文章编号:1008-0570(2010)12-1-0130-02

加速度计寻北仪的工程技术难点分析

Analyze of Technical Problems of Accelerometer North-seeking Instrument

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 王显军
WANG Xian-jun

摘要: 快速寻北定位具有广泛的应用,本文对一种基于 Coriolis 效应的非陀螺找北系统实现方案进行了工程化研究。为了实现加速度计寻北仪从理论到实践,分析了铅垂轴系单轴速率台寻北方案,研制了方案试验转台,分析了工程化关键技术难点,通过试验发现,转台轴系精度严重影响了哥氏加速度的测量结果,检测出轴系精度影响的信号并予以补偿,是一种可行的办法。

关键词: 寻北; 加速度计; 哥氏效应; 信号处理
中图分类号: TP216　　**文献标识码:** A

Abstract: Rapid north-seeking is widely applied. The paper studies the project of the north-seeking system based on Coriolis Effect without the peg-top. To bring the theory of the north-seeking accelerometer instrument into practical use, the paper analyzes the north-seeking project of monaxial velocity based on plumb axes, designs a scheme of the test platform, and analyzes the crucial technical problems during the engineering process. By test, it finds that the accuracy of the rotating platform's axes influence the results of the Coriolis accelerometer greatly, so it is a feasible method that the signal influencing axes precision is checked up and compensated.

Key words: north-seeking; accelerometers; Coriolis effect; signal processing

技术创新

1 引言

工程测量应用领域中,存在着确定北向方向的问题,尤其在高精度瞄准要求的设备中,要解决自主定位定向问题。确定方向也是导航定位的要求。

定向系统需要具有高精度、高效率、自主无依托的能力。寻北系统通过敏感地球速率来获得北向信息, 从而测量出任意测点的真子午线位置,实现找北过程,达到定向的目的。传统的寻北系统采用陀螺作为惯性器件来完成对地球速率的检测, 成本很高,人们为研究低成本的寻北进行了不懈努力。随着加速度计制造精度的进一步提高,20 世纪 80 年代出现了非陀螺惯性测量单元,由于它摒弃了昂贵的陀螺,从而使制造成本大为下降。将加速度计应用于寻北系统,20 世纪 90 年代末期既有人提出一种基于 Coriolis 效应的加速度计找北系统实现方案,理论上可使整体设备具有操作简单、快速、定向精度高、价格便宜等特点,这是其他定向方法所不及的。

2 加速度计找北系统实现方案

2.1 寻北系统的基本原理

通过研究发现,在地球表面可将地球自转角速度 ω_E 分解为两个分量,如图 1 寻北原理示意图所示,水平分量 $\omega_N=\omega_E\cos\lambda$ 沿地球经线指向真北, 垂直分量 $\omega_V=\omega_E\sin\lambda$ 沿地球垂线垂直向上(λ 为纬度角)。可见,敏感地球自转角速度的水平分量可获得地球的北向信息,这就是寻北系统的基本原理。

2.2 基于哥氏效应的加速度计寻北系统

地球上的物体相对于地球运动,而地球又绕地轴自转,因而组成复合的运动。在一般问题中,地球自转的影响可略去不计。但是在某些特殊情况下,却必须加以考虑。本文所讨论的寻北系统方案,正是利用地球自转这一实际情况,以地球作为动参考系(牵连运动),构造一个水平的恒速转台,以转台边缘的某个切点为参考点(相对运动),其切向速度与地球自转角速度的北向分量形成复合运动产生哥氏加速度。通过转台动态调制,地球自转角速度的北向分量与该点上切向速度复合生成的哥氏加速度输出为一正弦信号,通过检测该正弦信号的峰值所对应的相位,即为地球上所在位置的真北方向。其基本原理如图 2 所示,原理上加速度计输出曲线如图 3 所示。

