

基于自适应滤波的弱声音信号检测研究

Weak sound signal detection based on adaptive filter

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院;3.中海油田服务股份有限公司) 刘立峰^{1,2} 张秋松³

LIU Li-feng ZHANG Qiu-song

摘要: 炼油厂高压容器的泄漏预警检测对于安全生产具有重大的意义,尤其是对布满薄弱管路和人员不易达到的区域检测更是重要。本文介绍了一种基于自适应滤波的泄漏信号检测预警系统,可以准确检测出淹没在强噪声背景中的微弱泄漏信号并及时发出警报,避免事故的发生。同时,系统还具有抗强环境噪声干扰、未知特征频谱分析准确等特点。

关键词: 信号检测; DSP; 自适应滤波; 谱估计

中图分类号: TP274.2 **文献标识码:** A

Abstract: It's very important to detect leakage on high pressure vessels assure no incident in the process of fuel finer field, especially for such section which worker hardly access or full of fragile pips. This paper introduces an alert system based on adaptive filter which can detect weak leak sound signal sunk in strong noise. Beside, it has some advantages such as tolerates strong background noise and judges unpredicted leakage by spectrum analysis.

Key words: signal measurement; DSP; adaptive filter; spectrum analysis

1 引言

当前,随着全世界对石油产品的需求不断增长,给石油企业施加了很大的生产压力。在这种背景下,安全生产更是应当放在首位。炼油厂高压容器虽然配备有各种压力检测仪表,但是对于容器及管路的泄漏检测还是不够完善的,并且由于现场环境的复杂性和泄露信号特征的不可预测性,传统的检测方法难以获得满意效果。因此开发一种能够检测此种泄露信号并及时发出警报的预警系统就具有重大的现实意义。

本文基于自适应滤波信号处理技术,采用嵌入式 DSP 处理器架构,提出了一种可检测微小泄漏声音信号的方案。文章从以下几方面进行论述:未知频谱背景噪声的剔除;微小弱信号特征的提取;泄露信号特征谱分析;分布式嵌入 DSP 系统的实现;文章结尾的实验表明,设计达到了预期的目标。

2 自适应强背景噪声滤波

2.1 泄漏信号与噪声频谱特征分析

炼油厂现场具有非常复杂的背景噪声,不但幅度大而且频谱范围宽,而泄漏信号却很微弱。为了从背景噪声中提取信号,必须分析泄漏信号与背景噪声信号的关系。经过反复测量与分析,得到它们的信号特点,如表 1 所示。

表 1 泄漏信号与背景噪声特征比较

	背景噪声	泄漏信号
信号类型	平稳随机	平稳随机
频谱范围	0.5K-9KHz	2K-6KHz
时变性	弱	随泄漏程度慢变
强度	中	弱

可以看出,信号频谱重叠在噪声频谱中,幅度小于噪声,且信号频谱特征未知,泄漏信号难以检测。为了从背景噪声中分

离出信号,采用信号采集阵列,通过自适应滤波器对噪声信号进行滤波处理。

2.2 自适应噪声滤波器的设计

由于 FIR 滤波器具有处理速度快、易于 DSP 实现的优点,因此采用对消式线性 SAFIR 滤波器,其结构如图 1 所示。具体实现方法如下:

信号采样序列中,第 K 输入向量的输出为

$$y_k = X_k^T W \quad (1-1)$$

这里 $X_k = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, $W = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$ 为期望信号,所以输出误差为

$$\epsilon_k = d_k - y_k \quad (1-2)$$

为了减小误差,定义均方差为

$$J_k = \frac{1}{2} E[\epsilon_k^2] \quad (1-3)$$

对应着权向量的梯度向量为

$$\nabla_k = \frac{\partial J_k}{\partial W} = \frac{1}{2} \frac{\partial E[\epsilon_k^2]}{\partial W} \quad (1-4)$$

