

GNSS 导航信息对抗技术研究

李军正, 张伦东, 丛佃伟, 陈轲

(信息工程大学, 地理空间信息学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 卫星导航手段的成功应用深刻地影响着现代信息化条件下的作战模式, 针对卫星导航的信息对抗对未来战争影响巨大。研究了 GNSS 框架下导航信息对抗方案和需要解决的关键技术问题, 并利用卫星导航信号模拟器、GNSS 接收机、组合导航设备等进行了相关技术试验, 得到了有意义的结论, 为导航战提供了参考。

关键词: 全球导航卫星系统; 导航信息对抗; 组合导航; 导航战

中图分类号: P228.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9268(2018)02-0049-05

0 引 言

卫星导航是以空间星座作为观测目标, 通过测距实现定位、导航和授时等功能的导航手段。世界主要大国都在致力于发展自己的卫星导航系统。覆盖全球的导航卫星系统(GNSS), 不是一个单一系统, 而是个多系统、多层面、多模式的复杂综合系统, 主要有美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的全球卫星导航系统(GLO-NASS)、欧洲伽利略卫星导航系统(GALILEO)、我国北斗卫星导航系统(BDS)、日本的准天顶系统(QZSS)和印度的区域增强系统(IRNSS)等, 建成后空中可用卫星数达到 150 颗以上。卫星导航具有全球覆盖、全天候服务、功能多、精度高、操作简的优点。

军事应用历来是卫星导航应用的重要领域, 在信息化时代, 已成为高技术战争的重要支持系统, 它极大地提高了部队的指挥控制、多军兵种协同作战和快速反应能力, 大幅度地提高了武器装备的打击精度和效能。由于导航系统存在过度地面控制部分, 容易被破坏; 导航频率公开、部分导航信号结构公开, 经过长距离传输用户接收到信号非常弱, 容易受到干扰等缺陷。针对卫星导航的信息对抗一直是导航战研究的重点。

1 导航战

1.1 导航战的提出

导航战是随着卫星导航技术的广泛应用而引起的一种新的作战方式, 是信息化条件下的一种重要的军事作战模式。美国 GPS 联合计划办公室(JPO)于 1996 年确定了导航战计划, 用于解决电子战对 GPS 的威胁, 并于 1997 年 4 月在“GPS 在军事及民事方面的应用”研讨会上, 正式提出了“导航战”的概念: “在战场环境中, 阻止敌方使用卫星导航信息, 保证己方有效地利用卫星导航信息, 同时不影响战区以外的地方和平利用卫星导航信息。”^[1-2]

从导航战的概念可以看出, 其包含两个重要的内容: 阻止和保护。阻止就是“阻止敌方使用卫星导航信息, 同时不影响战区以外的地方和平利用卫星导航信息”, 这归为进攻导航战研究的内容; 保护就是“保证己方有效地利用卫星导航信息”, 归为防御导航战研究的内容^[3]。

1.2 导航战的实例

2011 年 11 月, 伊防空部队在东部边境“击落”一架美国无人侦察机 RQ-170。2013 年 12 月, 伊朗声称在海湾水域“捕获”一架侵入伊朗领空的美国无人机^[4]。

一位参与破解 RQ-170 无人机系统的伊朗工程师称:伊电子战专家切断了 RQ-170 的通信链接,然后通过使用从以前坠毁的美无人机上获取的知识,再加上 2011 年 9 月伊朗宣布所拥有的技术,重新设置了无人机的 GPS 参数,使其误认为它确实是在阿富汗的基地而着陆。从捕获的美军无人进行反向研究,2016 年 10 月,伊朗伊斯兰革命卫队航空部队首次揭幕其最新型的“祆椎纭北无人机。指挥官哈吉扎德在揭幕式上说,“祆椎纭北无人机在隐形及远程打击能力上,与美军的 RQ-170 “处于同一水平”^[3]。

2 卫星导航信息对抗

本文以动态用户作为卫星导航信息对抗攻击目标,以 GNSS 为对抗手段进行研究。

2.1 导航信息对抗原理

卫星导航信息对抗是利用地基或空基导航对抗装备产生的卫星导航对抗信号,向攻击目标发射并被其接收,使其定位、测速和授时结果为期望的数值。导航信息对抗是导航战的重要内容,具有隐蔽性好、效能突出等优点。

2.2 导航信息对抗常用方式

目前研究较多的两种导航对抗信息实现方式主要有转发式和生成式两种,在工程实践和对抗效果上各有优劣。转发式是攻击者接收真实的导航信号并根据需求在不同卫星信号上加上不同延迟,并放大发送,以期通过改变目标接收机对卫星信号的距离,达到改变接收机解算位置的效果。这种对抗方式无需知道实际导航信号的形式和电文结构,攻击信号除延时外与真实信号完全相同,具有良好的欺骗效果。生成式是利用导航系统发布的接口控制文档生成导航信号,对卫星导航接收机进行干扰和攻击。这种对抗方式需要知道导航信号的形式和电文结构,可以任意设置位置、速度和时间,具有灵活的特点。

