

管道声通信智能传感系统设计与实现

刘书成 陈颖 陈相宁

(南京大学 电子科学与工程学院 南京 210093)

摘要: 管道声通信在一些特殊的场合存在一定的应用价值。设计并实现了一种智能、快速、低功耗的管道声通信系统。提出了一种声音混频编码通信的方法,设计了一套适用的、可靠的通信协议。系统设计过程包括硬件设计和算法软件设计两部分。以 ARM 处理器为处理核心,通过对不同频率的声音进行混频来编码,对混频信号进行快速傅里叶变换、峰值检测来解码。实验结果显示,系统可以迅速可靠地实现管道声通信。

关键词: 声通信;声波混频;管道;ARM

中图分类号: TN914 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.5099

Design and implementation of intelligent acoustic communication and sensing system in pipeline

Liu Shucheng Chen Ying Chen Xiangning

(School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Acoustic communication in pipeline has certain application value in some special occasions. This paper presents the design and implementation of acoustic communication system in pipeline, which is intelligent, fast, and low-power consumption. System design includes two parts, hardware design and software design. The system uses an ARM processor to code signal by mixing sounds of different frequencies and to decode mixing signals by FFT and peak detection. Experimental results show that the system can achieve rapid and reliable acoustic communication in pipeline.

Keywords: acoustic communication; acoustic mixing; pipeline; ARM

1 引言

管道在铁路、船舶、石油、天然气等工业中有着不可替代的作用,包括通过气压提供动力,长距离输送资源等^[1]。管道声通信是一种古老的通信方法,虽然在当前的很多地方都已经被有线通信和无线电通信所取代^[2],但在一些特殊的情况下,管道声通信具有一定的存在价值^[3]。

例如列车的车尾制动气压检测问题^[4]。列车使用高压进行制动,但是处在车头位置的驾驶员无法知晓车尾气管中的制动气压是否达到要求。若采用有线通信,则需要架设额外的线路;采用无线很难纵向穿过多节车厢。而采用声通信,则正好可以利用输气管道作为信道。由于声音在管道中存在衰减和被吸收^[5],若要实现长距离的通信,采用加大发射功率的方法,能源消耗大,效果却不明显。本文采用中继通信的方法,设计和实现了一套声通信互联系统,每个节点都具有接受、处理、转发功能,可实现较长距离的通信,具有功率小,成本低,使用时间长的特点。

2 系统原理和通信协议

类似于电通信系统采用高低电平作为 1 和 0,当前的已实现的声通信系统普遍采取的方式是通过判断声音的功率,将声音的有无作为 1 和 0^[6]。这样做存在明显的缺陷:因为声音信号不会像电信号一样很快消失,通过实验发现一般都会有二十毫秒左右的拖尾,功率较大则会更长。这样一个字节的信号的持续时间将是秒量级的,如果加上中继转发的时间,通信的时延会非常大。另外一旦信号的持续时间太长,在铁路这样嘈杂的环境中,非常容易被噪声干扰,导致误码。最后信号持续时间太长将极大地增加系统的功耗,减少电池使用时间。

2.1 系统通信原理

依据无线电通信的频分复用思想^[7],声信号的频率分布可以携带大量的信息,也有很多利用管道声频谱的应用^[8]。本系统采用了对声音信号进行频分复用的方法。在 1~4 kHz 声音信号之间找多个频点,每个频点对某一位数据,该频率分量的有无代表 1 和 0。每次只发送一帧信号,

大大减少了通信的时延,而通信的容量取决于可用的频点个数。影响整个系统频率响应的因素包括扬声器选型、管道材料、直径等。经过列车气管的混频实测,最终选定了 1.2 kHz 等 10 个可用频点,频率间隔为 200 Hz。

同时,混频编码使信号的持续时间大大缩短,每次发射信号的功耗也随之减少,有效增加了电池的使用时间。

信息的处理流程如图 1 所示。

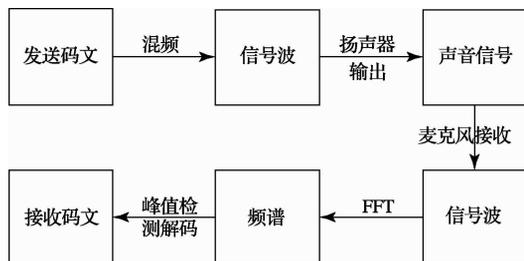


图 1 信息处理流程图

发射时,发射端处理器根据信号对所有频率分量进行数字混频,然后用混频的信号通过数模转换后输出,经功放放大后驱动喇叭发出声音。接收端在接到信号后,首先将信号进行模数转换,然后将信息进行采样,最后通过快速傅里叶变换分析信号的频谱,判断相应频点的信号强弱得出信号。

