

基于 DSP 的综放煤岩识别系统^①

汪玉凤, 夏元涛, 王晓晨

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

摘要: 提出并设计了一种能够实现综放煤岩自动识别功能的系统。该系统采用 TLC320AD50C 和 TMS320VC5402DSP 对采集的声波信号进行处理, 在此基础上, 将独立变量分析 (ICA) 理论中的 FastICA 算法应用其中完成软硬件设计。该系统具有较高的实时性和算法处理能力, 能够准确地实现煤岩识别。

关键词: TLC320AD50C; TMS320VC5402DSP; 独立变量分析; FastICA; 煤岩识别

Coal and Rock Identification System of Fully Mechanized Mining Based on DSP

WANG Yu-Feng, XIA Yuan-Tao, WANG Xiao-Chen

(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: This paper introduces and designs a system that it is able to achieve coal and rock automatic identification of fully mechanized mining. The system uses TLC320AD50C and TMS320VC5402DSP for processing sonic signals gathered. On that basis, FastICA algorithm of Independent Component Analysis (ICA) is applied in coal and rock interface identification. At last, the design of the soft and hardware also is completed. The system has the high real-time and algorithm processing ability, which is able to achieve coal and rock identification accurately.

Key words: TLC320AD50C; TMS320VC5402DSP; ICA; FastICA; coal and rock identification

综放采煤是一种高产、高效的采煤方式, 是在目前很多煤矿生产中应用广泛, 及其重要的采煤方法。在实现综放采煤自动化的过程中, 如何根据煤炭放落程度控制放煤口的放煤时间是该方法的难点。当前, 我国综放采煤的放顶过程完全是人工操作控制的, 所以, 工作质量的随机性大, 很难达到理想的控制效果。放顶不足会造成煤炭回收率的降低; 过量放顶会因大量岩石的混入而造成煤炭质量的下降^[1], 本文利用放顶煤过程中垮落的煤和矸石的声波特点, 应用独立分量分析 (Independent Component Analysis, ICA) 方法对煤岩混合声波信号进行分离, 根据煤岩下落时产生的声波信号频谱差异, 对顶煤中的含矸率进行初步判断, 从而了解放落程度并加以控制。由于放顶煤过程控制时间要求严格, 这就要求控制器具有很快的处理速度, 为此, 本文采用 TI 公司的 TMS320VC5402DSP 作为主控制器, 其具有强大的数据处理能力和高运行速度,

可以快速地实现分离煤岩声波信号的 FastICA 算法, 同时为了保证声波数据的转换精度和速度, 采用 TLC320AD50C 作为模数转换器。该系统可以便捷地实现煤岩声波信号分离。

1 系统硬件设计

1.1 系统总体构成

根据统计研究, 煤放落时, 产生的声波信号频率一般在 0.8-2kHz, 而矸石放落产生的声波信号频率在 2kHz 或 3kHz 以上。可见, 根据煤和矸石下落时产生的声波信号的频谱差异进行自动识别煤岩界面的这一方案是可行的。本文设计了一个能完成煤岩两路混合声波信号盲分离的硬件平台, 本系统的组成原理框图如图 1 所示。

由声波传感器采集到的两路混合声波信号经过调理电路后进入 AD 转换, TLC320AD50C 将接收到的

^① 基金项目: 辽宁工程技术大学创新基金(Y201000407)

收稿时间: 2011-03-04; 收到修改稿时间: 2011-04-02

模拟信号保持、采样、量化后，由 DSP 内部的多通道缓冲串口 McBSP 和 DMA 将数据发送给 DSP 处理器，按照下载到 DSP 内部的 FastICA 算法处理后，经过 McBSP 和 DMA 将处理后的数据进行 DA 转换，再经过信号调理电路后模拟输出。

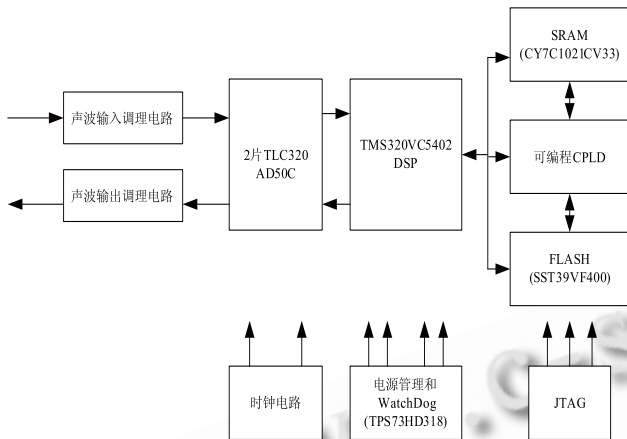


图 1 硬件平台总体结构

1.2 系统总体构成

在本文的盲源声波信号分离系统中，通过 TLC320AD50C 处理数据后，利用 McBSP 和 DMA 来传输处理后的声波数据，在 DSP 内部对其进行算法分离的处理。由于不需要 CPU 的干预，使得 CPU 可以主要处理盲分离算法程序，这样就可以提高了系统的运行效率。