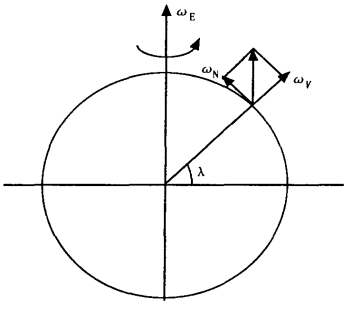

图 1 寻北原理示意图

Fig 1 Sketch map of north seeking- system working principle

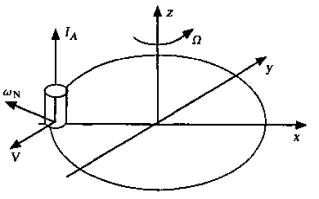

图 2 基于哥氏效应的寻北方案动力学基本原理

Fig2 Mechanics principle of north-seeking- scheme based on CoHolls efect

王显军: 研究员

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

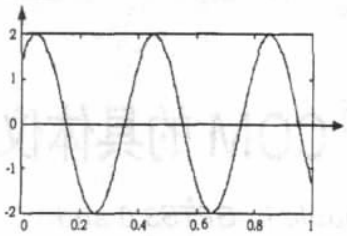

图 3 基于哥氏效应的寻北加速度计输出曲线

Fig 3 Output curve of north-seeking- accelerometer based on CoHolis Effect

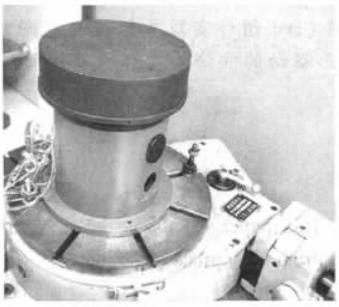

图 4 基于哥氏效应的寻北方案试验转台

Fig4 The rotating platform of north-seeking project based on CoHòlis Effect

在此寻北方案中，如图 4 基于哥氏效应的寻北方案试验转台所示将一只加速度计安装在转台上，转台水平放置由电机带动,转速为 Ω;加速度计测量轴 I_A 垂直向上,距离转台轴的偏心距为 ρ;ω_N 为地球速率的北向分量。加速度计实际输出为:

$$a = f + F_m \cos(\Omega t - \varphi) + e \quad (1)$$

式中，$f = -g + a_0$,α_0 为加速度计的零偏;g 为重力加速度;e 为输出噪声; $F_m = 2\Omega\rho\omega_N$ 为最大哥氏加速度;φ 为初始方位角。

上述信号的直流部分通过交流放大器可以滤掉。已知 ρ 和 ω_N 为常值;通过稳速,使 Ω 保持恒定。所以 F_m 为常值。利用编码器的基准脉冲,对正弦信号进行同步检波,就能计算出初始方位角,从而确定被测点的真北方向。

3 理论关键技术分析

在参考文献中,介绍了上述方案的关键技术分析。如:转台旋转轴偏心对找北的误差的影响、加速度计敏感轴不垂直的误差分析、旋转轴垂直而旋转台面倾斜的影响、基座倾斜的误差分析等,机理清楚、方法得当、结论正确,文章最终的结论是:基于哥氏效应的非陀螺找北系统实现方案,其原理比较简单,与常规的找北系统相比,该系统摈弃了昂贵的陀螺使得成本大为下降,另外,非陀螺找北系统采用动态方案,可大大缩短系统的找北时间所以该方案适于构成低成本的快速找北系统。

在参考文献中介绍了三种方案,铅垂轴系速率台方案、铅垂正弦速率方案和水平轴系速率台方案，均是采用的加速度计寻北方案。

在参考文献中对电动机转速控制方法、弱信号放大的单元技术、数据处理方法等也作了较为详细的介绍。

前述理论分析工作为工程实践打下了基础。但理论分析和仿真可能会忽略实际存在的某些问题。

4 试验装置与试验结果

按照前述理论方案，我们实际研制了试验转台，如图 4 所示。选用加速度计为石英挠性加速度计、分辨率±0.5×10^{-5}g、加表标度因数 k=1.0237mA/g、采样电阻 1000Ω,加速度计测量轴垂直向上,距离转台轴的偏心距为 ρ=70mm;放大器和加表与转台固连,放大器输出信号通过导电滑环引出。控制电机转速为 Ω=8 转/秒,试验地点长春市,北纬 43.9°东经 125.3°。设计放大器放大倍数 1700 倍、中心频率 8.0Hz、Q 值等于 30。

预计最大哥氏加速度:

$$F_g = 2\rho\Omega\omega_N = 2\times0.07\times50.3\times7.29\times10^{-5}\times\cos(43.9^\circ) = 3.77\times10^{-5}g \quad (2)$$

