

惯性/卫星组合导航系统不组合问题浅析

Analysis on No Combination Problems in INS/GPS Combined Navigation System

邹昆 / 西安飞行自动控制研究所

摘要: 惯性导航系统与GPS/GLONASS (简称GNSS) 组合导航系统在导航特性方面的互补性, 使惯性/卫星组合导航系统获得了广泛的应用。但组合过程中出现的不组合问题对组合精度有着极大的影响。针对使用中出现的不组合问题, 深入研究了组合机理, 建立了相应的故障树, 根据故障模式提出了常用排故策略, 大幅提升了排故效率和能力。

Abstract: Complementarities in the integrated navigation system in terms of navigation characteristics, make the INS/GPS Combined Navigation System more and more widely used. But the no combinatorial problems in the combination process will bring great influence on the combination accuracy. To solve the problem, research and analyze the mechanism, establish the corresponding fault tree and offer the common troubleshooting methods according to the fault mode, which will greatly improve the efficiency and level of the troubleshooting.

关键词: MB86R01; 图形显示设计; Linux

Keywords: MB86R01; graphic design; Linux

0 引言

惯性导航系统(惯导系统)以自主、隐蔽性强、全天候、抗干扰、输出信息量大、输出信息实时性强等突出优点, 已成为航空、航天、航海、陆地导航及大地测量等领域不可缺少的重要组成部分^[1], 但其高精度会随时间增长而降低。美国研制并在1994年投入使用的全球定位系统(GPS)和俄罗斯研制并投入使用的GLONASS卫星导航与定位系统都具有长期高精度、高效率的优点。将卫星导航和惯导短期的性能结合起来, 可使组合后的导航性能大幅提升^[2]。但是, 当卫星导航信息传输、计算过程中出现异常时, 惯导系统会出现不组合故障, 导致惯导系统组合精度降低。因此分析惯导系统不组合故障的原因对于提高用户地勤人员快速处理不组合故障有非常重要的意义。

1 卫星导航原理介绍

惯导系统实现组合功能, 主要是依

赖于惯导系统内嵌入的GPS/GLONASS双体制接收机, 实现卫星信号的接收、处理与信息传输等功能。

1.1 GPS/GLONASS接收机的构成

GPS/GLONASS接收机一般由天线、RF射频前端、基带信号处理(相关器)、导航处理机和用户接口五大部分组成^[3], 如图1所示。

天线:接收用户当前所在位置上空所有可视的GPS卫星信号。

RF射频前端:完成卫星射频RF信号的放大、滤波, 并进行频率下变换至下一级基带信号处理(相关器)所需要的低中频IF或零中频数字信号。

基带信号处理(相关器):完成卫

星信号的捕获和跟踪, 提取导航数据信息, 测量伪距离和伪距离变化率(多普勒), 供导航处理机进行用户的位置、速度和时间计算。

导航处理机:主要任务是按所要求的坐标系计算出用户的位置、速度和时间, 同时完成对接收机的控制、卫星和信号的选择, 对含有传播效应测量结果的修正, 以及通过用户接口与外部通信。

用户接口:用户通常通过键盘和显示屏显示用户当前的三维位置、速度和时间数据, 以及对接收机的编程与监视。

1.2 GPS/GLONASS接收机的工作过程

GPS/GLONASS接收机的工作过程主要分为以下几个步骤。

1) 卫星选择

为了得到用户的三维位置坐标(经度、纬度和高度)及时间这四个未知数, 用户接收机应分别同时测量到四颗卫星的距离, 只有在这些伪距离测定并经过处理后, 才能确定自己所处的位置。

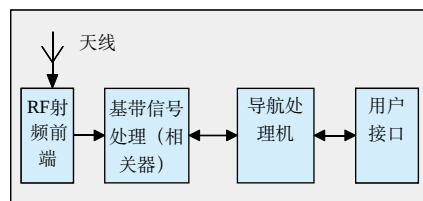


图1 GPS接收的构成

在某些情况下,当已经精确地知道高度或时间时,做较少的测量也能达到导航定位的目的。

系统必须要为接收机提供每颗卫星的位置随时间变化的信息(星历数据)。为了便于进行卫星选择和信号捕获,这样的星历日程表要精确到几千米范围之内。

在选定初始的四颗星座之后,每隔几分钟就观测一次选定的星座。一旦卫星星座的几何位置发生变化,而又需要保持最小的导航误差时,就应该改变所选择的星座。

2) 卫星信号捕获

信号捕获的正常方法是先完成与C/A码信号的同步,然后在必要时再转换到与P码信号同步。因此,导航处理机不仅为接收机指定应捕获的卫星,而且还必须给出该卫星信号可能产生载波多普勒频移的估计值。这是因为对于低速运动的用户来说, $\pm 5\text{kHz}$ 的多普勒频移范围太大了,提出上述要求对缩短搜索时间显然是有益的。

