

基于噪声信号的振捣棒工作状态判定方法

郭小青 李东新 田正宏 金薛冬
(河海大学计算机与信息学院 南京 211100)

摘要:在混凝土施工过程中,对振捣棒的精确定位和其有效的状态判定是保证混凝土浇筑振捣质量效果的重要保证。在振捣棒分别处于混凝土中(有载)和未处于混凝土中(空载)时,人耳可以明显感觉出来振捣棒振动产生的两种噪声有一定的区别。在 MATLAB 平台上对采集到的两种噪声样本信号进行时频转换,观察其频谱和能量集中度来分析振捣棒两种工作状态噪声特点,得到这两种噪声的判定标准,利用 DSP 强大的数字信号处理功能来实现有效判定,为振捣棒的工作状态判定提供准确有效的监测。

关键词:振捣棒;噪声;有载;空载;MATLAB

中图分类号: TN911.72 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4040

Vibrator rod state determining method based on the noise signal

Guo Xiaoqing Li Dongxin Tian Zhenghong Jin Xuedong
(College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In the process of concrete construction, it is an important guarantee for ensuring the quality of the concrete pouring and vibrating effect to get the vibrating rod and the precise positioning of the effective state determination. It's obvious for people to distinguish two kinds of noise when the vibrating rod is in the concrete (load) or not in the concrete (no-load). A new approach of effective judgment on the vibrator working state is developed by time-frequency conversion, the analysis of frequency spectrum and the analysis of encircled energy.

Keywords: vibrator; noise; load; no-load; MATLAB

1 引言

在建筑行业,混凝土生产、施工和检测各个环节均暴露出缺乏有效的监管,尤其在混凝土施工质量要求中,精确定位和有效状态判定是评价混凝土浇筑效果的重要方法。但是在混凝土施工过程中,传统施工规范只是笼统要求以交错方式快插慢拔,无法做到位置、深度和振捣时间的精准把握,往往多为经验操作,受人为因素与工作条件影响很大,振捣技术要求也会相应改变,工人很难在不同条件下采取正确合适的振捣方式,且浇筑工艺具有不可逆特点,一旦振捣工艺不满足技术要求,则无法及时判断和处理,从而留下质量缺陷,而且目前国内外并没有精确的技术解决方案,在传统的工程施工领域中,成功的在线监测系统的案例较少。如果利用现代电子技术以及数字信号处理方法来对施工质量进行信息化监测^[1-3],可以有效的解决人为不能解决的问题,为施工质量提供保障。本文基于现代电子技术和数字语音信号处理,通过研究分析振捣

棒的两种工作状态时产生的噪声频谱特征^[4]来有效判定振捣棒的工作状态,实现实时对振捣棒振捣状态的监测。

2 噪声采集分析

在本设计中,考虑通过实时采集噪声信号并处理来进行状态的判定。在振捣棒分别处于空载和有载工作状态时,人耳可以明显感觉出来振捣棒振动产生的两种噪声有一定的区别,因此,考虑先通过提取噪声的相关特征进行分析。

首先,先通过手机录音的方式录取混凝土施工现场的两种工作状态时噪声的音频文件,然后在实验室中通过 MATLAB 编程仿真进行分析。在现场采集声音时,将采样设备与振捣棒距离设置为 1.5 m 左右,选取采样频率为 44.1 KHz,在仿真分析时对采集到的音频文件进行分段,按时长 500 ms 进行随机截取作为分析的样本,其中抽取信号样本共 7 段,在 MATLAB 上进行仿真^[5-6],空载和有载的样本信号的频谱分别如图 1 所示。