通过电阻采样、放大、预计放大器输出信号正弦峰值约±66mV。但是,试验中实际测得放大器输出约±200mV。

经过反复试验,我们改变了放大倍数、改变了转台基座北向位置等方法,发现,放大器输出始终与理论值不符合,且峰值位置与北向不符合。

分析种种原因，主要是转台端跳影响最大。加表与转台固连，应该在垂直与旋转轴的平面上转动，但是由于转台轴系晃动,使加表有垂直方向的运动,垂直方向的微小运动严重干扰了对哥氏信号的测量。

5 工程技术难点分析

转台转动端跳导致加表产生垂直于转动平面的运动，这个运动量的加速度严重影响了哥氏加速度的测量结果。假设转台每周有 A=0.01mm 的端跳且呈正弦规律，其运动位移 S 的运动方程为:

$$S = 0.01\times10^{-3}\times\sin(\omega t) \quad (3)$$

加速度是位置曲线的的二阶导数,加速度 a 的运动方程为:

$$a = S'' = A\cdot\omega^2 \quad (4)$$

当端跳 0.01mm 时，$a = 2.5\times10^{-3}g$ ，当端跳 0.001mm 时，$a = 2.5\times10^{-4}g$,其值大于预计最大哥氏加速度,如图 5 转台端面跳动所示。

采用另外一种算法，转台转动端跳导致加表产生垂直于转动平面的位移,产生了离心加速度的垂直分量为:

$$a = \rho\omega^2\sin\theta = \rho\omega^2\cdot A/\rho = A\cdot\omega^2 \quad (5)$$

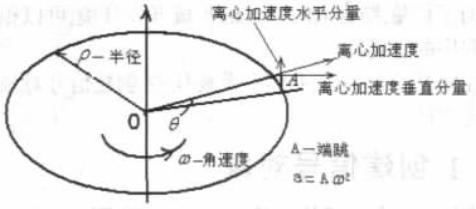

图 5 转台端面跳动

Fig5 Platform flop

两种算法结果相同。端跳源自轴系精度,端跳严重影响了哥氏加速度的测量结果,导致不能测得北向分量,找不到真北。

在前述方案中,当半径为 70mm 时,最大哥氏加速度量级在 10^{-5}g。假如,轴系精度达到 0.1″ ,转台端跳为 3.4×10^{-5}mm,垂直分量端跳加速度为 8.5×10^{-6}g，这种情况造成的干扰达到最大哥氏加速度预计值的 22%,最终造成寻北误差约 20°,目前,轴系精度很难达到 0.1″ 。必须先解决转台轴系精度影响的问题,才能实现基于加速度计寻北。轴系的影响具有随机性。含有真北信息的哥氏效应信号是固定的,幅值与测量点维度有关,信号相位与转台基准角位置零点有固定的关系,信号频率即转台转速。待测弱信号为单一频率信号,采用基于 Duffing 混沌系统的微弱信号检测,可以剔除轴系的干扰。 (下转第 81 页)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

6. 逐级联调,以中心控制器为中心按各个方向的协议调通。

7. 调试中心控制器的控制和管理逻辑。

8. 全系统联调测试。过程中用到一个 TMS320VC5402 仿真器和两个 CC2430 仿真器。

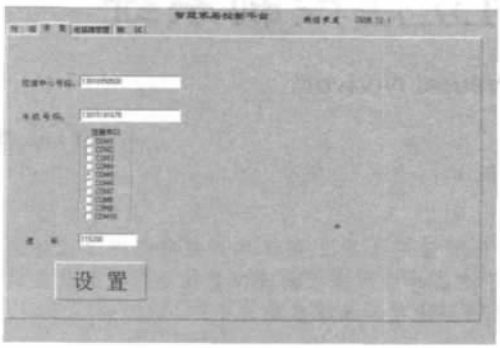

图 5 智能家居控制平台测试界面

Fig5 Intelligent home control platform test interface

5 结论及展望

本设计的主题是建立一个基于 GSM 短信息的家居智能化控制系统,实现对家庭设备,家居环境状况的控制与监测。GSM 短信息模块执行接收短信息给用户手机及发送用户手机的短信息,建立了用户手机和 DSP 主控模块的远程通信功能,系统通过 ZigBee 无线通信技术实现子功能模块与主控模块之间的通讯。

本系统的优势和创新主要体现在以下几个方面:

1. 设计了基于新标准 ZigBee 的无线技术在智能家居行业的应用方案, 这在家居行业的技术发展和应用方面的研究具有前沿性和实用性。

2.根据人们平时通信的习惯,设计基于 GSM 短信来远程控制家电的系统易于被人们所接收, 并且在不需要很强实时性的家居控制中具有方便,快捷,高效率低运行成本的优势。

