

基于GPS的地震勘探差分定位系统设计

谢俊宇 周 严

(南京理工大学机械工程学院 南京 210096)

摘要: 针对地震勘探中采集道众多,地理信息获取不精确,采集道定位精度差的问题,设计了基于GPS的地震勘探的差分定位系统。通过对差分定位原理的深入分析,设计了地震采集道的定位系统,并在此基础上,将基准GPS基站发送的RTCM差分信息,传输至地震采集道进行差分运算得到了差分后定位数据。最后,利用实际的地震勘探环境对差分定位的结果进行了测试,结果表明,该系统具有良好的精确度和可靠性,满足了地震勘探过程中对获取高精度地理信息的要求。

关键词: 地震勘探;差分定位;采集道

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Design of seismic exploration difference positioning system based on GPS

Xie Junyu Zhou Yan

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210096, China)

Abstract: In seismic exploration acquisition way is numerous, geographic information acquisition is not accurate, acquisition problem of poor positioning accuracy, seismic exploration based on GPS differential positioning system is designed. Through in-depth analysis of the principle of the differential positioning, design the seismic acquisition way of positioning system, and on this basis, the benchmark of GPS base station sends RTCM differential information transmission to the seismic acquisition way for difference operation after differential positioning data are obtained. Finally, using the actual seismic environment was tested, the results of the differential positioning results show that the system has good accuracy and reliability, to satisfy the seismic exploration process to obtain high accuracy requirements of geographic information.

Keywords: seismic exploration; differential positioning; acquired channel

1 引言

地震勘探是目前最主要的油气资源勘探方法,地震勘探的地理定位系统是地震勘探系统中的重要组成部分,地震勘探是与地理信息紧密结合的学科,地理信息的结果极大的影响对地震勘探的处理,因此,获取准确可靠的地理信息至关重要^[1]。

在传统的地震勘探系统中,通常采用单点定位的方式进行地理信息的记录,相对于差分定位,单点定位的精度不高^[2]。本课题在研究地震采集道单点定位的基础上实现工作站和采集道结合的差分定位系统,该系统包含基准GPS接收系统,采集道GPS接收系统。基准GPS接收机发送差分校正信息至中央工作站系统,中央工作站通过网络将差分数据发送至地震采集道,采集道在收到差分校正信息以后,进行差分定位运算,运算完成以后输出差分定位结果至工作

站,工作站对定位信息进行解析之后将定位信息进行保存。

2 系统原理

2.1 地震勘探系统原理

本文设计的地震勘探系统主要由中央工作站和采集节点组成,中央工作站和采集节点之间通过无线网络进行通信,无线通信采用802.11 b/g/n标准。采集节点部署在测线上,每条测线部署一定数量的采集节点,采集节点包含检波器、采集设备、无线传输设备、GPS设备等部分构成,测线由拖曳车辆牵引。GPS基准站与中央工作站相连接,工作站通过串口接收来自GPS基站的差分RTCM信息,并通过网络将差分数据发送至采集道。整个勘探系统的结构如图1所示。