2.3 技术上需要研究的问题

根据卫星导航在军事上的应用问题,针对动态目标导航信息对抗问题,有几个方面进行研究。

1) 卫星导航信息对抗模式

研究生成式、转发式两种导航信息对抗的工作原理和适用环境,并从现实可行的角度论证分析应用条件和对抗效果,以期达到最佳对抗效果。

2) 多天线导航信息对抗问题

针对多天线的导航信息对抗需要研究应用条

件和对抗效果。多天线在动态目标上的作用大致可分为三种,即互相备份、数据相互比较和用于基线及姿态测量。动态目标上放置多个天线用以发现和分辨异常信号,方法有两类。1) 多个接收机解算结果的距离应与其真实距离在一定的误差允许范围内,一般用测量的伪距进行解算的结果;2) 利用多个接收机接收的数据计算动态目标的姿态,与惯导测量得到的姿态进行比较,其差值应当在一定范围内,采用的测量数据是载波相位观测量。

3) 组合导航模式下的导航信息对抗问题

卫星导航、惯性导航组合条件下的卫星导航具有新的特点,其导航信息对抗模式,需要结合惯性器件误差特性和惯性导航原理,研究组合导航模式下的位置对抗方法,并利用设备进行试验验证。

4) 导航信息对抗方案与流程设计

导航战中信息对抗需要设计一定的方案和流程才能达到效果。设计中需要结合实际条件和历史数据,提出一种或几种针对动态目标进行导航信息对抗的具体方案。设计的流程,需根据现实需求,分析对抗效果,并结合实际数据进行仿真验证。

2.4 关键技术及解决途径

1) 组合导航的对抗方法

卫星导航系统具有高精度的优点,但信号容易受到遮挡和干扰且定位更新频率低;惯性导航系统具有短时间精度高、更新频率高的优点,但误差随时间积累,定位结果容易发散。这两种导航技术的优缺点相补,惯性导航与卫星导航通过一定形式的融合可形成具有高精度、高更新率,同时误差又不累积的组合导航系统。

根据卫星导航、组合导航定位原理,以及对抗信号需要满足的条件,可以计算出干扰信号的时延与多普勒频率,生成对抗信号。在实践中,需要先获得目标的运动轨迹,并设计干扰阵地,利用对抗设备产生信号,实现对抗的目的。

2) 对抗信号的精确同步

对抗信号与实际信号的同步精度决定了对抗信号是否能够快速进入目标接收机,并达到预期效果。GNSS 民用信号一个码片所对应的时长为 $1\mu\text{s}$,同步精度达到一个码片以内时对抗信号可实现无缝接入。

对抗时采用授时型接收机、高精度原子钟为生成式和转发式卫星导航信号模拟源提供时间及频率基准,并对发射信号进行标校的方法可以满足时间同步精度需求。

3) 导航对抗信号的生成

导航对抗信号的生成,是根据卫星轨道、钟差、接收机位置、速度、空间环境影响等信息仿真得到用户位置的接收机应当接收到的伪距、载波、多普勒和导航电文,并通过卫星导航信号模拟源生成与实际相符的信号。

导航信号仿真包括:卫星星座仿真、卫星钟差仿真、空间环境参数仿真、轨迹仿真、以及相应导航系统的导航电文仿真和观测数据仿真生成等。

为确保对抗的可靠性,生成的卫星导航系统包括 GPS、GLONASS、BDS、GALILEO 等目前常用的系统,并保证各系统信息的一致性。

3 技术试验及效果

根据动态目标可能配置的导航装备以及卫星导航当前的状态,开展以下技术试验,对导航信息对抗效果进行分析验证。

3.1 单天线接收机组合导航

利用单 GNSS 天线条件组合导航系统和导航模拟器在实验室环境下进行卫星导航、惯性导航组合条件下的导航信息对抗。

实验采用单天线 GNSS/INS 组合导航系统和卫星导航信号模拟源。对抗场景采用静态、直线、圆周等运动状态,并以水平大圆运动条件为例,进行效果分析;对抗设计的运动轨迹为:仿真的中心点为北纬 40° 、东经 116° 、高程 $4\,000\text{ m}$,大圆周半径 600 km ,运动速度为 $0\sim 100\text{ m/s}$,加速度为 $0\sim 1\text{ m/s}^2$ 振荡;采用组合导航输出结果与模拟源设置结果的差异判断对抗结果的有效性。

