

文章编号:1671-6833(2008)03-0043-04

基于 TMS320C6416 的水下微地形实时探测系统设计

卜英勇, 陈旭, 周木容, 张涛

(中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083)

摘 要: 结合摆动式单波束超声测距方法, 提出了一种基于高速 DSP—TMS320C6416 平台的水下微地形实时探测系统设计方案, 并从硬件、软件上加以实现。通过该系统测到的 cm 级精度微地形数据可计算出前端地形的最佳切削深度, 从而实现在深海富钴结壳资源开采过程中对采矿头浮动的精确控制, 达到最优切削的目的。试验结果证明: 该系统能在实验台以 50 mm/s 的速度匀速行走时, 实时探测前方地形, 并在行程满足设定距离后绘制出三维地形图, 误差较小, 可以满足钴结壳开采实际要求。

关键词: 钴结壳; 微地形; 高程值; 实时; DSP

中图分类号: TP 335+.1

文献标识码: A

0 引言

有商业开采价值的富钴结壳是一种具有战略意义的深海矿产资源, 其主要生长在坡度为 $7^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的海山山坡上, 微地形起伏 $< 50 \sim 100$ mm。钴结壳矿床厚度很薄, 平均不超过 40 mm, 最佳的切削方式是沿结壳厚度切削^[1]。为达到钴结壳的实时优化开采, 一个高精度、实时的微地形探测系统是整个采矿系统的关键^[2]。微地形探测系统的目的是实时提供高精度的微地形数据, 从而为提取地形特征, 得到前方地形的最优切削深度并控制采矿头提供依据。

传统的水下地形测量采用以船只为平台的声纳技术, 以点、线、面等测量方式获得准确的地形数据, 测量广阔的近海海域不但周期长、成本高, 而且实时性差。卫星海洋遥感技术解决了这些问题, 但该方法受到天气和海水混浊度等条件的限制, 且只适用于浅海^[3]。要实时得到高精度的深海微地形数据, 就要利用水下探测仪, 并采用高速处理器和信号采集器。

笔者结合高速 DSP 技术, 开发量程为 2 000 mm 时测量精度达到 cm 级的水下微地形实时探测系统, 用它来实时探测采矿车前方区域的微地形, 并绘制出三维地形图, 用以计算最优切削深度, 使采矿系统的控制机构精确控制采集头的

切削深度, 以达到对矿石的高效采集, 为深海采矿系统自动采矿过程的实现提供了重要支持。

1 系统设计要求

本系统的设计目标是针对深海钴结壳实际开采需要, 结合摆动式单探头单波束超声测距技术, 实现对采集头前方地形的实时探测, 以便能及时控制采矿头的精确浮动, 使整个采矿系统能自动、高效的进行深海采矿作业, 并为以后的采矿系统路径规划和越障研究提供依据。

1.1 高精度要求

根据资料显示, 钴结壳大多呈斑块状附存于硬质基岩上, 少数为不规则球状、块状、盘状、板状和瘤壳状, 厚度一般为 20 ~ 60 mm, 在水深 800 ~ 1 500 m 的高集区, 壳厚可达 100 ~ 200 mm。这就要求最优切削深度的计算必须具有很高的精度。

1.2 实时性要求

根据中南大学机电工程学院设备工程研究所设计的螺旋滚筒式采矿系统, 随着海底微地形起伏, 该系统能自动调整切削头的切削状态。采矿系统的切削头的切削过程如图 1 所示。

当螺旋滚筒切削头在破碎钴结壳时, 采用阶段式、平行于截面(地表面)的直线运动方式。采矿车以一定速度前进, 微地形探测系统在采矿车的带动下一起向前运动, 切削头先在 AB 段

收稿日期: 2008-04-30; 修订日期: 2008-07-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50474052)

作者简介: 卜英勇(1944-), 男, 安徽芜湖人, 中南大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为深海采矿装备、设备状态检测与故障诊断。

