

文章编号: 1671-251X(2010)02-0024-04

基于 DSP 的矿井光纤直放系统的设计*

李伟¹, 赵承滨², 宋婀娜², 祁向前³

(1. 黑龙江科技学院资源与环境工程学院, 2. 黑龙江科技学院电气与信息工程学院,
3. 黑龙江科技学院建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

摘要:根据煤矿井下巷道狭长、拐点多、分支多的特点,针对井下环境中移动通信系统通话质量差、可靠性低等问题,提出了一种基于 DSP 的矿井光纤直放系统的设计方案,详细介绍了系统基于 DSP 的自动监控单元和 FIR 数字滤波器的设计及语音激活技术在直放系统中的应用。该光纤直放系统解决了井下广域范围移动通信问题,采用 DSP 对系统实施自动监控,为系统稳定运行提供了可靠保障;数字滤波器的引入、语音激活技术的应用使井下通信系统性能更稳定、话音质量更好、抗干扰性更强,为矿井移动通信的最佳实现奠定基础。

关键词:矿井; 移动通信; 光纤直放系统; DSP; FIR 滤波; 语音激活检测; 舒适噪声产生

中图分类号:TD655/679 **文献标识码:**B

Design of Fiber-optic Repeater System in Mine Based on DSP

LI Wei¹, ZHAO Cheng-bin², SONG E-nuo², QI Xiang-qian³

(1. College of Resource and Environment Engineering of Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China. 2. College of Electric and Information Engineering of Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China. 3. College of Architecture Engineering of Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China)

Abstract: According to features of coal mine such as narrow tunnel, more turning points and more branches, a design scheme of fiber-optic repeater system in mine based on DSP was proposed for the questions such as poor quality of mobile calls and low reliability of mobile communication system in underground environment. Designs of automatic monitoring and control unit based on DSP and FIR digital filter and application of voice activation technology in repeater system were introduced in details. The fiber-optic repeater system solves the difficulty of mobile communications in wide range in mine and uses DSP to monitor the system automatically to make the system stable. The application of digital filter and voice activation technology makes the underground communication system more stable in performance, better in voice quality and stronger in anti-interference. The system establishes a basis for best working of mobile communications in mine.

Key words: mine, mobile communication, fiber-optic repeater system, DSP, FIR filter, voice activity detection, comfort noise generation

0 引言

长期以来,井下移动通信的研究与应用远远落后于地面移动通信,人们为改善煤矿井下通信的落后现象一直在不断地探索和研究^[1]。煤矿井下是一个特殊的工作环境,井下巷道空间有限,巷道系统复杂,电磁波在巷道内不能很好地传播,改造后的地

收稿日期: 2009-12-06

* 基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11521253)

作者简介: 李伟(1979-),男,满族,辽宁锦州人,硕士,讲师,2004年毕业于太原理工大学,现主要从事采矿工程和矿井数字化方面的教学与科研工作,已发表文章数篇。E-mail: lw1699@126.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

面移动通信系统应用到井下后,其通信范围受到极大限制。现代化矿井机电化程度的提高,也造成了井下人为噪声的干扰更加严重,影响了矿井通信系统的正常工作,使得通话质量差、通信系统可靠性低。通信系统的有效发挥、话音质量及通信稳定性改善,是解决井下移动通信的重要环节。本文根据煤矿井下的特点,针对井下移动通信系统存在的问题,设计了一种基于DSP的光纤直放系统。光纤直放系统是对陆地蜂窝网中移动信号延伸、覆盖的系统,是将移动信号引入到矿井深部的较好手段,它通过光电信号转换,以光纤为媒介传播,具有传输距离远、信号衰耗小、抗干扰性强等优点,且系统简单、灵活;对其辅以DSP监控设计,使语音通话效果更加理想。

1 矿井光纤直放系统构成

光纤直放系统主要由近端机、光纤线、远端机(覆盖单元)3个部分组成^[2]。近端机内部包括双工器、射频功能模块(主要有放大器、自动电平控制/衰减单元等)、系统监控单元、光发送模块4个部分组成。远端机包括光接收模块、低噪放、驱放、功放、自动电平控制/衰减模块、系统监控单元、双工器等组成。近端机通常放置在基站的机房里面,耦合单元直接耦合陆地蜂窝网BTS(Base Station)的射频信号,通过双工器带通滤波后进入射频功能模块,检测后经过调整其增益使之输出的射频信号强度适合光接收模块射频信号的要求,然后通过电光转换变为光信号,并通过光纤线传输到远端机;远端机中的光接收模块将光信号转换为电信号,进入下行功放模块放大,然后通过双工器送入延伸系统单元,由微型天线、泄露电缆等发射信号覆盖目标区域。光纤直放系统既有单一链路形式,又有多链路形式,多链路形式在井下应用的最大优势是能使通信范围广域化,克服了井下小范围通信的缺陷。多链路光纤直放系统由一台近端机及多台远端机组成,根据系统上下行增益平衡技术要求,一台近端机最多可结合4台远端机^[3]。由1台近端机、4台远端机构成的多链路光纤直放系统结构如图1所示。

