

无人机导航系统抗干扰措施

Solutions for Improving Immunity of UAV Navigation System

北京航空航天大学 岳长松 潘耀鹏 韦志棉

摘要

通过介绍无人机导航系统的接收机特性,分析了无人机 GPS 信号不稳定的原因,并采取合理布局 GPS 接收天线的位置、在 GPS 接收天线与设备特别是有源设备之间加入隔离装置等措施,提高了无人机导航系统的抗干扰性。

关键词

无人机;GPS 灵敏度;环境噪声电平

Abstract

By introducing the receiver characteristics of UAV navigation system, the cause of the instability of the UAV GPS signal is analyzed. The immunity of the UAV navigation system is improved through rational distribution of GPS receiver antenna location and by introducing and by adding some particular isolation device between the active devices.

Keywords

unmanned aerial vehicle; GPS sensitivity; ambient noise level

引言

无人机关键技术之一是导航/飞控系统,它是无人机安全飞行、有效完成任务的重要保证。当前的卫星定位系统包括美国的 GPS、俄罗斯的 Glonass 及中国正在研究的“北斗”系统。其中,GPS 导航系统主要负责 GPS 信息采集、电子罗盘信息采集、坐标转换、飞行控制策略确定及控制任务执行等工作。GPS 的灵敏度非常高,如何提高 GPS 导航控制系统的抗干扰性就显得相当重要。

1 GPS 导航系统的接收机特性

GPS 是一种全向天线,需要借助于低噪声放大器来提高其增益,达到高增益和高灵敏度的性能要求。

GPS 卫星信号所包含的载波、测距码(包括 P 码、C/A 码)、数据码(导航电文,或称 D 码)都在同一个基本频率 $f_0=19\text{ MHz}$ 控制下产生的。其中载波是 GPS 卫星信号取无线电波中 L 波段的两种不同频率的电磁波。其中的一个载波上调制有 2 MHz 的伪随机噪声码(称为粗码或 C/A 码)、20 MHz 加密的伪随机噪声码(称为精码或 P 码)。在另一个载波上调制有精码和导航电文,区别不同卫星采用码分多址,C/A 码用于普通测距并过渡到捕获精码,精码用于精密测距,一般用户只能用 C/A 码。

在 20 000 km 高空飞行的 GPS 卫星,向地面用户发送的导航定位信号(GPS 信号)是一种可供全球用户共享的空间信息资源,但其信号强度极其微弱,即使在天顶运行的 GPS 卫星,其信号到达 GPS 接收天线时,信号电平约为 -129.6 dBm ,如此微弱的 GPS 信号极易受到系统电

磁环境的电子干扰。而 GPS 接收机依赖于 GPS 卫星(SV)发射的外部射频(RF)信号工作,所以 GPS 接收机很容易受到 RF 干扰的影响。RF 干扰能使 GPS 接收机导航精度性能降低或使 GPS 接收机跟踪完全丢失。

1.1 电磁环境电平

电磁环境电平的定义:在规定的试验地点和时间内,当试验样品未通电时,已存在的辐射及传导的信号和噪声电平。

图 1 中是 GJB 151A-1997 中给出的 RE102 极限值曲线。

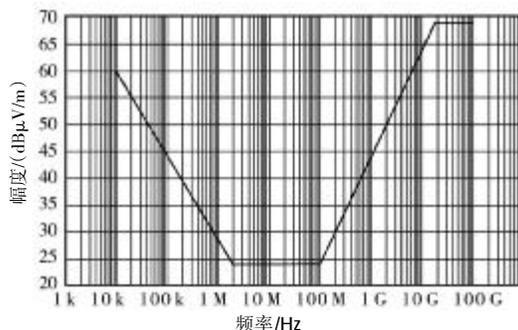


图 1 RE102 极限值曲线

GPS 接收机接收到的信号电平必须低于 RE102 极限值曲线。

1.2 GPS 灵敏度

GPS 灵敏度是指 GPS 接收机的灵敏度,是 GPS 接收机最为重要的性能指标之一,它包括:跟踪灵敏度、捕获灵敏度、初始启动灵敏度。

GPS ICD (Interface Control Document, 接口控制文档) 文件规定的 GPS 系统 L1 频段 C/A 码信号功率最小值为 -160 dBW, 即 GPS 灵敏度 $S = -130$ dBm。GPS 工作频率 $f = 1575.42$ MHz, 其信号波长 $\lambda = 19$ cm。