收稿日期:2016-05

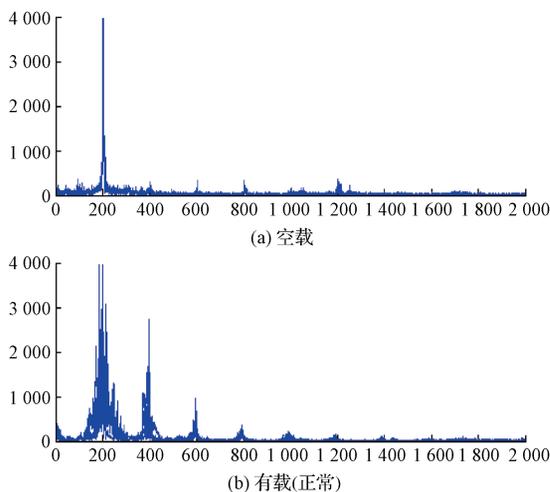


图1 噪声信号频谱分析

根据频谱分析^[7]可以看出,无论空载还是有载,噪声信号的主频都在 200 Hz 附近,这是因为所选用的 ZDN50 型高频振捣棒额定转速是 12 000 r/min,即 200 r/s。通过频谱对比,发现以下规律:对于 400 Hz 和 600 Hz 的谐波分量,空载谐波分量幅值较小,有载谐波分量幅值较大;200 Hz 主频附近,空载状态下只有单一峰值;对于有载,除 200 Hz 主峰以外,200 Hz 附近频率信号幅值也普遍较高。由此,通过以上规律来进行方案设计,但是在具体方案确定之前,需要考虑到以下几种重要因素:

1) 噪声信号在空气中传播时会随着距离而衰减;

2) 噪声信号经过 FFT 变换后得到的 Y 轴的峰值会受到样本信号的时长和采样频率大小的影响;

综合以上的影响因素,为了使最终的方案尽可能的简单,减少未来程序设计的复杂度,考虑采用使用一个相对不变量作为判断依据。经过观察图 1 噪声信号的频谱,考虑对 200 Hz、400 Hz 和 600 Hz 附近信号的能量集中度作为判断依据,即通过比较 $[middle-shift1, middle+shift1]$ 统计频率内 FFT 变换得到的信号幅值总和在 $[middle-shift2, middle+shift2]$ 之间比例,其中,根据频谱分析和多次对 shift1 和 shift2 值的设定,最终决定在 $middle = 200$ Hz 时,选取 $shift1 = 50$ Hz, $shift2 = 100$ Hz,测试的 7 段样本信号有载和空载统计结果如表 1 所示;当 $middle = 400$ Hz 和 600 Hz 时,我们选取 $shift1 = 20$ Hz、 $shift2 = 50$ Hz,测试的 7 段样本信号有载和空载统计结果如表 2 和表 3 所示。如图 2 所示 7 段样本信号在各个频率中心能量集中度的折线图。

由图 2 可以观察到每个中心都有一个很明显的有载和空载状态区分界限,设定 3 个频率中心的有载空载区分界限分别为 $K_{rate0} = 65\%$ 、 $K_{rate1} = 57\%$ 和 $K_{rate2} = 60\%$ 。噪声信号采集进来以后,基于频域中以上 3 个中心频率得到 3 个判定结果:有载为 1(真),空载为 0(假)。 $middle = 200$ Hz 时,统计频率 $[150, 250]$ 之间的信号经 FFT 变换以后的幅度和在 $[100, 300]$ 之间的比例,以 65%

表 1 中心频率为 200 Hz 统计结果

分组	空载能量集中度	有载能量集中度
1	0.587 1	0.741 2
2	0.566 8	0.796 8
3	0.599 0	0.773 9
4	0.584 9	0.797 3
5	0.602 2	0.753 2
6	0.604 8	0.678 2
7	0.595 2	0.718 6

表 2 中心频率为 400 Hz 统计结果

分组	空载能量集中度	有载能量集中度
1	0.507 2	0.608 8
2	0.457 0	0.680 2
3	0.524 6	0.622 8
4	0.493 6	0.733 7
5	0.493 1	0.687 2
6	0.454 0	0.675 4
7	0.512 0	0.648 3

表 3 中心频率为 600 Hz 统计结果

分组	空载能量集中度	有载能量集中度
1	0.488 4	0.694 9
2	0.575 9	0.703 3
3	0.508 7	0.657 0
4	0.561 5	0.699 2
5	0.539 4	0.675 0
6	0.534 2	0.753 1
7	0.504 8	0.784 9

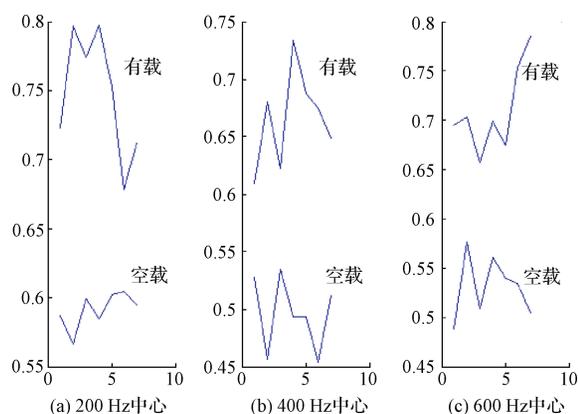


图 2 各频率附近信号能量集中度

做界限,大于为真,小于则为假;middle=400 Hz时,统计频率[380,420]之间的信号经FFT变换以后的幅度和在[350,450]之间的比例,以57%做界限,大于为真,小于则为假;middle=600 Hz时,统计频率[580,620]之间的信号经FFT变换以后的幅度和在[550,650]之间的比例,以60%做界限,大于为真,小于则为假。最终,当判定结果至少有两个为真,即认为是有载,否则判定为空载。

