

舰载电子对抗动态标定技术

刘旭,张小领,吴永斌,曹文海

中船电子科技有限公司,北京 100070

摘要 针对舰载电子对抗传统标定方法的局限性,提出了一种舰载电子对抗动态标定方法,论述了舰载电子对抗动态标定系统的组成及功能,分析说明了所应用的无人机及雷达信号源具体的指标要求。介绍了无人机搭载雷达信号源的动态标定原理与标定过程,通过分析计算以及实际测试,验证了舰载电子对抗动态标定的可行性和有效性。

关键词 电子对抗;动态标定;无人机;雷达信号源

舰载电子对抗系统是舰艇的重要组成部分^[1],其作战效能的发挥直接影响着舰艇的生存能力。目前,舰艇作战系统对准一般分为船坞对准阶段和系泊对准阶段^[2]。但是,由于舰载电子对抗系统的特殊性,目前即使在系泊对准阶段都不能满足其标定的要求,并且也没有相应的标定方法。因此,目前通常在航行阶段中进行舰载电子对抗系统的标定,同时需要有舰船及配试雷达全程参与、配合标定活动。

近些年随着无人机的高速发展,已广泛应用于各个领域,其自身技术不断成熟、可靠^[3],操作日益简便,亦可以携带多种有效载荷^[4],执行不同航迹规划,完成各种任务。同时随着微电子技术的发展,小型宽频段雷达信号源^[5](以下简称信号源)也孕育而生,已经具备实际应用的条件。把两者进行结合,使用无人机作为机动平台搭载信号源,通过对信号源的可移动操作,实现全方位舰载电子对抗标定。

1 电子对抗标定现状

电子对抗标定主要是检测其系统测量雷达信号的能力,其中包括测量雷达信号的方位、频率、周期、幅度

等,其中测向精度、测频精度为两项重要的性能标定指标。测向精度^[6]是指雷达干扰系统装置测得的雷达方位值精确程度,通常以雷达方位测量值与雷达方位真值的差值的均方根表示,所以也称测向误差;测频精度^[6]是指雷达干扰系统测频装置所测得的雷达信号频率值精确程度,也用测量值和真值之差的均方根值表示,所以也称测频误差。因此以下主要介绍标定电子对抗测得雷达的方位值和频率值。

1.1 传统电子对抗标定方法

传统电子对抗标定通常在航行试验阶段进行,需要协调参试舰艇、雷达配合。在相对宽广海域的一定距离内测得雷达信号参数,配合舰以固定半径 R 海里,速度 n 节做圆周运动,同时以相隔时间或角度记录电子对抗测得的方位值,即为测量值,直到记录完整1周才算完成1次电子对抗标定。方位真值需要使用真值设备测得,如光学设备或雷达设备,并与测量值同时记录。在此过程中,可以通过改变雷达频率的方式,如发射频点1、频点2、频点3等来检测雷达发射频率和测得的雷达频率进行对比计算,检查测向、测频精度是否满足指标要求(图1)。

收稿日期:2018-05-03;修回日期:2018-11-20

作者简介:刘旭,工程师,研究方向为舰载电子对抗系统、雷达标定及综合保障,电子信箱:liuxuil@126.com

引用格式:刘旭,张小领,吴永斌,等.舰载电子对抗动态标定技术[J].科技导报,2018,36(24):79-84;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2018.24.012

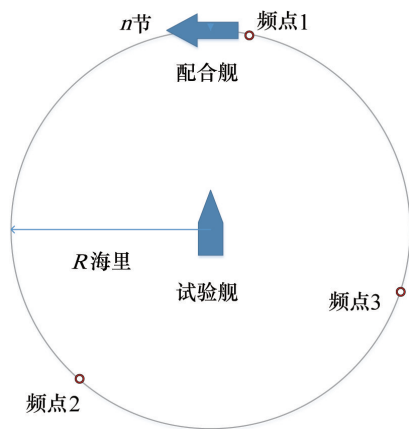


图1 舰载电子对抗动态标定示意

Fig. 1 Dynamic Calibration diagram of shipboard electronic countermeasure

1.2 传统电子对抗标定的局限性

传统电子对抗标定受到检测环境影响,在航行试验阶段标定区域受到很大限制,同时需要多方协调,在标定过程中存在3个问题:首先在标定的过程中配试雷达需要长时间开机工作,影响配合舰雷达的正常使用;二是测试点尤其是频率测试点较少,对测频检测效果有限;三是一旦出现不满足精度指标的情况,需要再次协调多方参试人员、装备重新进行标定,消耗大量的时间、人力、物力、财力。本研究提出的电子对抗标定方法可在系泊试验阶段进行。