2.2 差分定位原理

根据差分GPS的工作原理不同,GPS的差分定位方式

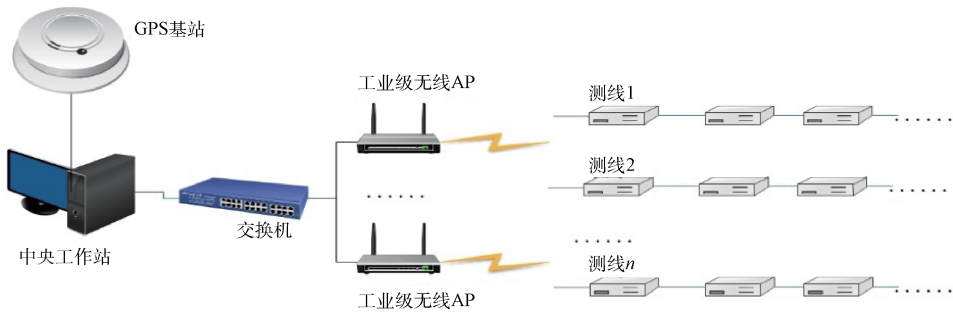


图1 地震勘探系统网络拓扑

主要分为4类,即位置差分定位、伪距差分定位、广域差分定位和载波相位差分定位4种^[3],其中,应用最广的差分定位方法为伪距差分定位。伪距差分的原理为:设某一时刻基准站 r 到某一颗 GPS 卫星 j 的伪距为 ρ_r^j ,根据基准站的三维坐标和 GPS 卫星星历,可以知道基准站到 GPS 卫星的真实距离 ρ_r^j ,于是可以得到伪距的校正值 $\Delta\rho_r^j$,得到:

$$\Delta\rho_r^j = \rho_r^j - p_r^j \quad (1)$$

对于动态 GPS 接收机 k ,它的观测值 P_k^j 如式(2)

$$P_k^j = \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} - \Delta\rho_r^j + d \quad (2)$$

P_k^j 表示动态接收站至第 j 颗 GPS 卫星的伪距。 $d = C(dT_{rr} - dT_{kr})$, C 表示电磁波传播速度, dT_{rr} 和 dT_{kr} 分别表示基准站和动态 GPS 基站相对于 GPS 时系的偏差。 X^j, Y^j, Z^j 为第 j 颗卫星在时刻 t 的在轨位置。 X_k, Y_k, Z_k 表示动态用户的 GPS 信号接收天线在时刻 t 的三维位置。

当同时观测 4 颗卫星,就可以列出 4 个如式(2)的方程式,则得到动态 GPS 接收机在时刻 t 的三维位置解为:

$$[\Delta X_k(t) \Delta Y_k(t) \Delta Z_k(t) d(t)]^T = A^{-1}(t)B(t) \quad (3)$$

$\Delta X_k(t), \Delta Y_k(t), \Delta Z_k(t)$ 为动态接收机在时刻 t 的三维位置改正值。 $A(t), B(t)$ 为计算矩阵,其值由 4 颗卫星的实际观测值决定。最终得到动态 GPS 接收机在时刻 t 时的三维位置为:

$$\begin{aligned} X_k(t) &= X_{k0} + \Delta X_k(t) \\ Y_k(t) &= Y_{k0} + \Delta Y_k(t) \\ Z_k(t) &= Z_{k0} + \Delta Z_k(t) \end{aligned} \quad (4)$$

X_{k0}, Y_{k0}, Z_{k0} 为动态 GPS 接收机的初始三维位置。

伪距差分用于基准接收机和动态接收机的距离差别在 100 km 以内的情况,当距离超过 100 km 时,伪距差分的定位精度将会下降^[4]。伪距差分定位技术能够消除 GPS 卫星时钟偏差造成定位精度损失,并且显著减小甚至完全消除电离层/对流层效应和星历误差对 GPS 定位精度的影响。在伪距差分过程中,DGPS 数据链起重要作用。因为 DGPS 数据链是否有效决定了伪距差分的定位结果。本文采用 RTCM SC-104 格式作为 DGPS 的数据链格式,RTCM SC-104 是国际海事技术委员会确定的标准 DGPS

数据链格式,它具有 21 类 63 种电文型式,其中第 1 类和第 2 类电文是广泛应用的数据格式^[5]。

3 差分定位系统的实现

3.1 系统硬件设计

本课题设计的差分定位硬件系统由采集道的定位系统和工作站定位系统构成,采集道的硬件主要由 GPS 接收模块和嵌入式芯片 STM32 构成,其中 GPS 接收模块由 GPS 天线和 GPS 处理模块组成。GPS 接收模块用于接收 GPS 卫星信号,对 GPS 进行计算得到坐标位置。本课题选用的 GPS 接收模块为美国 Ublox 公司设计的 LEA-6T 模块,LEA-6T 能够提供精确的 GPS 授时服务,该模块能够通过使用量化误差补偿时间脉冲的颗粒度误差,授时精度可 15 ns,体积为 17.0×22.4 mm,并且该模块支持差分定位^[6]。电路连接如图 2 所示。