3 噪声状态判定程序实现

3.1 硬件平台选择设计

因为数字信号处理器在对信号处理方面的强大优点,适合进行实时数字信号处理,因此采用专用的数字语音开发板:ProWess 木星 VC5402 开发板,该开发板处理器为TMS320VC5402^[8]来作为根据噪声信号进行振捣棒工作状态判断的处理器。该开发板目前只是方案的验证平台,后期将会根据需求来设计制作专用DSP板卡^[9-10]。已使用的开发板资源及结构设计如图3所示。

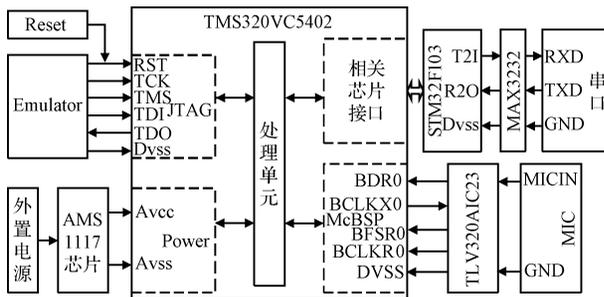


图3 DSP开发板结构

其中,噪声经过拾音器采集,然后通过MIC接口输入到音频编解码器TLV320AIC23,该芯片内置ADC对输入电信号进行模数转换然后通过McBSP将数据传输给DSP处理单元进行处理。MCU STM32F103C8T6主要负责对片相关资源进行控制,RS232串口数据的进出首先就要经过MCU。JTAG主要负责程序的烧写和调试,AM1117芯片主要负责电源电压的转换并起到稳压作用。

3.2 程序设计

在VC5402开发板验证平台上,根据已设计出的设计方案来设计程序,其中程序开发平台为Code Composer Studio v4.12,程序流程如图4所示,板卡上电进行初始化;对多通道缓冲串行口(McBSP)进行配置,接收外部传来的测量;对音频编解码器TLV320AIC23进行相关参数设置,设置需要的采样频率,因为在设计的方案中特征频率小于1000 Hz,所以设置采样频率为4000 Hz或者8000 Hz;根据设计的整体系统数据格式要求我们设置RS232串口相关参数为9600/N/8/1。

数据状态判定设置值为0或者1,即 $zd_status[i] \in (0,1)$, $i=0,1,2$,只有当 $zd_status[i] \geq 2$ 时,判定其工作

状态为有载,反之则为空载。将判定的振捣状态经串口发送至主控板,然后继续采集噪声信号并判定状态。本设计的重要技术在于研究分析振捣棒不同工作状态的噪声特征,利用DSP强大的数字信号处理能力来实现实时对振捣棒工作状态的监测。