AD50C 的数字串口由移位时钟(SCLK)、帧同步信号(FS)、ADC 通道数据输出(DOUT)、DAC 通道数据输入(DIN)、主时钟(MCLK) 构成。AD50C 以 SPI 方式与 C5402 传输数据，当引脚 M/S=1 时，其工作在主机模式下，可以提供 SCLK 和 FS；C5402 工作在从机模式，CLKX 和 FSX 为输入引脚，在接收数据和发送数据时都由 SCLK 和 FS 提供。

由于要采集两路煤岩混合声波信号，所以本系统采用主从 2 片 AD50C 与 DSP 的 McBSP0 进行连接，AD50C 的采样频率设置为 8kbps，然后以串行方式传给 DSP 进行处理。2 片 AD50C 与 5402DSP 的接口电路如图 2 所示。

主机 FS 连接从机的 FS，这样可实现 C5402 与两片 AD50C 的异步通信。处理器 DX 引脚与两片 AD50C 的 DIN 相连，在初始化寄存器 1, 2, 4 时，两片 AD50C 同时对这 3 个寄存器进行初始化。最后设定

控制寄存器 3 中 FS 到 FSD 的合适的延时值以使两片 AD50C 能将采集的混合煤岩声波数据传输给处理器进行处理。

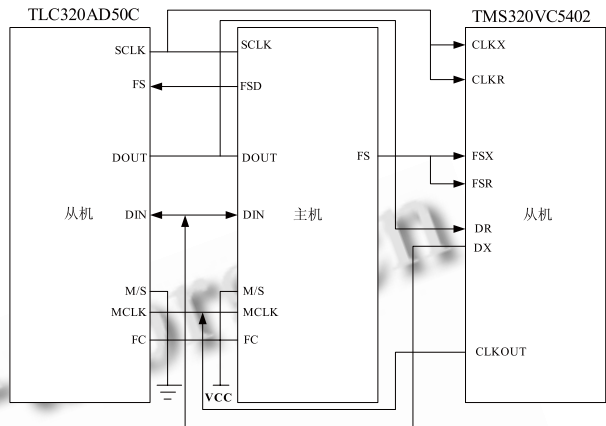


图 2 AD50C 与 C5402 的连接示意图

McBSP 把 AD50C 处理后的数据移入接收移位寄存器，待接收缓冲区满后，产生 DMA 同步事件启动 DMA，然后 DMA 把数据从源地址移到目标地址(数据或程序存储空间)，完成后 DMA 产生中断通知 DSP 进行数据处理；在发送数据时，DMA 把数据从源地址移到目标地址后产生中断，告知 DSP 有数据送到，McBSP 把数据写入数据发送寄存器，用移位寄存器移出发送。此过程如图 3 所示。

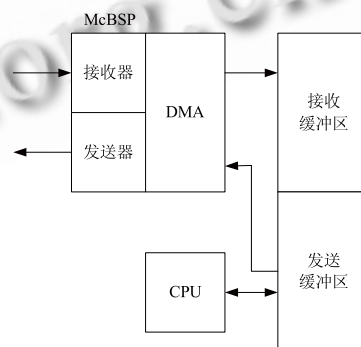


图 3 McBSP 和 DMA 工作过程

2 系统软件设计

2.1 FastICA 算法介绍

在介绍 FastICA 算法之前，先简单介绍一下独立分量分析理论，独立分量分析理论是信号处理领域在 20 世纪 90 年代后期发展起来的一项新处理方法，其标准的独立分量分析模型如图 4 所示。

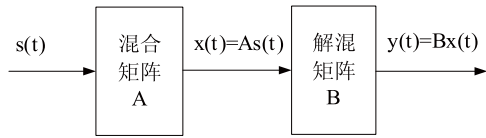


图4 ICA原理框图

$s(t)=[s_1(t), \dots, s_N(t)]^T$ 是原始信号组成的 N 维矢量，他们经混合系统 A 线性混合成 M 维观察矢量

$$x(t)=[x_1(t), \dots, x_M(t)]^T \text{ 即: } x_i(t) = \sum_{j=1}^N a_{ij}s_j(t)$$