3.系统采用 DSP TMS320VC5402,不仅有很好的性价比也为以后系统升级扩展留有余地。在今后可以利用基于 GPRS 的彩信服务或 3G 移动通信,反馈信息可以向图形、图象的视频信息方向发展。这时, 中心控制器要有足够的能力处理视频, 这时 DSP 就大有用武之地。

4. 在设计中解决了 DSP TMS320VC5402 与 GSM 模块相连接的接口问题。

因此基于 GSM 短信的智能家居控制系统具有较好的社会发展前景。

本文作者创新点: 利用了 GSM 短信息技术与 ZigBee 技术, 并以 TMS320VC5402,CC2430 为核心器件设计其电路方案。用 C++Builder 编写其控制软件平台。并且在很好的解决了 DSP TMS320VC5402 与 GSM 模块连接的接口问题。

参考文献

[1]周经凯,麻信洛等. 智能家居控制系统中的无线技术应用与设计.工业控制计算机.2008

[2]高明明,惠晓威,林森.基于 GSM 的 Zigbee 无线智能家居控制系统设计.中国科技信息.2008(4)

[3]李文仲,段朝玉等.ZigBee 无线网络技术入门与实战.北京航空航天大学出版社.2007

[4]宁改娣,杨拴科.DSP 控制器原理及应用.科学出版社.2002

[5]周计文,王辉.基于 ARM 的智能家居控制器的设计.微计算机信息.2007(23)

作者简介:高明明(1980–),女(汉),内蒙平庄人,辽宁工程技术大学讲师,硕士,主要研究方向为无线通信,现任教于辽宁工程技术大学电子与信息工程学院; 惠晓威(1958–),男(满族),辽宁省阜新市人,教授,主要从事现代通信新理论与技术、无线通信方面的研究。

Biography:GAO Ming–ming (1980–),female (Han nationality), Born in Inner Mongolia, Liaoning Technical University, Lecturer, Master ,Major Research area: Wireless communication. Working company (Electronics and Information Engineering Department of Liaoning Technical University).

(125105 辽宁省葫芦岛 辽宁工程技术大学电信工程学院) 高明明 惠晓威 林 森

(Electronics and Information Engineering Department of Liaoning Technical University, Huludao Liaoning province 125105, China) GAO Ming–ming HUI Xiao–wei LIN Sen

通讯地址:(125105 辽宁省葫芦岛市龙湾南大街 188 号辽宁工程技术大学 011 信箱) 高明明

(收稿日期:2010.04.06)(修稿日期:2010.07.06)

(上接第 131 页)

6 结论

自一种基于 Coriolis 效应的加速度计找北系统实现方案提出以来,各方专家进行了较多的研究工作,理论分析和前期工作打下了深厚的基础。基于加表的寻北仪,采用铅垂轴系单轴速率台寻北方案,转台端跳影响了哥氏加速度的测量结果。目前,轴系的加工和调校精度还不能达到这种方案的要求, 采用基于 Duffing 混沌系统的微弱信号检测可解决这一问题。

参考文献

[1]顾启泰.非陀螺快速找北系统 [J].清华大学学报.1999,39(11):107–109

[2]张源,李保平等.基于卫星导航技术惯性导航系统误差评估[J].微计算机信息.2008,4–1:P312–314

[3]孙国富,邹红星,顾启泰,等.非陀螺找北系统的力学原理[J]. 兵工学报.2001,22(3):342–346

[4]任顺清,孙凯明,等.加速度计寻北仪的理论分析与设计[J].哈尔滨工业大学学报.2005,37(8):1090–1092

[5]赵岩,翟百臣,等.加速度计寻北系统的设计及关键技术研究[J].电光与控制. 2005,12(5):66–69

[6]江进朋,徐家品等.Duffing 振子微弱信号检测方法的应用研究[J].微计算机信息.2009,7–1:p225–226

作者简介:王显军(1965–),男, 吉林长春人, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员,主要从事电子技术应用研究工作。

Biography:WANG Xian–jun (1965–), Male, Changchun City Jilin Province, Researcher of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, major in application of electrical technology.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 王显军

(Changchun Institute of Optics,Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022, China) WANG Xian–jun

通讯地址:(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 王显军

(收稿日期:2010.08.12)(修稿日期:2010.11.12)

技术创新

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net