进行切削;当到达 CD 段时,由微地形探测部分提供该段地表高程数据,并实时重构微地形,计算该段微地形的最佳切削深度,将该深度值发送到切削头控制机构中,控制机构按照接收到的切削深度调整切削头的高度,使之沿 CD 平面进行切削;到达 EF 段后,由于该段微地形的特征再次改变(钻结壳基岩高度升高),切削头再根据控制指令进行浮动,重新调整切削头的切削高度,使之沿 EF 平面进行切削。

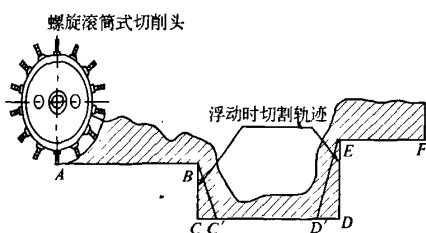


图1 切削头分阶段切削示意图

Fig.1 The sketch map of grading cutting process

为了保证采矿系统能一直在连续工作,微地形探测和最优切削深度计算必须要能实时进行。高精度意味着高采样率,而高采样率则对每个位置点的高程值计算带来极大的运算量,系统的实时处理能力要能满足这一要求。

2 硬件设计

2.1 微地形探测方案设计

微地形探测的本质是要得到 DEM 高程数据。经过对各种方法的分析和比较,本课题组研制了一种基于互相关理论的摆动式单探头单波束超声测距装置,该装置选用了收发一体式超声波换能器,换能器在距离地面为 1 600 mm 的高度发射超声波时,在地面的辐射直径为 50 mm,探头摆动范围为 $\pm 10^\circ$ 。根据实际要求,深海钻结壳采矿车合适前进速度为 50 ~ 100 mm/s。一般认为在精度要求比较高的情况下,DEM 高程数据间隔应为 10 ~ 50 mm。因此,在速度适宜的情况下,采矿车前进引起的测线偏移可以忽略。综合上述因素,笔者设定探头每次摆动角度为 0.5° ,微地形探测系统需要在 1 s 内完成 40 个位置点的高度测量,即能在 0.025 s 内处理完一个位置点。这样就可以形成 X 方向大约 15 mm, Y 方向 50 mm 的数据网格,从而保证重构地形的精确性。

在 A/D 转换方面,为了满足精度上的要求,笔者选用了一种 14 位数据精度、最高采样率为 10 Msps 的双通道采集卡 AD9240M,实际采样率

为 8 Msps。微地形探测大致需要数据采集、互相关计算、DEM 数据生成、数据上传和三维地形显示几个过程。其中互相关算法会带来巨大的计算量。为了满足实时性,根据计算最终选定主频为 1 GHz 的 32 位定点 DSP—MS320C6416 作为核心处理器,可以实现 1 s 内对 40 个测点的实时处理。

2.2 硬件平台搭建

综上所述,笔者以合众达公司的 SEED - DEC6416 DSP 模板和 AD9240M 为基础,结合单探头单波束超声探头搭建了系统硬件平台,系统框图如图 2 所示。

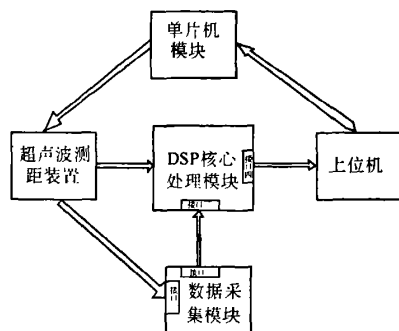


图2 微地形探测系统框图

Fig.2 The structure of inv terrain detect system

其中接口一是超声测距装置和数据采集模块之间的接口。超声测距装置的信号通过 BNC 接口引出,而 AD9240M 的输入信号接口为 50 Ω 的 SMA 接口。因此采用了一个 BNC - SMA 的转接头,实现信号从超声装置到 A/D 卡的传输。

接口二和接口三是数据采集模块和 DSP 模块之间的接口,其作用是用于传输 A/D 转换后的数字信号。本方案选择合众达公司的 DSP 板和采集卡,而 AD9240M 的数据总线接口可以与 DEC6416 的 EMIFB 接口实现无缝连接,从而能通过 EMIF 总线高速地传输数据。