$i=1 \dots M$ 简记作: $x(t) = As(t)$

式中 A 是 $M \times N$ 混合矩阵。已知 $s_j(t)$ 是相互独立的。现在的任务是要求只依据 $x(t)$ 通过另一矩阵 B (解混矩阵) 把各 $s_j(t)$ 估计出来。即: $y(t)=[y_1(t), \dots, y_N(t)]^T$ 是解混后的输出, $y(t) = Bx(t)$, B 是 $N \times M$ 阵。要求 $y(t)$ 尽可能地逼近 $s(t)$, 但容许两者中各分量排序不一定相同, 比例尺也不一定相同^[2]。

由于解混时除各 $s_j(t)$ 互相独立外, 对 $s(t)$ 与 A 无其他先验知识, 又由于分解结果要求 $y(t)$ 中各分量互相独立, 故称“独立分量分析”。

而 FastICA 算法正是独立分量分析理论中一种重要的固定点算法。该算法基于非高斯性最大化原理, 使用固定点(Fixed-Point)迭代理论寻找 $W^T x$ 非高斯性最大值, 采用牛顿迭代算法对观测变量 x 的大量采样点进行批处理, 每次从观测信号中分离出一个独立分量, 是独立分量分析的一种快速算法^[3]。本文采用基于负熵极大的 FastICA 算法来分离煤岩声波混合信号, 其算法步骤如下:

1. 对观测信号进行中心化, 白化预处理, 得到 z ;
2. 初始化权值向量 $w(0)$, 并令 $\|w(0)\|=1$;
3. 调整 w : $w(m+1) = E\{zg(w(m)^T z)\} - E\{g(w(m)^T z)\}w(m)$;

$$E\{g(w(m)^T z)\}w(m);$$

4. 归一化: $w(m+1) = w(m+1) / \|w(m+1)\|$;
5. 如果算法没有收敛, 则转到步骤 3 再次迭代;
6. 算法收敛, 求出一个独立变量 $y = w^T z$ 。

FastICA 算法可以通过上述步骤一个一个估计独立分量, 即一次迭代出权值向量, 构成 ICA 分离矩阵 W 的行向量^[4]。

2.2 软件设计

煤岩声波信号分离系统的软件平台如图 5 所示。两路煤岩混合声波信号首先通过 AD50C 数字化处理, 再经过 McBSP0 进入接收寄存器 DRR 中, 经由 DMA 传输, 触发接收硬件中断, 执行串口接收中断 ISR 将接收到的数据传送给 RxPipe, 并同时改变软件中断 FastICA SWI 中邮箱的值。当邮箱的值变为 0 时, 条件触发软件中断, 进行混合声波盲信号分离处理, 分离出来的数据放到 TxPipe 中, 然后再由串口发送中断 ISR 将 TxPipe 中的数据经由 DMA 放入 DXR 中, 再经过 AD50C 模拟化处理, 最后由扬声器输出。