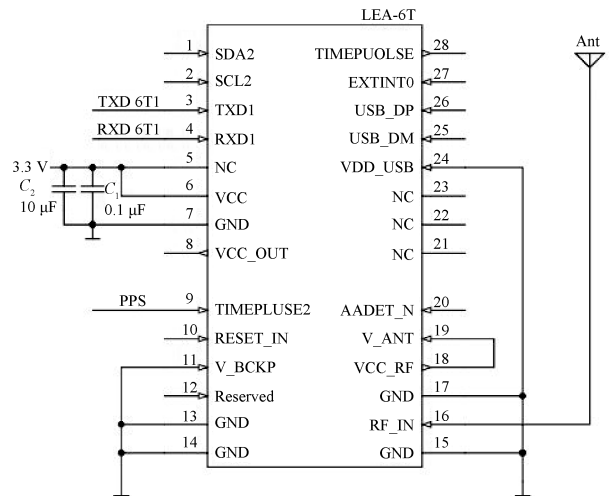


图2 LEA-6T 的连接电路

如图 2 所示,芯片的 9 脚与 STM32 的 I/O 口相连接,用于检测 LEA-6T 是否正常工作,脉冲的频率为 1 Hz,16 脚与 GPS 接收天线相连,用于接收 GPS 信号,3 脚和 4 脚分别为 LEA-6T 模块的串口数据输出脚和输入脚,与 STM32 的串口 1 相连接,用于接收 STM32 发送的控制指

令和输出 GPS 信息。

3.2 系统软件设计

差分定位的实现需要两个重要设备,基准 GPS 基站和动态 GPS 接收设备。本课题采用的基准 GPS 接收站是七维航测公司的 SDI-TimeNav 的授时导航模块,该模块包含 2 个串口,在定位完成以后串口 1 输出 GPGGA 的定位信息,串口 2 输出 RTCM 电文,串口的波特率为 115 200。在采集道中与 LEA-6T 相连接的 STM32 芯片将会结合 LEA-6T 的卫星伪距信息和 RTCM 电文进行差分计算,得到差分定位结果。整个差分系统运行流程图如图 3 所示。

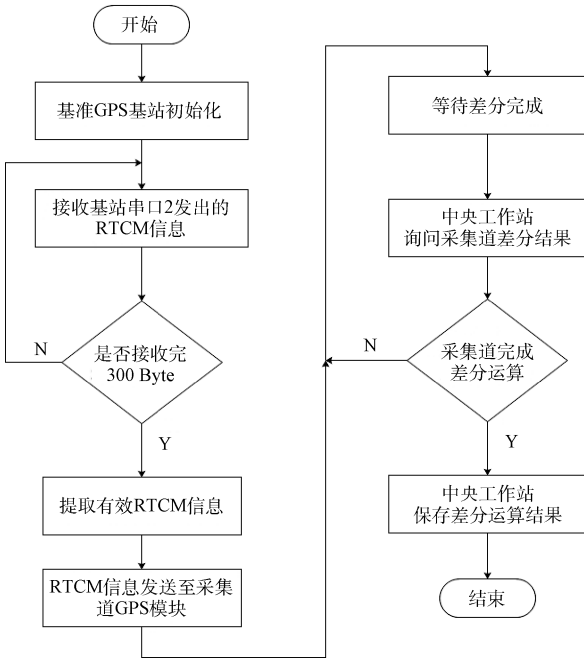


图 3 差分定位运行流程图

如图 3 所示为差分定位的运行流程图,其主要步骤为:

1) 等待 GPS 基准站完成定位,基准站的串口 2 将输出 RTCM 电文。

2) 中央工作站在打开串口以后,开始接收基准站发出的 RTCM 电文,并将 RTCM 电文存入 RTCM 数组中,当接收完 300 Byte 以后,中央工作站将会把这组 RTCM 电文进行解析,进行奇偶校验,验证通过以后,将该组电文发送至采集道的嵌入式模块进行差分运算。