GNSS/INS 组合导航系统输出的速度、位置如图 1 和图 2 所示,与设计一致,从数据分析来看,单天线 GNSS 惯导组合可达到信息对抗设计的效果。

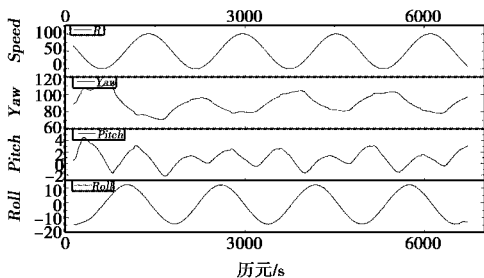


图 1 单天线条件下组合导航输出速度和姿态

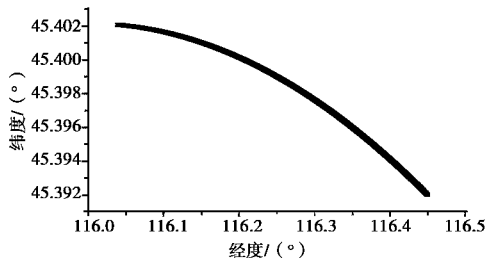


图 2 单天线条件下组合导航输出位置

3.2 双天线导航条件

动态目标采用双天线的目的是通过计算获得姿态并与其他手段获得的数据进行比对,计算得到的距离与已知距离进行比较,用以判断接收到的卫星导航信号是否为实际信号,由于需要计算基线,需要能采集载波相位的测量型接收机。

双天线试验采用两台测量型接收机和卫星导航信号模拟源。对抗场景采用静态、直线、圆周等运动状态,并以匀速直线条件为例,进行效果分析;对抗设计的轨迹为:起点为北纬 30° 、东经 110° 、高程 500 m ,方向为 45° ,运动速度是 50 m/s ;两天线间距离为 1 m . 采用软件解算结果与模拟源设置结果的差异判断对抗结果的有效性。

双天线采集数据解算结果如图 3 和图 4 所示,试验数据表明:1) 双天线计算的姿态结果与天线实际关系相差较大,与理论分析结果一致;2) 双天线计算的基线结果与天线实际关系相差不大,但结果不稳定,与理论分析不一致;3) 计算结果与放置方位无关,与运动方向相关。

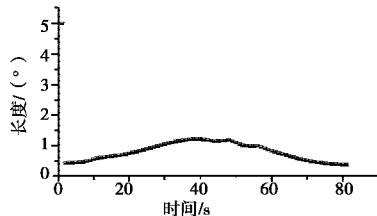


图 3 双天线条件下软件解算得到的基线长度

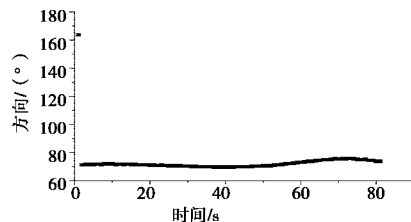


图 4 双天线条件下软件解算得到的基线方向

由结果数据分析:①多接收机作为备份、相互比较时可以实现导航信息对抗效果;②多天线利用载波相位观测数据进行姿态和基线解算无法实现信息对抗目的。

3.3 兼容定位系统试验

兼容定位对抗试验设置动态目标处于野外真实环境下,先接收天空真实信号,然后用模拟源生成对抗信号,设计目标运动状态先保持静态,然后按照设计状态进行。试验中动态目标采用高精度组合导航设备,对抗信号采用卫星导航信号模拟器生成,结果数据采用组合导航数据处理软件提供;采用组合导航输出结果与模拟源设置结果的差异判断对抗结果的有效性。

1) 信号接入过程

在室外环境中,先接收天空真实信号,然后用模拟源生成对抗信号,目标用户动态为先保持 3 min 静态,然后加速度为 0.2 m/s^2 匀加速直线运动,加速到 200 m/s 后保持匀速运动。接收机 1 min 后捕获到对抗 GNSS 信号,3 分 47 秒实现定位,6 分秒设置目标开始运动,实现惯导对准后组合定位结果输出,图 5 所示为接收机实现对准的状态,图 6 所示为目标用户解算得到的运动轨迹。