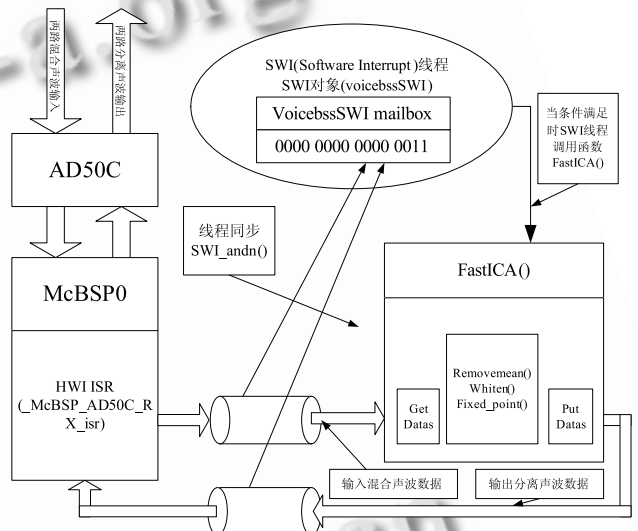


图5 两路混合声波信号盲源分离软件平台

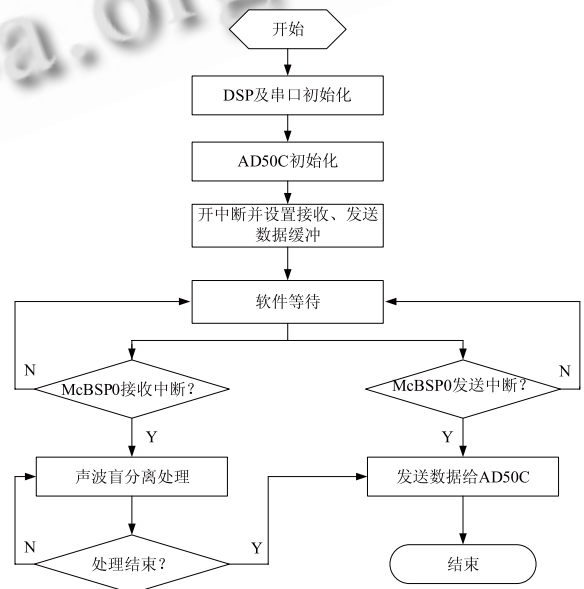


图6 实时声波盲信号分离程序流程图

实时煤岩声波盲信号分离程序的软件流程图如图 6 所示, 从图中可以知道, 主函数只进行了一些初始化编程, 对于具体算法的实现和数据的传输都是由其它线程来完成的, DSP/BIOS 负责调度它们^[5]。

基于负熵极大的 FastICA 算法程序比较复杂, 除了涉及到大量的乘加运算外还包括了一些数学函数的运算, 矩阵运算等, 为此本文采用 C 语言来编程, 程序流程图如图 7 所示。

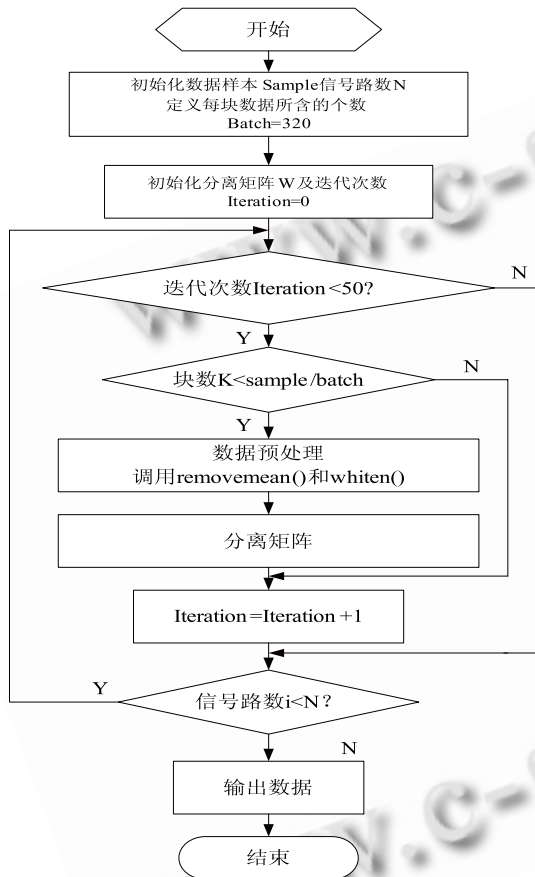
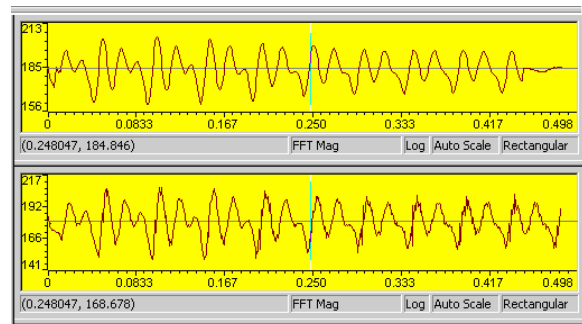


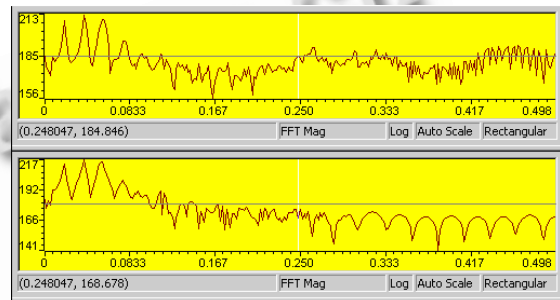
图 7 FastICA 程序流程图

3 CCS 实验结果

利用两段实际煤岩声波信号进行实验, 首先声波传感器将采集的声波信号进行预处理之后, 传给 DSP, DSP 会产生 1 个随机的矩阵对源信号进行线性混合, 得到观测信号, 再通过嵌入在 DSP 中的 FastICA 算法对其进行分离处理, 在 CCS 中显示的分离结果与源信号波形如图 8 所示。