3) 中央工作站在发送完 RTCM 电文后,等待一段时间,采集道上与 LEA-6T 模块相连接的 STM32 模块将会进行差分运算,得到差分后的定位结果。

4) 中央工作站在等待时间完成以后,将会主动发送控制指令询问差分运算的结果。

a) 采集道在收到询问指令后,如果差分运算已经完成,则将差分运算结果通过网络发送至中央工作站。

b) 如果在采集道收到询问指令时,差分运算仍然没有完成,则会回复差分运算没有完成的指令至工作站,工作站

需要记录该节点,并在等待一段时间后继续询问该采集道。

5) 中央工作站在收到地震采集道的定位信息回复后,会解析回复的指令帧从而获得定位信息,并对定位信息进行保存。

RTCM 电文包含了伪距改正数和伪距改正率等信息,LEA-6T 模块支持卫星观测伪距输出,伪距输出指令类型为

{0x02,0x10},该指令可以指定输出某个卫星号的观测伪距。与 LEA-6T 相连的 STM32 芯片在得到 LEA-6T 模块输出的卫星伪距后,结合基准工作站输出的 RTCM 电文进行差分计算。差分计算式如式(5)所示^[7]:

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (5)$$

式中: $PR(t)$ 表示改正之后的伪距, $PRM(t)$ 表示动态接收机在时刻 t 时测量得到的伪距, $PRC(t)$ 表示在时刻 t 时的伪距改正数。其中对于 RTCM 的第 1 类电文, $PRC(t)$ 的计算公式为:

$$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC(t - t_0) \quad (6)$$

$PRC(t_0)$ 表示为参考时刻 t_0 的伪距改正数, RRC 表示伪距改正数随时间的变化率,即伪距变化率, $PRC(t_0)$ 和 RRC 的值可以从 RTCM 的第 1 类电文中解析得到。在进行伪距差分运算时,一个关键因素是电文中的数据龄期信息 (IOD),如果 RTCM 电文中的 IOD 信息与动态接收机中 IOD 信息相一致,则可以使用式(6)进行伪距改正数的计算,如果两者不一致,则需要利用 RTCM 的第 2 类电文进行差分计算,电文 2 包含了卫星在几分钟内的伪距改正数和伪距变化率的变化值,电文 2 可以连续发送,保证了动态接收机可以获得高精度的差分信息。结合电文 1 和电文 2,动态接收机的伪距改正数计算公式为:

$$PRC(t) = PRC(IOD_2) + \Delta PRC(IOD_1) + RRC(IOD_1)(t - t_1) + \Delta RRC(IOD_1)(t - t_2) \quad (7)$$

式中: IOD_1 表示过时的数据龄期, IOD_2 表示当前的数据龄期, t_1 表示第 1 类电文中修正后的 Z 计数, t_2 表示第 2 类电文中修正后的 Z 计数。 $\Delta PRC(IOD_1)$ 表示 Δ 伪距改正数, $\Delta RRC(IOD_1)$ 表示 Δ 距离变化改正率, $\Delta PRC(IOD_1)$ 和 $\Delta RRC(IOD_1)$ 都可以由第 2 类电文解析得到。基于以上理论分析,本文在采集道的 STM32F103 模块中实现了对卫星伪距校正,伪距校正的处理流程如图 4 所示。

如图 4 所示,地震采集道在接收到 RTCM 电文以后,对电文进行解析得到每一颗观测卫星的伪距改正值,同时向 LEA-6T 模块输出控制指令,使 LEA-6T 模块输出观测卫星的伪距信息,通过式(5)和式(7)计算得到改正之后的伪距信息,计算得到采集道的三维坐标,该坐标是基于空间坐标系下的坐标,需要将其转换为大地坐标进行输出,转换公式为^[5]:

$$\begin{aligned} L &= \arctan(Y/X) \\ B &= \arctan(Z + e' \sin\theta / \sqrt{X^2 + Y^2 - e^2 \cos^2\theta}) \\ H &= \sqrt{X^2 + Y^2} / \cos B - N \end{aligned} \quad (8)$$