3) 测量

GPS/GLONASS接收机主要用于测量卫星发射信号的传播时间。它是通过码跟踪环路,将信号的到达时间与接收机的时间相比较而测得的,接收机的时钟是一种稳定的振荡器和计数器。该时钟的时间和频率相对于GPS/GLONASS系统时间和频率的偏差并不是重要的,因为这些偏差完全可以根据导航定位解加以确定。最重要的是振荡频率稳定性,对于按顺序观测卫星信号的接收机来说,振荡器频率的稳定性尤为重要。

由于考虑到信号噪声问题,不可能对锁定的C/A码的前沿到达时间进行直接的时间测量。为了解决这一问题,必须通过码跟踪环路使本地C/A

码序列发生器的码相位与接收机输入信号的码相位保持一致,利用输入信号和本地“超前一滞后”C/A码信号发生相关时所恢复的原信号电平,作为跟踪误差的指示。然后再把本地再生码的计时(HOW字中的Z计数)同接收机跟踪码的计时(跟踪了接收信号的相应的HOW字中的Z计数)进行比较,从而测出信号的到达时间,这些测量可以统称为伪测距,简称伪距。在伪距测量中,还要测量电离层的信号传播延迟。

4) 定位计算

在每次得到原始的伪距测量值中,首先应修正其传播延迟,其次是修正卫星时钟的偏差。卫星时钟的偏差(与GPS/GLONASS系统时间比较)可由地面控制台给出误差模型,而计算修正量的参数将成为由卫星向用户播发的导航电文组成部分。在原始的伪距离得到修正之后,其结果就是信号从卫星到用户的真实距离内之传播时间。

定位过程中的另一个计算是卫星位置。卫星的位置根据从卫星发来的星历表参数计算而得。当卫星信号被捕获时,就可以收集到这些数据。这些数据一小时换一次,以保持所要求的精度。因此,倘若这颗卫星在选定的星座中保留时间超过一小时,就一定能收集到新的卫星星历表参数。

在每一次进行伪距离测星时,把时间值代入修正过的开普勒椭圆方程中,就可以计算出该卫星的精确位置。然后

通过精确的四颗卫星位置和修正过的伪距离,就可获得用户位置解。

2 惯导系统卫星的信息处理

某型惯导系统应用嵌入式GPS/GLONASS接收机,其信号传输和处理链路如图2所示。

惯性/卫星组合导航系统工作流程分5步。

- 1) 惯导电源系统提供接收机工作电源,惯导系统上电后接收机板开始工作;
- 2) 通过机上天线和机上馈线电缆将卫星射频信号接收到惯导机箱;
- 3) 通过机箱内馈线电缆将射频信号接入到接收机RF射频前端;
- 4) 接收机板将位置速度等信息通过串行总线送到惯导系统的接口机板;
- 5) 接口机板接收到定位信息解包后通过并行总线传递给惯导导航计算机,导航计算机将接收到信息用于和惯导系统进行组合。

3 故障模式分析

由上述可知,GPS/GLONASS接收机的任一环路出现问题,或是惯导系统工作过程中任一阶段有异常,都将导致惯导系统出现不组合故障。通过大量外场故障模式分析,引起不组合故障的原因主要有卫星天线破损、信号传输路径中出现异常、卫星导航接收机板故障、处理卫星信号的电路板故障及其他原