最终,权向量的递归方程为

$$W_{k+1} = W_k + \mu(-\nabla_k) = W_k + \mu \epsilon_k X_k \quad (1-5)$$

经过实验,采用自适应噪声对消滤波器,明显消除了背景噪声。同时,遗忘因子 μ 取值为 0.95 即能够保证收敛,又具有较快的收敛速度,避免大幅度地收敛震荡。

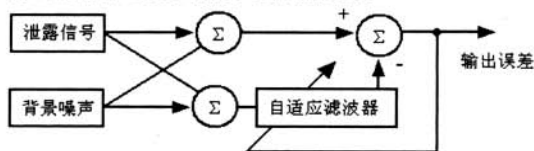


图 1 自适应噪声滤波器框图

3 特征频谱估计与分析

3.1 加窗函数

我们采集的信号只是随机信号的一段,为了减少由于信号的截断而造成的混叠、泄漏和栅栏效应,必须对信号进行加窗处理。常用的加窗函数有哈明窗、克莱曼-哈里斯窗、多夫-切比雪夫窗、Kaiser 窗等。经过实验对比,Kaiser 窗对信号的补偿是效果最好的,其函数为:

$$w(n_{kb}) = \frac{I_0 \{ \pi a [1.0 - (\frac{n_{kb}}{N/2})^2]^{1/2} \}}{I_0(\pi a)} \quad (2-1)$$

经过实验表明,Kaiser 窗的加入使得频谱的谱宽度明显变窄,有效地补偿了频谱泄漏,为谱估计的准确分析提供了更好的原始信号。根据信号的频谱分布特征 α 的取值在1到10区间分别加窗,试验表明 α 为7频谱补偿效果较好。

3.2 特征判断

采集的信号经过自适应滤波,背景噪声已经被大幅度的削弱了,再经过加窗函数的补偿,频谱泄漏也被改善。为了准确判断是否为泄漏信号,必须进行频谱特征分析。泄漏信号属于随机信号,因而采用功率谱密度法。首先对自适应滤波器提取出的信号进行DFT变换,然后求取其绝对值的平方,再进行序列长度的平均即可。频谱分析参数设置为:信号字长16,信号抽样频率24 KHz,抽样点数量1024。根据实验,归纳出泄漏声音功率谱具有以下特征:

- (1) 频谱范围窄,通常小于1KHz,宽度,且较稳定
- (2) 有一到两个慢时变谱峰
- (3) 功率谱峰值中心频率随泄漏程度变化
- (4) 泄漏频谱持续时间长

信号中如果不存在泄漏信号,则不具有以上特征,因此可采用如下算法进行泄漏判断:

(1) 设功率谱向量为 $P_k = [p_1, p_2, \dots, p_n]^T$,对连续采集十次的信号进行求和平均

$$\hat{P}_k = \sum_{m=1}^{10} (p_k) / 10 \quad (2-2)$$

(2) 遍历 \hat{P} ,得到功率谱最大值 \hat{P}_{max} ,并根据下式,由width的非零数统计测量谱峰宽

$$width_k = \begin{cases} 1, & \hat{P}_k \geq \hat{P}_{max}/2 \\ 0, & \hat{P}_k < \hat{P}_{max}/2 \end{cases} \quad (2-3)$$

(3) 如果脉宽与预期的频谱宽度相似且持续周期达到相对时间120秒钟,就可判定泄漏发生,触发报警程序。

4 系统的硬件与软件设计

4.1 系统方案设计

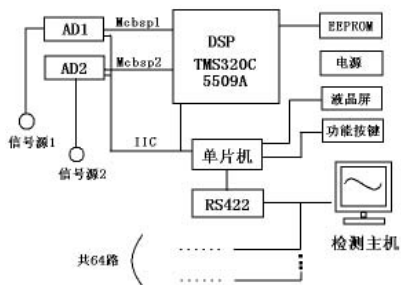


图2 检测单元硬件结构图

由于需要监控的泄漏点比较多,因此采用分布式阵列测量结构,这样在每个采集终端就可以自行对信号进行处理与分析,减轻了总线负载和上位机负载,如图2所示。其中每个检测单元实现一个检测位置的信号采集、滤波、泄漏频谱特征分析

与判断。如果发生泄漏并检测出后,任一单元可通过UART总线把报警消息发送给检测主机。主机界面上以图示的方式显示64个检测点的状态,并在接收到报警消息后发出预警信号提醒操作人员进行处理。

4.2 声音信号DSP采集软件设计

用于声音采集的AD芯片采用TLV320AIC23B,它具有最高96KB的采样速率和最大24位的采集字长,在这里考虑到噪声的频谱范围,采样速率设置为24 KHz。TLV320AIC23B采用maser工作模式,产生采样频率和数据输出时钟,DSP的McbSp进行数据访问,软件实现方法为:

首先,进行片上外设的声明:#include <cs1_mcbSp.h>

然后,初始化McBSP,复位并打开端口:

```
hMcbSp = MCBSP_open(MCBSP_PORT1, MCBSP_OPEN_RE-SET);
```

```
MCBSP_config(hMcbSp, &McbSp1Config);
```