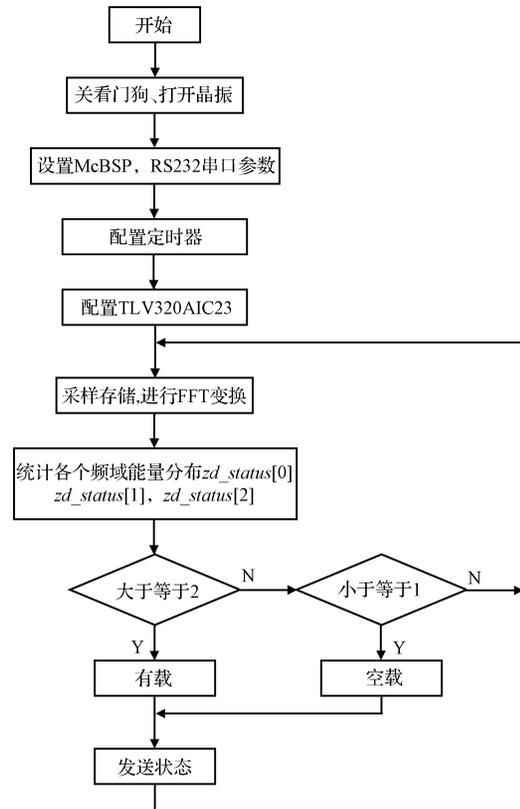


图4 噪声状态判别程序流程

4 噪声状态判定系统测试

统计一段时间内空载和正常有载两种状态下,电脑接收状态总个数以及误判个数,通过对比测得准确率,测试环境为实验室下模拟的混凝土施工环境,一共有5组数据,因为振捣棒工作时其工作时间是不定的,所以在采集数据时每组测试的时长也不同,即每次振捣棒正常工作的时间都不同,其测试结果如表4所示。

表4 噪声检测的状态判定准确率测试

时长	空载准确率(%)	有载准确率(%)
3分43秒	94.61	86.54
5分14秒	95.73	89.23
6分36秒	95.15	87.31
8分15秒	96.20	92.16
9分20秒	97.41	88.62

由表4中所示的测试数据可以看出,在振捣棒进行正常振捣工作的情况下,判断其空载状态的准确率在94%~97%之间,而其正常下有载的准确率介于86%~92%之间,不同测试时长情况下判断空载和有载状态的准确率都在此范围内,说明振捣棒持续工作的时间长短并不会影响本设计方案对其工作状态的准确判定,由此可以保证并不会出现在设备工作时间久的情况下就会出现判断错误的情况,这一点也可以满足项目的基本要求。

5 结 论

本文通过对振捣棒正常工作产生的噪声信号进行分析,根据其显著的能量分布特征作为固定判断标准来实现对振捣棒的工作状态进行判定,通过实时采集信号进行分析和仿真,提取空载和有载这两种状态下信号的特征,最后通过编程并加以实现。在反复试验和模拟测试下,发现有载状态判定的准确率会稍低于空载状态判定的准确率,产生这样的原因是在有载状态下,当振捣棒在同一个地方持续作业时,就会出现过振捣情况,过振捣情况下振捣棒的噪声发生变化,会导致差错。本设计只是简单的利用时频变换和统计各中心频率的能量集中度来分析振捣棒工作状态下的噪声特征,为此类研究提供简单的参考,后期可以尝试更多方法研究其噪声特性来实现振捣棒工作状态进行判定。

参 考 文 献

- [1] 田正宏,边策,邓会江,等. 基于GPS实时定位振捣棒在混凝土中振捣轨迹的方法:中国,201110370446.X[P]. 2012-06-20.
- [2] 尹习双,刘金飞,钟贵良,等. 人工振捣棒实时监测定位系统:中国,201310731200.X[P]. 2014-04-02.
- [3] 田正宏,边策,毛龙,史团委. 混凝土浇筑振捣动态可视化监测方法:中国,201110368967.1[P]. 2012-05-09.
- [4] 俞一鸣. 时频分析简介及应用[J]. 国外电子测量技术,2015,34(6):12-15.
- [5] 余成波. 数字信号处理及MATLAB实现[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [6] 周长敏,唐林海. 基于声卡和MATLAB的噪声信号采集与分析[J]. 电脑知识与技术,2012,8(3):198-200.
- [7] 孙英侠,李亚利,宁宇鹏. 频谱分析原理及频谱分析仪使用原理[J]. 国外电子测量技术,2014,33(7):76-81.
- [8] 戴明植. TMS320C54xDSP结构、原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [9] 王洋,于君,王红亮,等. 基于DSP的车辆噪声信号分析检测研究[J]. 车用发动机,2008(6):73-76.
- [10] 刘岩俊. 基于DSP的嵌入式温度测量系统设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2014,33(1):78-82.

作 者 简 介

郭小青,1991年出生,河海大学硕士研究生,主要研究方向为数字语音信号处理。

E-mail:973003255@qq.com

李东新,1964年出生,副教授,硕士生导师,主要研究方向为应用电子技术、EDA技术及其应用和数字信号处理及DSP应用。

田正宏,1966年出生,河海大学教授,水工结构研究所副所长,中国土工合成材料协防排水专委会秘书长,水工结构工程专业、水利水电工程建设与管理专业博士生导师,主要研究方向为大型土木水利工程施工期安全与质量信息化控制理论与方法。

金薛冬,1994年出生,河海大学硕士研究生,主要研究方向为电路与系统仿真。