2.2 帧格式和通信协议

信号包括了地址位、数据位和奇偶校验位。

2.2.1 数据位

考虑压力检测的通信需求,需要正向传输的数据包括气压足够、气压不足两种情况,负向传输的信号包括收到信息的确认信号(ack);考虑到传输过程中存在的奇偶校验错误,设置了正向和负向的报错信号(error);最后还有初次使用设定地址时,对节点进行地址分配的初始化信号。一共 6 种情况,需要 3 位数据如表 1:

表 1 数据位分配表

| 信号内容 | 气压达标 | 气压不足 | 初始化 | Error 正 | Error 负 | Ack 确认 |
|------|------|------|-----|---------|---------|--------|
| 编码 | 000 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 |
| 方向 | 正 | 正 | 正 | 正 | 负 | 负 |

由表 1 可看出数据位的第 1 位是信号的方向标志。

2.2.2 地址位

为保证双向通信,扬声器在管道中发出的信号是同时向两边传播的,因此我们引入地址位和数据中的方向标志来确保信号沿正确的方向传输。

在初始化时系统为每个节点分配地址,理论上讲地址位越多越好,但这将增大频点的开销,所以我们采用了循环地址法。地址位为 3 位从 000 到 111,其中 000 和 111 作为保留地址分别为起始节点和结束节点。

2.2.3 校验位

奇偶校验错误则发送 error 信号要求重传。帧格式如图 2:

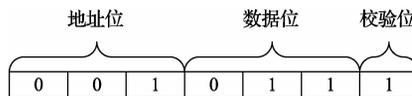


图 2 帧格式图

2.2.4 通信协议:

中继节点首先进行奇偶校验,若奇偶校验错误,则给信号来源的节点发送 error 信号,要求重传。奇偶校验无误,处理规则见表 2:

表 2

| 信号类型 | 处理规则 |
|------------|-----------|
| 气压信号,初始化信号 | 正向传递至最后节点 |
| Ack 信号 | 负向传递至起始节点 |
| Error 信号 | 重新发送 |

3 硬件选型与设计

系统硬件包括音频输入模块、信息处理模块和音频输出模块,总体结构如图 3 所示。

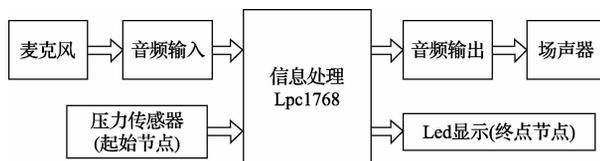


图 3 系统硬件结构图

系统包括起始节点、中继节点、终点节点。起始节点包括气压传感器,终点节点包括气压显示模块,其他方面 3 种节点相同,下面以中继节点为例阐述系统总体设计。

3.1 音频输入模块

接收模块的作用是检测声音信号,对收到的声音信号进行放大^[9];麦克风采用的是 10 mm、频响为 50~20 kHz 的常用咪头,输出信号为毫伏量级;然后通过以 LM386 为主的音频功放电路,将信号放大到 200 mV 左右,直流偏置为 1.7 V。

接收模块还具有音频唤醒功能,当输入信号的幅值达到一定的阈值,通过 LM393 组成的比较电路,输出处理模块唤醒信号。

3.2 信息处理模块

信息处理模块作用是编解码和依据通信协议处理信息。处理器采用的是基于 ARM^[10] Cortex-M3 内核的 LPC1768 芯片。8 通道的 ADC 进行信号采集,10 位的 DAC 用于输出混频的声音信号,100 MHz 的主频足以满足 FFT 及信号处理的计算要求。同时还具有低功耗休眠模式,结合音频输入模块的唤醒功能,能有效延长电池的使用时间。