1.3 GPS 天线系数

工程上常根据天线增益来计算天线系数, 表示为:

$$AF = \frac{9.76}{\lambda \sqrt{G}} \quad (1)$$

换算成 dB 表示为:

$$\text{dB}(AF) = 20 \lg \frac{9.76}{\lambda \sqrt{G}} \quad (2)$$

为了计算方便, 写成如下形式:

$$\text{dB}(AF) = -29.75 + 20 \lg f - 10 \lg G \quad (3)$$

式中, f 为频率(MHz); G 为 GPS 天线增益。

GPS 天线增益包括无源天线增益和有源放大器增益两部分, 其中无源天线增益 $G_p = -4$ dB, 有源部分的增益 $G_a = 40$ dB。

通过式(3)可知, 工作频率 $f = 1575.42$ MHz 的 GPS 天线, 其无源部分的天线系数 $AF = 38.1979$ dB。

根据 RE102 极限值, 在 $f = 1575.42$ MHz 上背景电平的幅度最大值约为 $L = 46$ dB μ V/m。

GPS 接收机前端的信号最高能量为:

$$P = L - AF + G_a \quad (4)$$

所以, GPS 接收机前端信号最高能量为 47.8 dB μ V 即 -59.2 dBm。

由于 GPS 接收机的灵敏度为 -130 dBm, 满足 RE102 的设备级辐射发射的最高信号要比 GPS 灵敏度高大约 70 dB, 可能对 GPS 接收机造成干扰。也就是说, 无人机系统在该频点的信号电平很可能超过 GPS 信号电平, 进而对 GPS 接收装置造成干扰。

2 GPS 导航系统干扰分析

GPS 导航系统干扰通常分为四类: 带干扰、连续波干扰和脉冲干扰。

(1) 宽带(WB)干扰指占用两个调制带宽的干扰信号。它是干扰 GPS 信号最有效的方式, 一般难以被滤除掉。

(2) 窄带(NB)干扰指占用带宽大于 1 MHz, 小于等于整个 C/A 码带宽的任何有害信号。窄带干扰主要围绕着载频集中发射干扰信号, 以达到最大的干扰效果。

(3) 连续波(CW)干扰指占用带宽小于 100 MHz 的干扰信号。它主要在一定频率上产生单尖峰噪声, 如果它集中在扩频谱信号的截频附近, 将极具破坏性, 但它容易从所接收的信号中被滤除掉。

(4) 脉冲干扰指采用脉冲持续时间极短、功率很大的信号。这些信号相当于噪声源, 会使数据流产生猝发性

误差, 它对理想接收机中的数据检测器很不利。它可以通过在发射的 GPS 信号中加入衰减校正能力, 或者通过估计干扰机状态(有或无), 并在有干扰机时忽略其数据而进行补偿。

在某型无人机系统的试飞试验中, 曾出现过无线电数据链设备干扰 GPS 的现象。无人机在飞行过程中, GPS 信号突然不稳定, 甚至收不到 GPS 信号, 导致导航系统误差增大, 飞机不得不带油返航。

飞机落地后, 进行了飞机环境电平测试, 发现测控数据链设备在 GPS 接收机频带内有一个固定的脉冲信号, 干扰了 GPS 信号的正常接收。通过降低测控数据链设备机箱辐射、改善滤波器性能等方法滤除了干扰。

我们对无人机发生的电磁干扰现象进行了分析:

(1) 测控链路的 C 波段设备小信号工作时, 差分 GPS 天线接收信号的旁边有宽带干扰信号存在, 并且两个天线距离太近, 影响正常 GPS 信号接收;

(2) UHF 天线发射状态下, 在 GPS 工作频率附近的 1 590 MHz 受到对讲机干扰;

(3) 对无人机的设备舱施加 10 kHz-18 GHz 外界干扰时, 光电平台抖动, 图像出现条纹, 通信链路 C 波段失锁, KU 天线失锁, 油量传感器异常。

(4) 测控链路视距 UHF 设备干扰了正常 GPS 信号的接收。

测控链路的 C 波段设备小信号工作时, 差分 GPS 天线接收信号在 1.2-1.8 GHz 频带范围内的信号能量约为 -100 dBm, 比 GPS 接收机灵敏度高 30 dB。而当该小信号不工作时, 该频带范围的信号能量回复到 -150 dB 以下, 远远小于 GPS 接收机的灵敏度, 不会影响到 GPS 接收机的信号接收。

经 RE102 测试发现, 在 UHF 天线发射状态下, 1 590 MHz 附近的环境电平约为 67 dB μ V, 即能量约为 -40 dBm, 比第二节中得出的 GPS 接收机前端的信号最高能量 -59.2 dBm 高出约 20 dB, 因此 GPS 容易受到干扰。而当 UHF 天线不处于发射状态时, 该环境电平下降到 20 dB μ V 左右, 能量约为 -87 dBm, 比 -59.2 dBm 低约 30 dBm, 不会对 GPS 的接收造成干扰。

3 改善 GPS 导航系统抗干扰性

由于无人机 GPS 接收机的灵敏度非常高, 在 GPS 接收天线附近工作的设备特别是有源设备极容易造成其环境电平的上升而对 GPS 导航系统造成干扰。

我们通过增加机载设备与 GPS 接收机的隔离度来降低干扰, 既:

(1) 合理布局 GPS 接收天线的位置, 将 GPS 接收天线安放在 UHF 天线的副瓣位置。由于天线副瓣位置处的

天线发射功率最小,因此对 GPS 接收天线造成的干扰也就最少。

(2) 在 GPS 接收天线与测控链路的 C 波段设备的小信号工作通道之间加入滤波器或衰减器,将影响 GPS 接收频段的信号滤除,这样保证测控链路的 C 波段设备小信号工作时传导到 GPS 接收器前端的信号小于 GPS 的灵敏度。

4 结语

利用电磁环境、GPS 灵敏度及 GPS 天线系数的概念对实际工作条件下的 GPS 导航系统的抗干扰性进行了定量分析。实测结果表明,测控链路的 C 波段设备易受到宽带信号的干扰。并且在 UHF 天线发射状态下,GPS 导航系统易受 1 590 MHz 的 GPS 工作频率附近的信号干扰,严重影响了 GPS 信号的接收。通过增加滤波器或衰减器、调整 GPS 接收天线位置等整改措施后,GPS 导航系统能够正常地接收 GPS 信号。

参考文献

[1] 陈淑凤,马蔚宇,马晓庆. 电磁兼容试验技术[M]. 北京:邮电大学出版社, 2001.

[2] 曲长云,王素英,郭仕恩,等. 军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量[M]. 北京:国防科工委军标出版发行部,1997.

[3] 韦锦松,汤恒正,陈世钢,等. 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求[M]. 北京:国防科工委军标出版发行部, 1997.

[4] 蔡仁钢. 电磁兼容原理,设计和预测技术[M]. 北京:航空航天大学出版社, 1997.

[5] 高攸纲. 电磁兼容总论[M]. 北京:邮电大学出版社, 2001.

编辑:王淑华 E-mail:wangsh@cesi.ac.cn

(上接第 28 页) 不同部件的温度限值的划分。针对表 10a)中的部件,需要在温升测试后把所获得的结果换算到环境温度为 40 ℃(如果厂家宣称的设备环境许可温度不超过 40 ℃),而表 10b)中相应的部件仅需要在环境温度为 25 ℃的情况下满足即可。而对 GB 4943 而言,温升测试的数值只是需要调整到厂家宣称的最大环境温度即可(不小于 25 ℃)。需要注意的是,在 GB 4943 用到的是最高温升的概念,GB 9706.1 用到是温度限值的概念,这个只要在实际测试中做相应的调整即可,其本质没有区别。另外,对于绝缘系统温度两个标准限值不一样,例如 A 级绝缘系统,GB 4943 的判据是 100 ℃,而 GB 9706.1 的判据是 105 ℃。

此外,GB 4943 和 GB 9706.1 在标签耐久性测试的方法、输入测试的结果判定方法上也还存在着差异,开关电源设计人员可以直接参考两个标准的具体内容。

参考文献

[1] 上海市医疗器械检测所. GB 9706.1—2007 医用电气设备 第一部分:安全通用要求[S].北京:中国标准出版社, 2007.

[2] 中国电子技术标准化研究所. GB 4943—2001 信息技术设备的安全[S].北京:中国标准出版社, 2007.

[3] IEC 60601 -1:2005 Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance[S]. 2005.

[4] IEC 60950 -1:2001 Information Technology Equipment - Safety - Part 1: General Requirements[S]. 2001.

[5] IEC 60950 -1:2005 Information Technology Equipment - Safety - Part 1: General Requirements[S]. 2005.

编辑:王颖 E-mail:wangy@cesi.ac.cn



全国无线电干扰标准化技术委员会 D 分会 2010 年年会召开

全国无线电干扰标准化技术委员会(以下简称“无干委”)机动车辆和内燃机的无线电干扰分技术委员会(SAC/TC79/SC4)(简称“D 分会”)2010 年会于 2010 年 9 月 11~13 日在山西省大同市召开。

会议由 D 分会主任委员徐立主持。无干委秘书长寿建霞代表总会 TC79/SC4 在秘书处挂靠单位的支持下完成的预定任务予以肯定,期望今后 D 分会能够进一步加强同基础分会及其他分会之间的密切合作,实质性参与国际标准化工作。

标准主要起草单位之一上海电科所的刘媛同志代表标准起草工作组介绍了 GB 14023 -201X 《车辆、船和内燃机无线电骚扰特性 用于保护车外接收机的限值和测量方法》(送审稿)的编写结构及采标过程中有关技术内容的处理情况。该标准等同采用最新版本国际标准 CISPR 12 Ed.6.1《车辆、船和内燃机-无线电骚扰特性-用于保护车外接收机的限值和测量方法》。

会议审查并原则通过了该标准。委员们一致认为该国家标准的制定和实施将进一步完善我国汽车行业 EMI 标准体系,有助于汽车制造商和供应商改善整车和相关设备的设计,有利于我国电磁兼容标准与国际标准接轨,提高国内车辆电磁兼容标准水平。

(无干委 D 分会 供稿)