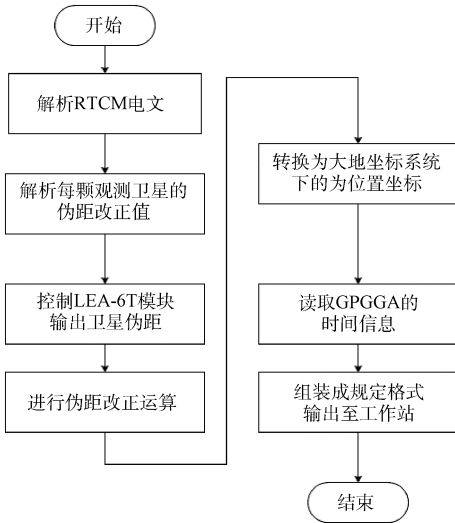


图4 伪距校正处理流程

式中： $\theta = \arctan(Za / \sqrt{X^2 + Y^2} * b)$ ， $e'^2 = (a^2 - b^2) / b^2$ ， L ， B ， H 分别代表精度、纬度和高度， $N = a / \sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B}$ ， $a = 6\,378\,137 \pm 2\text{ m}$ 代表地球的长半轴半径， $b = 6\,356\,752 \pm 2\text{ m}$ 地球的短半轴半径， $e^2 = 0.006\,694\,379\,990\,13$ 代表偏心率值。在得到大地坐标系下的坐标后，STM32 芯片将差分后的定位信息组装成标准的定位数据格式，最终通过网络发送至中央工作站。

4 系统测试

为了进一步验证本文设计的差分定位系统的可靠性，本文在实验室楼顶对差分定位系统进行了测试，提取了其中5组的差分运算结果，记录每次试验时的精度、纬度和高度信息，将实际测量得到的定位信息与实际情况相对比，得到试验结果如表1所示：

表1 差分运算结果

试验序号	精度	纬度	高度/m
1	118°51'16.9116"	32°1'37.0344"	33.30
2	118°51'16.8803"	32°1'37.0452"	32.80
3	118°51'16.8840"	32°1'37.0416"	33.50
4	118°51'16.9020"	32°1'37.0412"	32.70
5	118°51'16.9128"	32°1'37.0376"	33.10

将5次差分计算的结果进行平均处理，得到最终的差分结果，将该结果在 Google Earth 地图上进行了显示，显示结果如图5所示。

为了进一步验证本文设计的差分定位系统是可行有效的，本文进行了对比测试，测试方法为选取空旷的野外，将两个采集道置于相近位置，其中一个采集道采用单点定位，另一个采集道采用差分定位，分别对单点定位和差分



图5 差分定位效果

定位数据进行误差分析，采用基准 GPS 接收站的定位数据作为真值，为了不干扰 GPS 基站的定位效果，实验中将采集道和基站进行了分开放置，实际间隔距离为 4 m。为了得到两种定位方式下的定位误差变化，选取了时长为 1 min 的定位数据进行误差计算，得到误差变化曲线如图6所示。

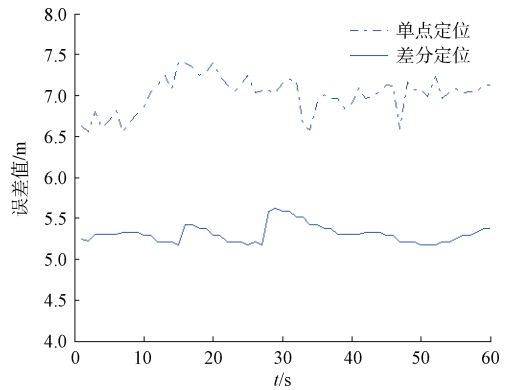


图6 误差变化曲线

由图可得，差分定位的误差明显小于单点定位的误差，实测采集道和基准 GPS 基站的距离为 4 m，可知差分定位方式下的误差在 2 m 以内，测试表明，本文设计的差分定位系统相比于单点定位具有更高的稳定性和精确度。

5 结 论

本文针对在地震勘探过程中面临的采集道定位信息不准确的问题，设计了适用于地震勘探的差分定位系统。本系统利用伪距差分的定位原理，设计了地震采集道的差分定位电路模块，并在此基础上设计了差分定位的采集道和工作站的软件系统。最后，进行了实际的对比测试，结果表明，本系统设计实现的差分定位系统可以获得高精度的地理信息，相比于传统的单点定位，在精度度和可靠性方面都有明显的提升，因此，本文设计的差分定位系统可以使地震勘探系统由更高精度的地理信息，有着广阔的应用前景。

参考文献

[1] 郭文, 郑飞. GPS 技术在石油地震勘探测量中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(17): 162-162.