(a) 源信号 1 与分离信号 1



(b) 源信号 2 与分离信号 2

图 8 源信号与分离信号对比图

对分离出的两个信号分别进行功率谱估计, 如图 9 所示。

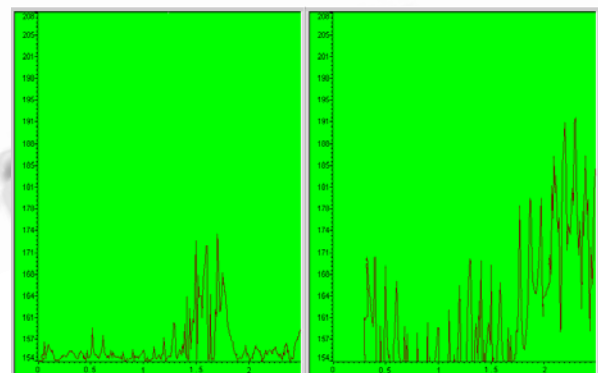


图 9 功率频谱图

从图 8, 图 9 可以看出, 经过基于负熵极大的 FastICA 方法分离出的信号与源信号波形大致相同, 两个分离信号的频谱能量集中点分别在 0.8-2kHz 和 2-3kHz 区域, 符合统计结果。由此可见, 本文设计的综放煤岩识别系统对煤岩混合声波信号进行分离是可行的。

(下转第 159 页)

日常维护中所需要的维护时间明显缩短。

3 结语

结构良好的开发模型及组件技术可以提供更好的维护性,使软件开发及维护更容易,更具有应用价值。设计模式的使用能使模型结构变得更简洁、更易于理解,其中 OCP(“开--闭”原则)是面向对象可复用的基石,采用遵循 OCP 原则的模型可以有效地提高系统的复用性,同时提高系统的可维护性。目前,该模型已经应用到辽河流域水环境预警系统中,但是在配置文件管理,系统响应效率等方面还有进一步的改进空间。

参考文献

- 1 孙卫琴.精通 Struts:基于 MVC 的 Java Web 设计与开发.第 2 版.北京:电子工业出版社,2004.98-101.
- 2 孙咏.基于 OCP 软件应用架构的设计与实现[博士学位论文].北京:中国科学院研究生院,2009.
- 3 阎宏.JAVA 与模式.北京:电子工业出版社,2002.41-44.
- 4 郑志远.组件化在 J2EE 中的应用[博士学位论文].厦门:厦门大学,2008.
- 5 李俊峰.MVC 设计模式在 web 中的复用研究与实现[博士学位论文].武汉:华中科技大学,2007.
- 6 刘晓文,蒋泽涛,等.一种基于复用组件的 WEB 测控软件架构设计.微计算机信息,2007,22(2):300-305.
- 7 Wang XB. Research and Implementation of Design Pattern-Oriented Model Transformation.Computer Society: 2008,18(4):73-76.
- 8 王超,梁义芝.基于 WEB 数据库的软件配置管理研究.计算机与数字工程,2010,(1):85-86.
- 9 裴树军,陈德云,陈晓雪.软件配置管理在软件开发平台中的应用.哈尔滨理工大学学报,2010,(2):65-69.
- 10 Liang P, Li JY. A Change-Oriented Conceptual Framework of Software Configuration Management. Computer Society: 2009,14(8):85-88.

(上接第 43 页)

3 结语

本文设计的基于 DSP 的煤岩识别系统能够有效地分离煤岩混合声波信号,在这个系统的基础上,如果在加上更有效的分离算法,还可以进一步提高系统的准确性和实时性。此系统的实现对煤矿自动化的发展有着重要的实际应用价值。

参考文献

- 1 任芳,杨兆建,熊诗波.国内外煤岩界面识别技术研究动态综述,2001,10(4):54-55.
- 2 杨福生,洪波.独立分量分析的原理与应用.北京:清华大学出版社,2006.
- 3 申丽岩,方滨,沈毅.基于负熵极大的独立分量分析方法.中北大学学报,2005,26(6):396-400.
- 4 张倩蓉,王新新.混合语音信号的盲分离.山西电子技术,2008:16-17.
- 5 赵加祥.DSP 系统设计和 BIOS 编程及应用实例.北京:机械工业出版社,2008.219-230.