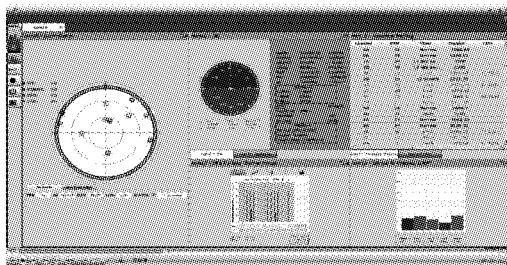


图 5 对抗信号接入过程示意图

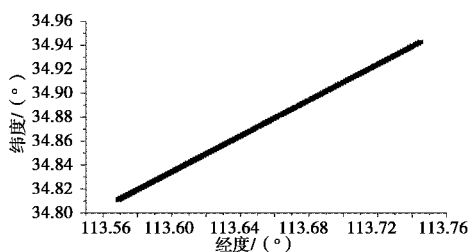


图 6 目标用户运动轨迹

2) 对抗精度试验

组合导航设备从信号失锁重捕后开始 GNSS 输出结果与 GNSS-INS 组合输出结果比较如图 7 所示,经换算三个方向上差异小于 25 m (95%),经度、纬度上差异单位为°,高程差异单位为 m 。

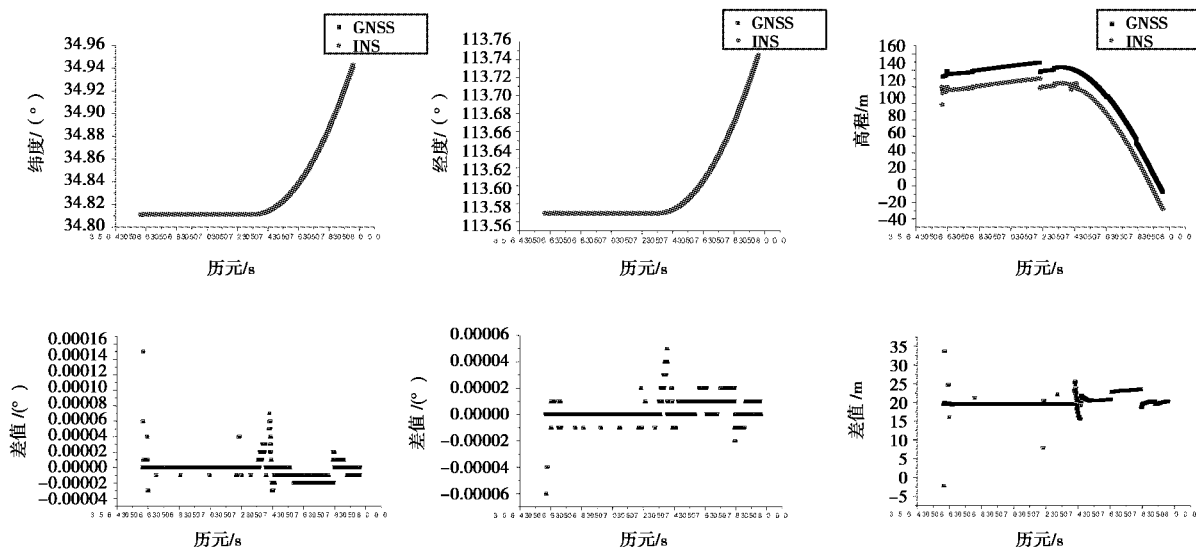


图 7 对抗精度对比图

4 结束语

目前,世界主要大国都在进行针对卫星导航的“导航战”攻防技术研究,但技术高度保密。本文在

分析导航信息对抗常用方式、关键技术以及解决途径的基础上进行简单的技术试验,为未来导航信息对抗研究奠定了基础。

参考文献

- [1] 李隽,楚恒林,蔚保国,等.导航战技术及其攻防策略研究[J].测控遥感与导航定位,2008:36-39.
- [2] 冯晓超,金国平,潘艳.浅析导航战中的干扰与抗干扰技术[J].现代导航,2010:14-18.
- [3] 丛佃伟,李军正,刘婧.全球导航卫星系统导航战攻防技术[C].//第二届全国测绘类研究生博士论坛,2014.
- [4] 李向阳,慈元卓,程绍驰,等.国外卫星导航军事应用[M].北京:国防工业出版社,2015.

作者简介

李军正 (1973—),男,副教授,研究方向卫星导航及应用研究。

张伦东 (1981—),男,讲师,主要研究方向为导航制导与控制。

丛佃伟 (1982—),男,讲师,研究方向为卫星导航与应用。

Research on Navigation Information Confrontation of GNSS

LI Junzheng, ZHANG Lundong, CONG Dianwei, CHEN Ke

(Institute of Geospatial Information, Information Engineering
University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The successful application of satellite navigation has a profound impact on the operational mode under the modern information-based condition. The information confrontation effect on the satellite navigation has great influence on the future war. Study on the scheme of GNSS navigation information confrontation and need to solve the key technical problems and the related technology test using satellite navigation signal simulator, GNSS receiver, integrated navigation equipment. Meaningful results are obtained, providing a reference for the navigation information Confrontation.

Keywords: Global Navigation Satellite System; navigation information confrontation; integrated navigation; navigation war