接口四是 DSP 模块与上位机之间的通信接口。DEC6416 提供 2 路 RS232 通信接口,传输速度可达 1.5 Mspsbaud,可实现与上位机通信,传输速度也可满足要求。

根据搭建好的硬件平台,设计系统详细工作步骤如下:

1) 上位机发出指令给单片机,控制超声波水下测距装置的启动。当单片机发脉冲给测距装置后,测量开始,测距装置在开始探测每个点的同时发送同步信号到 DSP。

2) DSP 接收到同步信号后,控制数据采集芯

片开始工作,数据同时通过 EDMA 传输到 DSP 内部存储器。

3) DSP 按既定步骤对数据进行预处理,包括滤波、互相关、渡越时间和位置点高程值计算。

4) 当规定范围内的一组 DEM 数据形成后,开始对该组数据进行分析、插值处理,形成符合要求的 DEM 数据包。

5) 将 DEM 数据包上传到主机,然后进行下一组数据的处理。

6) 上位机接收到 DEM 数据后,进行微地形重构,然后等待下组数据的到来。

3 软件设计

3.1 下位机 DSP 数据处理模块设计

笔者设计的微地形探测系统功能比较复杂,而传统的围绕顺序处理和循环来构建 DSP 应用软件的开发途径不能满足要求。

对于这种实时多任务应用,采用基于 DSP 的实时内核 DSP/BIOS 来设计应用软件。在传统的开发过程中,用户自己的程序完全控制 DSP,软件按顺序依次执行;而基于 DSP/BIOS 的应用程序中,由 DSP/BIOS 控制 DSP,程序按任务中断的优先级排队等待执行。

以下是在本系统中配置的 DSP/BIOS 对象:

1) 软件中断 processSwi,运行 Dataprocess 函数,负责信号预处理。

2) 软件中断 datasendSwi,在条件满足时向上位机传送数据,通过信号量 mailbox 与 processSwi 进行通信。

3) 两个数据管道 Rxpipe 和 Txpipe, Rxpipe 负责从采集卡接收数据到应用程序, Txpipe 则负责将处理好的数据上传到主机。

4) 4 个硬件中断,对应 DEC6416 模板的 EXT - INT4、EXT - INT5、EXT - INT6、HWI_INT8。其中 EXT - INT4、EXT - INT5 用来触发采集卡到 DSP 的数据传输,中断源是采集卡上 FIFO 的快满信号。EXT - INT6 由同步信号触发,用来控制采集卡工作。在 DEC6416 中,这 3 个中断源复用 HWI_INT7 信号,三者是与的关系。HWI_INT8 则用于 EDMA 传输中断。