3.3 音频输出模块

音频输出模块也选用的 LM386 组成的放大电路,将混频后的声音信号放大后驱动喇叭发声。喇叭选用的是钹磁

的高音球顶喇叭,在选用的频谱范围内具有比较均匀的频响,同时能量转换效率比较高。

4 系统处理算法和软件实现

软件包括混频编码、FFT 及频点检测解码和信息处理三个部分。

4.1 数字混频编码

混频通常采用硬件方案^[1],但这样会增加硬件开销,所以我们采用程序来输出不同频率的声音混频信号。首先要产生各个频率的单音,然后进行叠加混频。如果采用计算的方式产生,将会占用较多的 CPU 资源,所以采用了存储调用的方式产生混频信号。首先用 MATLAB 产生各个频率信号的正弦表,然后将正弦表存储在程序中。混频时只需要将相应频点的正弦表进行叠加后,由 D/A 输出即可。

4.2 FFT 及频点检测解码

首先对 AD 的信号进行 50 kHz 的采样,采样的长度为 1024 点,约 20 ms 信号,得到的数组进行 FFT 运算,得到频谱数组。

得到频谱数组后需要检测在选定的频点上有没有足够的波峰。峰值检测是取一个窗口在频谱上滑动,计算窗口内点的斜率,峰值等参数,判断峰值。波峰必须同时满足下列三个条件:1)上升、下降的斜率大于阈值;2)最大值大于阈值;3)窗口中的最大值不在最两端(保证波峰是向上的)。

4.3 信号处理模块

该软件模块的功能是依据通信协议,处理接收到的编码,确定发送给下一节点的编码。算法流程如图 4 所示。

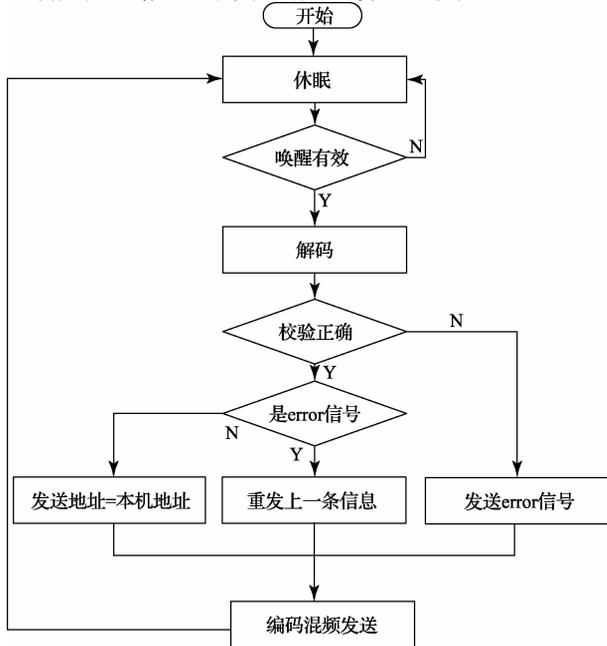


图 4 信号处理流程图

5 实验结果及评价

系统在实验室搭建了一节车厢的管道中进行了测试。

选定 1 kHz, 1.2 kHz, 1.4 kHz, 1.6 kHz, 1.8 kHz, 3.1 kHz, 3.3 kHz 作为 7 个频点。首先发送全 1 信号,下面是混频编码的频谱图和解码后的频谱图,可以看出基本一致,有微小的频偏。

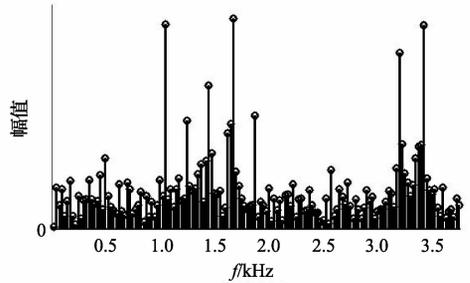
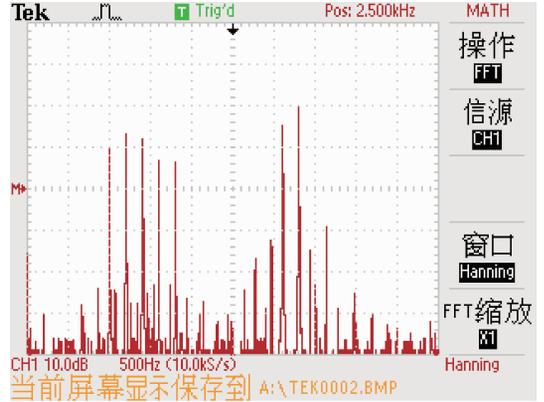
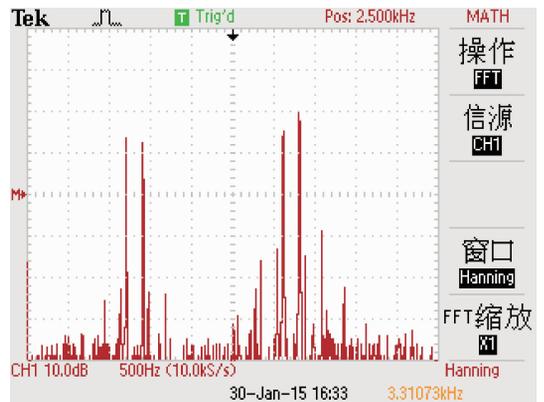