2 电子对抗动态标定

电子对抗动态标定方法是采用多旋翼无人机作为

移动平台,利用差分全球定位系统(GPS)定位和对准技术^[7],以及小型宽频段雷达信号模拟技术等完成对舰载电子对抗相关参数的标定。

在动态标定过程中,使用小型化的雷达信号源代替配试雷达,多旋翼无人机作为移动平台等同配试舰的作用。动态标定条件比传统标定实施更加简便、频率选择更加灵活多样,并且无需选择特定区域,系泊阶段就能完成,只要具备良好的通视条件,舰船周边具备无人机起飞、绕飞及降落的条件即可。

动态标定系统由多旋翼无人机(含电源)、电池、信号源、差分GPS、无线传输模块、操控设备(含通信软件)、数据录取设备、标定软件^[8]等组成,组成结构如图2^[9]所示,系统各部分功能如表1所示。

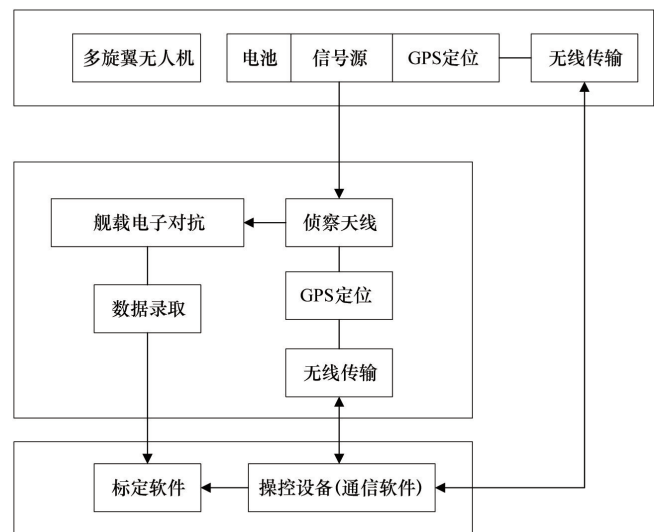


图2 动态标定系统组成结构

Fig. 2 Dynamic calibration system structure chart

表1 电子对抗动态标定系统各部分功能

Table 1 Functions of the electronic countermeasure dynamic calibration system

设备名称	主要功能
多旋翼无人机	搭载移动平台(含电源)
电池	为信号源提供电源
信号源	模拟雷达不同频段信号
差分GPS	测量方位(距离),提供方位“真值” ^[10]
无线传输模块	完成操控设备到无人机上信号源的通信传输
操控设备(含通信软件)	无线控制信号源参数设置,发射,停止;接收差分GPS方位“真值数据”等
数据录取设备	录取电子对抗侦收信号源方位、频率等数据,作为“测量值”
标定软件	输入测量数据——“真值、测量值”,对比计算得出结果

3 电子对抗动态标定过程

3.1 动态标定原理

多旋翼无人机搭载小型化雷达信号源和1个GPS模块,作为移动信号源。另外1个GPS设备安放在被标定的电子对抗接收天线的上方。操控设备通过无线发射和接收模块完成对信号源的操控,同时接收差分GPS的方位等信息。电子对抗同时测得信号源模拟的雷达信号参——频率和方位等(图5)。