在DSP进行信号采集时启动McBSP:

```
MCBSP_start(hMcbSp, MCBSP_RCV_START | MCB-SP_XMIT_STAT 0);
```

当数据采集完毕,采用如下方法从McBSP读入一个数据存储为采样序列:

```
signal_data = MCBSP_read16(hMcbSp);
```

5 实验结果

为了对系统性能进行验证,建立真实测量环境,一路采集微弱泄露点附近信号,另外一路采集频谱分布与幅度都强得多的背景噪声信号。试验结果如图3所示,其中(a)为淹没在噪声中的原始微弱信号,(b)为背景噪声信号,(c)为微弱信号经过自适应滤波器提取出的结果。

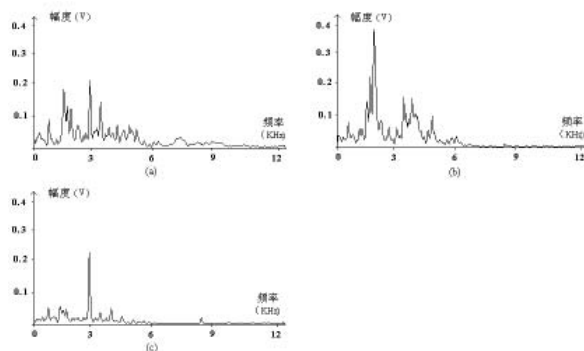


图3 泄露信号检测结果

可见,采用本文介绍的方法,淹没在强背景噪声中的微弱信号被很好地提取出,达到了泄漏频谱检测的目的。

6 结论

实验结果表明,本系统满足了设计要求,可以实际用于炼油厂高压容器与管路泄漏监测。文章的创新点有:完善了炼油厂高压容器的泄漏预警检测,对于安全生产具有重大意义;分析了炼油厂容器泄漏的频谱特征,采用自适应滤波去除了频谱未知的噪声信号;采用Kaiser窗减小了频谱泄漏;基于DSP的单元结构减少了通讯数据量,并分担了测控工作站的运算强度。项目经济效益:70万元

参考文献

[1] Emmanuel C. Ifeachor. 数字信号处理实践方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

(下转第174页)

通过实时监测发动机的转速,可以实现对发动机的整体性能进行测试。例如,根据发动机在空载时,突然打开节气门使发动机从某一转速加速至另一转速,发动机克服惯性和内部摩擦力的加速性能可直接反映出功率大小的原理,可以实现无负荷测功,其计算如式(1)所示。

$$N_{em} = \frac{1}{2} J (\omega_2^2 - \omega_1^2) / (75 \Delta t) \quad (1)$$

式(1)中J为发动机当量转动惯量,为一常数, ω_1 、 ω_2 分别为起始转速和终止转速, Δt 为加速时间。通过采集发动机空载加速时间,可以计算发动机的功率。

4 实验

通过维修单兵佩戴穿戴式计算机形成数字化维修单兵系统,在现场对EQ2102汽车进行维修,在模拟指挥控制中心,维修专家可以实时观看从维修单兵数字化头盔传回的视频画面,并进行维修指导,维修单兵也可以通过穿戴式计算机对维修过程进行指导。在进行发动机故障诊断过程中,当选择对发动机活塞组进行诊断时,可显示活塞配合间隙、活塞销配合间隙、曲轴轴承配合间隙、连杆轴承配合间隙;在对变速箱进行诊断时,可显示各档齿轮的啮合间隙;在利用专家系统对电器系统诊断时,能诊断电源系统、启动系统、仪表装置、信号装置、辅助设备、照明系统的故障;在发动机整体性能测试时,能实现对发动机的无负荷测功。

5 结论

通过设计穿戴式计算机硬件和软件系统,完成了数字化维修单兵系统的研制,使维修单兵通过数字化系统能实现现场信息采集、定位导航、无线通信及远程维修指导等功能,并成为数字战场的信息采集节点,为整个作战指挥网络系统提供实时的战场态势感知信息,提高了维修单兵在数字化战场中的作用与地位。系统实验表明,该数字化维修单兵系统,携带方便,性能稳定可靠,适合于部队野战条件下车辆装备维修保障使用。

本文作者创新点:针对未来的数字化战场的需要,设计了基于穿戴式计算机技术的数字化维修单兵系统,使得维修单兵成为未来战场的信息感知节点,在完成维修任务的同时,为指挥中心传送战场信息。