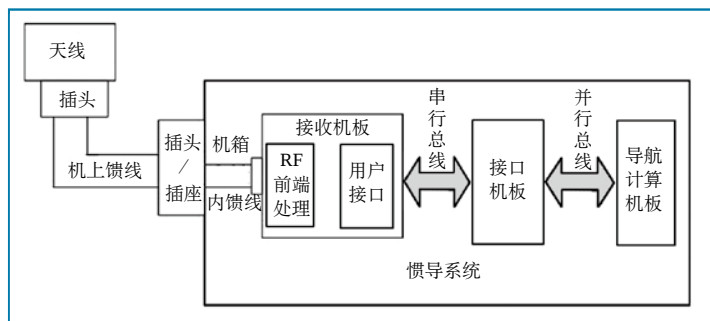


图2 卫星接收机信号传输链路

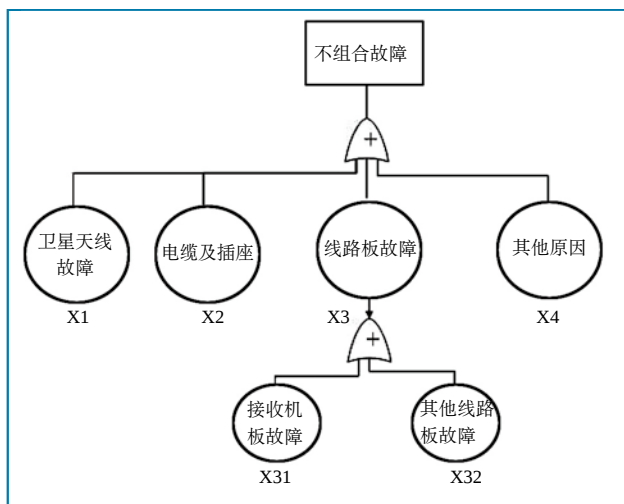


图3 组合不正常故障树

因等。故障模式如图3所示。

1) 卫星天线故障(故障模式X1)

当飞机上卫星天线受机械性损害或天线内部低噪声放大器损害故障时,将会影响卫星信号的正常接收,最终将导致惯导系统与卫星组合不正常。

2) 电缆及插座(故障模式X2)

卫星信号要通过飞机上的电缆传输到惯导卫星接收机板上,飞机和惯导任何一处电缆或插头出现问题,都会影响组合情况。

飞机内GPS/GLONASS馈线比较长,与机上很多信号线一起铺设,如果馈线发生磨损,可能会发生信号传输不正常,导致系统不正常,组合不正常。惯导机箱上电缆及插座如果任一环节出现连接不可靠、阻值异常、信号干扰等不正常现象时,会使卫星信号传输不正常,导致组合不正常。

3) 线路板故障(故障模式X3)

a. GPS/GLONASS接收机板如果出现故障,将不能正常接收、处理卫星信号,会导致系统收星不正常,组合不正常。

b. 卫星信号在惯导内部需要通过接口机板、导航计算机板进行信息传

输及处理,如果这些板子出现硬件问题,将不能正常传输,处理卫星信号,会导致系统收星不正常,组合不正常。另外导航计算机软件内组合算法及组合门限等的合理性,也会影响惯导组合是否正常。

4) 其他原因(故障模式X4)

根据用户使用情况,曾经出现过的其他引起组合不正常的原因有几种。

因有几种。

- 电子干扰,地面大功率设备如地面雷达,机上电磁干扰等;
- 惯导系统性能下降;
- 初始位置加载错误等。

4 解决措施

引起不组合故障的原因很多,需要具体情况具体分析。外场处理不组合故障,主要从以下几个方面考虑。

1) 信息收集

- 了解飞机周围环境是否有大功率设备,判断是否为干扰引起;
- 通过分析数据查找原因,检查不组合时段飞机的姿态、加速度等数据,判断飞机是否此时在做大机动;
- 检查机上其他卫星导航设备或同时飞行的其他飞机上的卫星导航设备是否工作正常,判断是否是卫星信号不正常或者有干扰。

2) 机上检查

- 首先检查惯导系统初始位置加载是否正确;
- 检查机上天线是否破损、GPS/GLONASS馈线插头与惯导机箱连接是否牢固;

c. 脱离馈线插头与惯导机箱的连接,检查馈线插头和惯导机箱上卫星信号插座是否有缩针现象,如出现缩针2mm以上,应立即更换,避免接触不良引起的不组合故障;

d. 如果外场有接收机测试仪或者手持接收机,可以隔离机上天线和馈线是否存在问题。

3) 实验室检查

a. 实验室对惯导系统性能进行检查,确认系统性能是否正常;

b. 确认接收机板、导航计算机板软件是否正常;

c. 更换接收机板、接口机板、导航计算机板等与卫星信号的接收、处理、传输有关的电路板,进行故障隔离。

5 结论

惯性/卫星组合导航系统牵扯软硬件众多,引起不组合故障的原因复杂。本文对惯导系统不组合问题机理进行了详细分析,建立相应的故障模式树,并提出了常用排故策略,对提高维修保障效率、降低惯导系统寿命周期费用将起到重要作用。

AST

参考文献

- [1] 中国科学技术协会. 惯性技术学科发展报告[R]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010: 25-26.
- [2] 王翌. INS/GPS(GLONASS)组合导航系统故障检测技术研究[J]. 战术导弹控制技术, 2002, (1): 28.
- [3] 胡颖娟. GPS和惯导组合系统的导弹遥测系统[J]. 航电技术, 2011, (3): 60-62.

作者简介

郭昆, 工程师, 主要从事机载设备售后服务工作。