学报,2010,31(03):14-17.