[2] 于洪林, 郭爱煌, 罗巍. 一种基于 GPS 定位数据的测距方法[J]. 电子测量技术, 2011, 34(7): 95-98.

- [3] 杨杰,张凡. 高精度 GPS 差分定位技术比较研究[J]. 移动通信,2014(2):54-58.
- [4] 陈伟军,覃锋,张伟庆,等. 高精度差分 GPS 在隐伏矿床定位 预测中的应用[J]. 有色矿冶,2011(1):9-12.
- [5] 林霖. DGPS 差分信息传输协议研究[D]. 大连:大连海事大学,2010.
- [6] 乐联华,江剑. 基于 STM32 的远程定位与监控终端的设计[J]. 国外电子测量技术,2015,34(10):67-72.
- [7] 伍俊,荣亮亮,王永良,等. 图形化系统设计平台在超导地球物理勘探中的应用研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(S1):21-26.
- [8] 杨玺,刘军,阎芳. 基于序列加权的无线传感器网络定位算法[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(10):1155-1160.
- [9] 张平安,周严. 履带拖曳式陆地震勘探数据采集系统[J]. 电子测量技术,2014,37(5):116-120.
- [10] ALONSO J M, OCANA M, HERNANDEZ N, et al. Enhanced WiFi localization system based on Soft computing techniques to deal with small-scale variations in wireless sensors [J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(8): 4677-4691.

作者简介

谢俊宇,在读硕士研究生。主要研究方向为智能测试技术与仪器。

E-mail: xjy2016@yeah.net

海泰电子与白俄罗斯国立信息和无线电电子大学签署国际合作合同

2016年7月3日,陕西海泰电子有限责任公司(以下简称“海泰电子”)与白俄罗斯国立信息和无线电电子大学(以下简称“BSUIR”)在西安正式签署系统级电磁兼容预测分析技术引进合同。海泰电子总经理郭恩全、技术专家周开基等人,与 BSUIR 电磁兼容教研室主任 Vladimir Mordachev 教授、技术负责人 Eugene Sinkevich,北京怡嘉行科技有限公司总经理熊运鸿等人共同出席了签约仪式。

海泰电子作为国内领先的电磁兼容全面供应商,自2006年开始致力于自主研发系统级电磁兼容预测分析软件,用于指导复杂系统的电磁兼容设计,先后推出具有自主知识产权的商业化系统内电磁兼容预测分析软件 EMC Designer、系统间电磁兼容预测分析软件 EMC Evaluator 和电磁兼容数据库软件 EMC Database。

在立足于自主研发的同时,海泰电子积极寻找拥有国际先进技术的战略合作伙伴。BSUIR 在系统级电磁兼容性仿真及分析领域有数十年的理论与技术积累,开发了多

款具有国际领先水平的电磁兼容仿真与测试软件。海泰电子于2014年初与 BSUIR 建立联系,双方经过多次技术交流与合作洽谈,针对系统级电磁兼容预测分析技术引进与合作事宜达成初步意向,并于2014年6月8日在北京签署了合作协议书(草案)。

2015年4月,海泰电子申报的国际科技合作专项“系统级电磁兼容性预测分析软件联合研发”成功立项,在此基础上,海泰电子加速了与 BSUIR 的谈判进程。2015年11月,双方在明斯克签署了电磁兼容预测分析技术规格书;2015年12月,双方在北京起草了合作合同初稿;2016年7月,经过两年多的交流与洽谈,双方在西安正式签署合作文件。

通过此次国际合作,海泰电子将引进 BSUIR 国际领先的系统级电磁兼容预测分析技术,加速优化、开发更先进的自主知识产权预测分析软件,全面提升我国飞机、舰船、地面装备、高速轨道交通、新能源汽车和智能电网等装备或系统的电磁兼容性设计与评估水平。