具体软件流程图见图 3。

3.2 上位机 PC 接收显示模块设计

在 DSP 中处理得到 DEM 数据后通过异步串口(RS232)上传至上位机(PC),上位机负责接收数据,并在地形宽度满足设定值时重构出所测地

万方数据

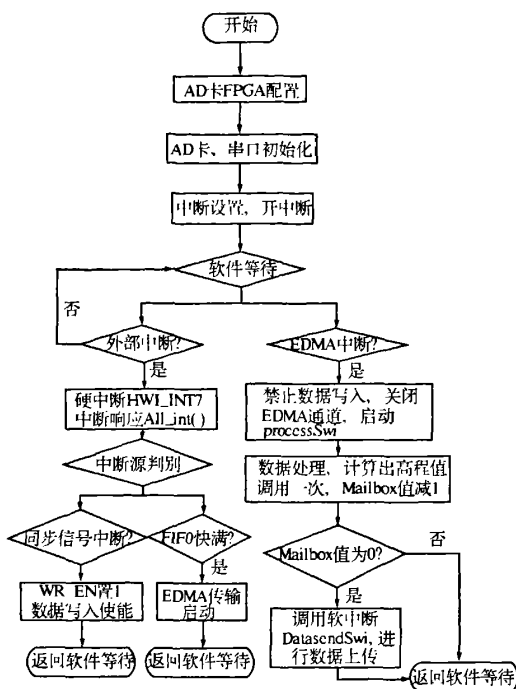


图3 DSP 程序流程图

Fig.3 The flow chart of DSP program

段的三维地形。PC 软件模块通过 VC++ 6.0 平台编写, 主要实现串口通信和地形显示两内容, 其编程思想为: 通过对话框实现对串口的初始化及其他相应设置; 程序中调用 VC++ 6.0 中的 MSComm ActiveX 控件实现串口通信, 并保存接收到的数据; 通过动态连接库在 VC++ 6.0 中调用 MATLAB 的画图功能, 最终得到重构的三维地形。该部分软件的流程图如图 4 所示。

4 试验与验证

在系统软件、硬件均调试成功的情况下, 进行了模拟试验, 以验证该系统的探测精度和实时性。

试验内容是用钻结壳模拟料组成随机地形, 先用手工测出高程数据, 然后将模拟料放入水池中, 用微地形探测系统进行探测, 将探测数据与手工数据进行对比。其中, 手工数据的测量是通过探针法, 结合基准高度, 得到 Y 方向间隔为 50 mm, X 方向间隔为 25 mm, 网格大小为 25 × 24 的 DEM 高程数据。探测数据通过本系统测量得到的, 设定超声探头每次摆动 0.5°, 1 s 内探测 1 排 40 个点, 实验台以 50 mm/s 的速度匀速前进, 结合基准高度, 得到 Y 方向间隔为 50 mm, X 方向间隔为大约 15 mm, 网格大小为 25 × 40 的 DEM 高程数据。图 5 和图 6 分

别是实际地形和探测系统得到的三维地形图。

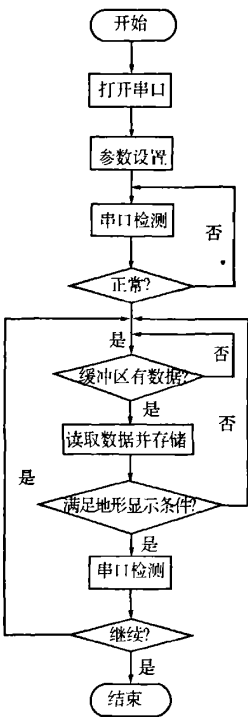


图 4 PC 程序流程图

Fig. 4 The flow chart of PC program



图 5 实际地形图

Fig. 5 Actual terrain

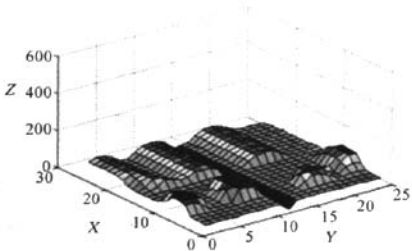


图 6 探测得到三维地形图

Fig. 6 Three-dimensional terrain map after detected

地形的体积量和表面积是与最优切削深度密切相关的两个量,它们可以通过对每个网格所形成四棱柱的体积和表面积进行累加求得,下面就这两个量对真实地形和系统探测地形进行了比较分析,结果见表 1。

表 1 系统探测微地形与真实微地形几何量对比

Tab.1 Contrast between actual tiny terrain and detected

$V_{\text{实}} / (10^7 \text{ mm}^3)$	$V_{\text{测}} / (10^7 \text{ mm}^3)$	体积误差 / %	$S_{\text{实}} / (10^5 \text{ mm}^2)$	$S_{\text{测}} / (10^5 \text{ mm}^2)$	表面积误差 / %
2.060	1.891	8.21	5.922	6.318	6.69

试验结果表明:笔者设计的微地形探测系统在误差范围内能如实反映出真实地形的起伏特征与基本尺寸,精度达到 cm 级,所测数据并无丢失或覆盖情况,在精度和实时性上都能满足设计要求。

5 结束语

实时准确的水下微地形探测系统是在深海采矿过程中实现最优切削的关键所在,笔者根据要求所设计的软、硬件系统保证了探测结果的准确性和实时性,尤其是高速信号处理器 DSP 的使用,使该系统能及时反映前方地形以计算最优切削深度,从而为快速精确地控制采矿头的浮动提供了保障。