参考文献

- [1]刘健,王卫国.单兵维护与修理支持系统[J].现代防御技术,2000,28(1):16-20.
- [2]李补莲,刘军利.美国陆军轻-中型部队数字化改造策略、进程及启示[J].情报指挥控制系统与仿真技术,2002,3:7-10.
- [3]李成全,孙金虎.神通广大的未来战士[J].中国国情国力,2003,2:27-28.
- [4]康利刚,常朝稳,李平.基于PDA的移动警务罚单打印的设计与实现[J].微计算机信息,2007,6-3:161-163.
- [5]李东,杨孝宗,王承发.数字化战场与可穿戴计算机[J].系统工程与电子技术,1999,21(6):31-33.
- [6]秦琴,王汝笠.可穿戴式计算机的应用研究[J].红外,2005,4:32-37.
- [7]肖云魁.军用车辆视情维修分析系统的研究[D].北京理工大学博士论文,2004,7.

作者简介:曾锐利(1976-),男,军事交通学院讲师,博士,主要从事汽车电子技术、振动信号检测与处理、模式识别等方面的研究。

Biography: ZENG Rui-li (1976-), male, Tianjin, Academy of Military Transportation, Ph.D. His main research fields and spe-

cialties are automobile electronics technology, vibration signal detection and processing, and pattern recognition, etc.

(300161 天津 军事交通学院) 曾锐利 肖云魁 曹亚娟 江红辉 梅检民

(Academy of Military Transportation, Tianjin, China, 300161) ZENG Rui-li XIAO Yun-kui CAO Ya-juan JIANG Hong-hui MEI Jian-min

通讯地址:(300161 天津军事交通学院维修技术教研室) 曾锐得
(收稿日期:2009.03.23)(修稿日期:2009.04.25)

(上接第85页)

[2]Paulo S.R.Diniz. 自适应滤波算法与实现[M].北京:电子工业出版社,2004.

[3]王鹏飞,谢凌,李著信.小波变换用于输油管道漏磁检测信号处理[J].微计算机信息,2006,7-1:132-134

[4]Bernard Widrow, Samuel D. Stearns, 自适应信号处理 [M].北京:机械工业出版社,2008.

作者简介:刘立峰(1975-),男,博士研究生,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所助理研究员,研究方向为电子设备与智能传感器。

Biography: LIU Li-feng (1975-), Sex: male; Race: Han; Educational Qualification: master degree; Assistant researcher of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences; Major: mechanical and electronic engineering; Research Area: electronics and intelligent sensor.

(110033 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 刘立峰

(100039 中国科学院研究生院) 刘立峰

(100005 中海油田服务股份有限公司) 张秋松

通讯地址:(130033 长春经济技术开发区营口路19号长春光学精密机械与物理研究所光华微电子) 刘立峰

(收稿日期:2009.03.23)(修稿日期:2009.04.25)

《现场总线技术应用200例》

现场总线技术是现代工厂、商业设施、楼宇、公共设施运行、生产过程中的现场设备、仪表、执行机构与控制室的监测、控制装置及管理与控制系统之间的数字式、多点通信互连的数据总线式智能底层控制网络。

现场总线技术保证了现代工厂、商业设施、智能楼宇、公共设施(自来水、污水处理、输变供电、燃气管道、自动抄表、交通管理等),高可靠、低成本、安全绿色生产运行,同时易于改变生产工艺,多品种生产过程。

本书200个应用案例,介绍了profibus、FF、CANbus、DeviceNET、WorldFIP、INTERbus、CC-Link、LonWorks及OPC、工业以太网、TCP/IP在石油、化工、电力、冶金、铁路、制烟、造酒、制药、水泥、电力传动、机械、交通、设备管理、消防、自来水厂、电解铜、电解铝、继电保护、粮仓及储运、汽车检测、油库管理、造纸、气象、远程抄表、电缆生产、暖通空调、电梯、楼宇自动化及安防、……,各方面的应用。

本书是工程设计人员、设备维护人员、设备采购人员、技术领导干部、大、中专学校教师的案头参考书,同时也是大院校本科生、研究生做课题、搞毕业设计的必备参考书。有志向有兴趣的高中以上文化水平的人均为本书读者。

本书已出版。大16开,每册定价55元(含邮费)。预购者请将书款及邮费通过邮局汇款至

地址:北京海淀区皂君庙14号院鑫雅苑6号楼601室

微计算机信息 邮编:100081

电话:010-62132436

http://www.autocontrol.com.cn

E-mail:editor@autocontrol.com.cn;

010-62192616(T/F)

http://www.autocontrol.cn

E-mail:control-2@163.com