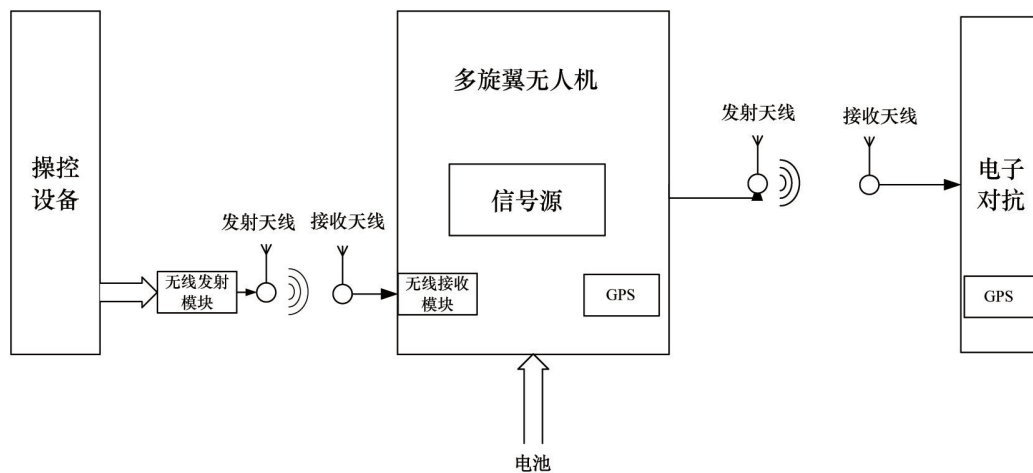


图5 舰载电子对抗动态标定关系

Fig. 5 Dynamic calibration of shipboard electronic countermeasures

3.2 全方位标定

首先是准备阶段,根据舰船及周边环境,确定无人机距离地面飞行高度及到舰船的距离,设置好频点后发射。同时,电子对抗开机工作,连接好录取设备。

其次是验证阶段,无人机起飞到指定高度,操控无人机确保信号源天线口对准电子对抗天线发射。同时,观察电子对抗是否已经收到信号频率、方位等信息。否则,适当调整无人机飞行高度以及信号源天线口发射角度,直到该设备正常接收到信号参数为止。同时,检查差分GPS测量的方位信息是否输出正常。

最后,无人机按照航路规划以半径 R 匀速飞行,数据录取设备不间断录取电子对抗测得的数据参数。完成1圈飞行后,也可通过操控设备更改信号源频点等信息重复以上操作步骤再次标定,具体过程如图6所示。

3.3 定点位置频率标定

参照图6动态标定示意,根据预先设置好的位置点,使用无人机快速起飞到达就位点,通过对C、X等频

多旋翼无人机移动时通过差分GPS测得的方位值作为真值 A ,电子对抗测得的信号源的方位值为测量值 B 。通过对测量值 B 与真值 A 之间的对比、计算得出电子对抗测向精度,从而完成方位标定。在标定频率精度时,无人机悬停某一点,通过改变多组信号源的发射频率 f_s ,即为真值,同时电子对抗测得的频率 f_r ,即为测量值,通过两者之间的对比、计算得出电子对抗测得的测频精度。

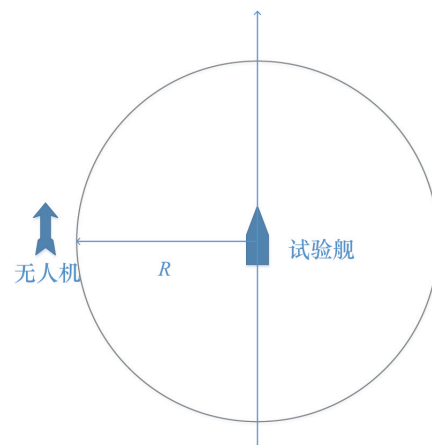


图6 舰载电子对抗动态标定示意

Fig. 6 Dynamic calibration diagram of shipboard electronic countermeasure system

段间频点的设置,选择多组频率点发射,同时数据录取设备正常录取测得的频率参数,也可更换位置点重复上述步骤。

3.4 数据对比计算

以方位标定进行对比计算说明。通过根据差分GPS测量输出的方位信息、数据录取设备记录的方位信息,全部导入标定软件,依据时戳,选取多组方位测量值 B 和真值 A 进行对比,可得出方位测试结果。

当需要计算电子对抗方位均方根误差时,可使用标定软件,导入测得的方位真值 A 和测量值 B ,通过在标定软件中要选取的测量点数量 n ,均方根误差根据公

式 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$ 计算求得,式中 x_i 为第 i 次测量值与真值的差值, \bar{x} 为 n 次测量值的算术平均值。

根据最终的计算结果与指标比对,检查此次标定是否满足电子对抗指标要求,从而判断当前电子对抗系统的工作情况是否正常。

4 试验测试结果

应用上述电子对抗动态标定方法,在系泊状态下对某型舰载电子对抗系统进行了测向测频精度的现场标定。首先,检测设备的稳定性,六旋翼无人机起飞到指定高度位置按照规划航路飞行,验证表明无人机及差分GPS输出方位值的稳定性满足标定要求。标定完成导入数据,根据无人机圆周飞行运动状态,以间隔 30° (或 20°)选取10组方位点的数据,输出方位测试结果(图7)。