参考文献:

[1] 何清华,李爱强,邹湘伏.大洋富钴结壳调查进展及开采技术[J].金属矿山,2005,347(5):4-7.
[2] 卜英勇,任凤跃,罗柏文,等.基于 Avs/Express 三维显示的机械式微地形探测仪研制[J].矿山机械,2005,33(12):6-8.
[3] 张宁川,梁开龙.利用雷达图像探测浅海地形技术综述[J].测绘通报,2003,5(5):13-16.
[4] 秦宜云,卜英勇.大洋富钴结壳实时开采切削深度优化分级模型研究[J].海洋工程,2005,23(8):99-104.
[5] 田黎育,何佩琨,朱梦宇.TMS320C6000 系列 DSP 编程工具与指南[M].北京:清华大学出版社,2006.
[6] 彭启琮,张诗雅,常冉,等.TI DSP 集成化开发环境(CCS)使用手册[M].北京:清华大学出版社,2005.
[7] Texas Instrument. TMS320C6000 DSP/BIOS Application Programming Interface (API) Reference Guide [R]. 2004.

(下转第 65 页)

好地完成摩擦力的测定。

参考文献:

- [1] KHANNA R, BASU B. Sliding wear properties of self-mated yttria-stabilized tetragonal zirconia ceramics in cryogenic environment[J]. J of the American Ceramic Society, 2007, 90(8):2525-2534.
- [2] 姜春华, 李长生, 仇国泉, 等. YBa₂Cu₃O_{7-δ} 的低温摩擦学性能[J]. 超导技术, 2006, 34(4):289-298.
- [3] 古乐, 王黎钦, 李秀娟. 超低温环境固体润滑研究的发展现状[J]. 摩擦学学报, 2002, 22(4):314-319.
- [4] 王乐轩. 斯特林循环三空间低温气机结构、热力参数方程[J]. 郑州大学学报:工学版, 1982, 22(2):27-39.
- [5] 陈国邦, 张鹏. 低温绝热与传热技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 张福祉, 石秉三. 低温技术原理与装置[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [7] 黄长艺, 严普强. 机械工程测试技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

Design of Tribological Test System in Super Cryogenic Environment

PENG Nan, ZHANG San-chuan

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: With the development of the liquid hydrogen new energy technique, it became necessary to establish the super cryogenic machine element design theories by investigating and studying tribological mechanism of lubricating material or parts and its surface coat in the super cryogenic environment. To satisfy the super cryogenic tribological test's demand, we applied the design principle of the pin-dish friction pair dipped directly into super cryogenic fluid, and a kind of the super cryogenic tribological test system was designed, Which consisted of the tribological test machine by outside driving and the open type provision system of cryogenic environment and friction force detection system. Its struction is simple and operating being convenience, and it is suitable for the tribological test in special operating mode under various environments.

Key words: tribological testing system; super cryogenic; liquid-nitrogen refrigerating; mechanical design

(上接第46页)

Design of Underwater Real-time Tiny-terrain Detection System Based on TMS320C6416

PU Ying-yong, CHEN Xu, ZHOU Mu-rong, ZHANG Tao

(College of Electromechanical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: With the technology of rotating single-beam ultrasonic range finder, a scheme of underwater tiny terrain detection system based on TMS320C6416 was put forward and the hardware and software of the system were realized. The most optimized cut depth of the terrain ahead can be calculated by using the tiny terrain data with cm-grade precision detected by the system, then precise control of the mining head can be achieved in the deep-sea cobalt crust mining process, which leads to the most optimized cutting. The experimental results prove that real-time detection of the terrain ahead can be accomplished by the system when the test-bed is moving at a speed of 50mm/s and three-dimensional terrain map can be plotted after the moving distance reaches the setting value and the error is small, which can meet the practical requirement of cobalt crust mining.

Key words: cobalt crust; tiny terrain; height; real-time; DSP