图 5 全 1 发送信号频谱和 FFT 结果图

第二次信号内容为压力不足(001),由 011 号发送至 100 号节点。按照通信协议,其编码应该是 0110011。100 号节点接收到信号后,通过解码、处理,应该继续将信号发送至 101 号节点,发送编码应该是 1000010。

发送节点信号频谱和接收节点 AD 后 FFT 结果的频谱如图 6。



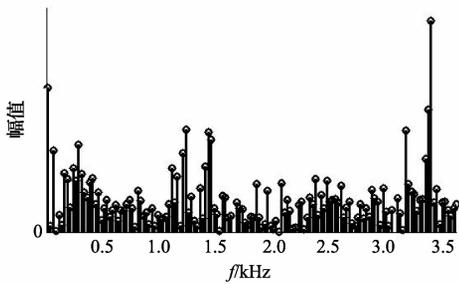


图6 测试发送信号频谱和FFT结果图

经过峰值检测解码算法,解码出来的编码为0110011,与发送编码相同;最后信号处理模块对编码进行处理,得到的发送码为1000010。

信号的时长为50 ms,一次中继传输的处理延迟约为200 ms,传输距离在列车气压管道中可以达到两节车厢约30 m,若在无较多弯道的管道内可以更远。

实验结果证明,该管道声通信智能传感系统能够在管道中实现快速可靠的通信,满足了列车尾部气压检测的需求。对声音信号进行混频编码的方法有效提高了声通信的性能,开阔了声通信的思路,具有一定的应用前景。

参考文献

- [1] 王晓,高勇.管道应急声通信的信号设计[J].现代电子技术,2015(1):79-82.
- [2] 何涛,高勇.低信噪比环境中管道声通信的信息识别[J].通信技术,2012(7):14-19.
- [3] 王程成,张晓戎,张毅,等.油田注水井管道声通信信道平台设计及仿真[J].计算机与数字工程,2013(10):1596-1602.

- [4] 张建柏,彭辉水,倪大成,等.高速列车制动技术综述[J].机车电传动,2011(4):1-4.
- [5] 段奇智,袁永,张毅,等.天然气管道远程声通信接收机系统设计方法研究[J].计算机与数字工程,2013(11):1835-1839.
- [6] 文玉梅,张雪园,文静,等.依据声信号频率分布和复杂度的供水管道泄漏辨识[J].仪器仪表学报,2014(6):1223-1228.
- [7] 刘大燕.一种适用于低频小信号检测的放大电路设计[D].杭州:杭州电子科技大学,2014.
- [8] 袁雪,张志文,司庆丹.基于ARM的智能数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2014(8):66-71.
- [9] 白力军,张冠宇,苏志强,等.任意频点双混频时差测量方法及仪器的研究[J].电子测量与仪器学报,2014(5):500-506.
- [10] 孙英侠,李亚利,宁宇鹏.频谱分析原理及频谱分析仪使用技巧[J].国外电子测量技术,2014(7):76-80.
- [11] 罗自荣.基于嵌入式系统的实时声音频谱分析技术[D].杭州:浙江大学,2014.

作者简介

刘书成,1988年出生,硕士,主要研究方向为音频信号处理、嵌入式系统开发。

E-mail:wocaihilsc@163.com

陈颖,1976年出生,博士,副教授,主要研究方向为生物医学信号及图像的处理和分析。

E-mail:yingchen@nju.edu.cn

陈相宁,1967年出生,博士,副教授,主要研究方向为无线通信、接入技术。

E-mail:shining@nju.edu.cn