从图7可以看出测量值围绕真值的波动情况,并很直观地看出不同方位值的测量情况。在标定软件中选取测量点 $n=30$ 组数据进行计算,得出均方根值 σ 满足指标要求,方位测量数据如表2所示。

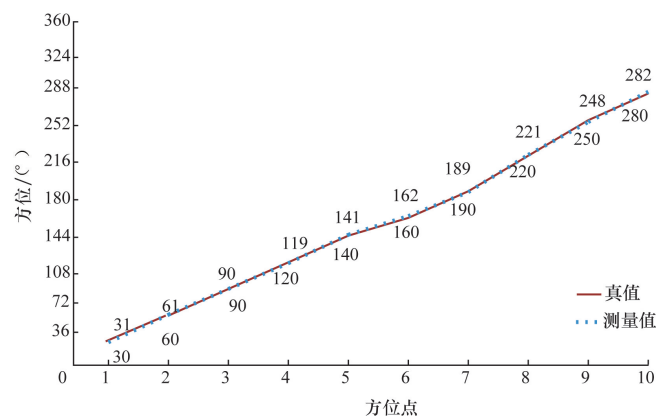


图7 方位测试结果

Fig. 7 Azimuth test results

表2 方位测量数据

Table 2 Azimuth measurement data

序号	真值 $A/(^\circ)$	测量值 $B/(^\circ)$
1	1	2
2	12	13
3	20	21
4	35	35
5	50	51
...
26	283	282
27	300	302
28	321	320
29	340	342
30	358	357

5 结论

舰载电子对抗动态标定相对于传统电子对抗标定具有很大的优势,以前在航行阶段才能完成的工作,现在系泊阶段也能够开展相应工作。新的标定方法不仅可以节省大量经费、人力、物力资源,同时在测试过程中可模拟的频点更多,安全可靠,减少在检查中人为的影响,使得标定检测过程更严谨,数据更可靠,更加有利于对数据结果进行分析,更客观反映标定结果。最后通过试验验证表明,此方法对目前电子对抗标定是可行有效的。

参考文献 (References)

- [1] 孙京. 舰载电子系统及其发展概述[J]. 电子技术与软件工程, 2014(6): 164.
- [2] 王伯文. 舰用作战系统零位对准方法[J]. 海军装备, 2009(8): 34-35.
- [3] 刘爱东, 李知宇, 王丰, 等. 基于无人机的标校系统软件设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(1): 141-144.
- [4] 李大勇, 叶琼龙. 无人机在舰载电子对抗系统中的应用[J]. 电子对抗技术, 2004(1): 38-39.
- [5] 崔子良. 宽带雷达小型化及其实测数据处理[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [6] 熊群力, 陈润生, 杨小牛, 等. 综合电子战[M]. 第2版. 北京: 国防工业出版社, 2008: 90-91.
- [7] 仇晓静, 代云超, 顾新锋, 等. 航天测量船船载无人机应用系统设计[C]//第二届中国空天安全会议论文集. 大连: 中国指挥与控制学会空天安全平行系统专业委员会, 2017: 529-532.
- [8] 刘高峰, 刘健. 基于GPS定位系统的舰船雷达标校系统研究

- [J]. 舰船科学技术, 2006(6): 100-102.
- [9] 周志恒, 赵建军, 杨利斌, 等. 舰艇作战系统海上动态对准技术研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2016(3): 125-128.
- [10] 杜娟, 朱华邦. 基于GPS技术的舰载探测系统标校方法研究
- [J]. 火控雷达技术, 2013, 42(1): 17-20.
- [11] 李杰, 赵绪明. 舰载无人机[M]. 北京: 解放军出版社, 2011: 60-61.

Research on dynamic calibration of shipboard electronic countermeasures

LIU Xu, ZHANG Xiaoling, WU Yongbin, CAO Wenhai

Electronics Technology CO.,LTD,China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100070, China

Abstract To deal with the limitations of traditional calibration approaches to shipboard electronic countermeasure, a dynamic calibration method for carrier-borne electronic countermeasure system is put forward. The compositions and functions of the dynamic calibration system are presented in detail. The applied UAV system and the signal source are analyzed and explained, and their specific requirements are put forward. The UAV dynamic calibration principle and calibration process of the radar signal source are introduced as well. Finally, feasibility and effectiveness of the dynamic calibration of shipboard electronic countermeasure are verified by calculation and measurement.

Keywords electronic countermeasure; dynamic calibration; unmanned aerial vehicle; radar signal source ●



(责任编辑 傅雪)