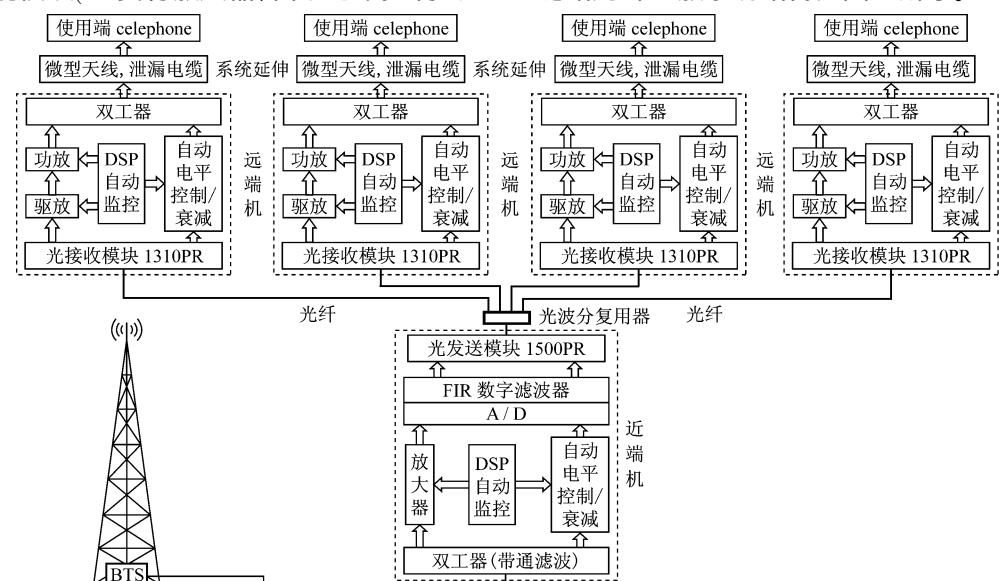


图1 由1台近端机、4台远端机构成的多链路光纤直放系统结构图

2 基于DSP的自动监控单元的设计

煤矿井下环境复杂,各种干扰异常严重,时刻影响着矿井通信系统的正常工作,为保证系统正常运行,对光纤直放系统采用数字信号处理(DSP)设计了自动监控单元,其结构如图2所示。

DSP具有较强的实时性,能在极短的时间内完成对外部输入信号的处理,因此,DSP的引入为系统提供了一个高速计算平台^[4]。自动监控单元的主要功能是实时监控并记录主系统运行的各项参数和

减单元等)、系统监控单元、光发送模块4个部分组成。远端机包括光接收模块、低噪放、驱放、功放、自动电平控制/衰减模块、系统监控单元、双工器等组成。近端机通常放置在基站的机房里面,耦合单元直接耦合陆地蜂窝网BTS(Base Station)的射频信号,通过双工器带通滤波后进入射频功能模块,检测后经过调整其增益使之输出的射频信号强度适合光接收模块射频信号的要求,然后通过电光转换变为光信号,并通过光纤线传输到远端机;远端机中的光接收模块将光信号转换为电信号,进入下行功放模块放大,然后通过双工器送入延伸系统单元,由微型天线、泄露电缆等发射信号覆盖目标区域。光纤直放系统既有单一链路形式,又有多链路形式,多链路形式在井下应用的最大优势是能使通信范围广域化,克服了井下小范围通信的缺陷。多链路光纤直放系统由一台近端机及多台远端机组成,根据系统上下行增益平衡技术要求,一台近端机最多可结合4台远端机^[3]。由1台近端机、4台远端机构成的多链路光纤直放系统结构如图1所示。

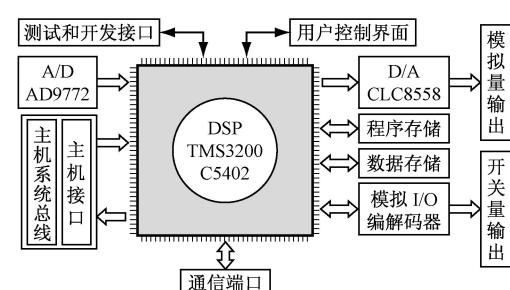


图2 自动监控单元结构框图

状态,并通过通信端口将参数和状态信息传给网管

中心, 然后根据网管中心的指令控制并调整光纤直放系统的运行状态。监控内容包括上、下行各模块的功放开关、衰减值、输出功率电平; 判断系统的功放功率、驻波及二载频锁定等, 检测门禁和电源等重要参数是否正常, 并对异常参数作出实时调整, 同时也可监控井下环境参数, 如温湿度、瓦斯浓度等。自动监控单元的增设提高了系统运行的可靠性。

3 FIR 数字滤波器设计

针对井下噪音及干扰严重的实际情况, 应用 DSP 设计 FIR 数字滤波器。

3.1 数字滤波器原理

数字滤波器一般具有如下差分方程:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k x(n-k) + \sum_{k=0}^{N-1} b_k y(n-k) \quad (1)$$

式中: $y(n)$ 为输出序列; $x(n)$ 为输入序列; a_k 和 b_k 为滤波器系数; N 为滤波器阶数。

当所有的 b_k 均为零时, 可以得到 FIR 滤波器的差分方程:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k x(n-k) \quad (2)$$

不失一般性, FIR 滤波器差分方程可表示为

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) x(n-k) \quad (3)$$

对式(3)进行 z 变换, 整理后可得 FIR 滤波器的传递函数:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) z^{-k} \quad (4)$$

3.2 数字滤波器的实现

如果滤波器的冲击响应为 $h(0), h(1), h(2), \dots, h(N-1)$, 用 $x(n)$ 表示滤波器在 n 时刻的输入, 则 n 时刻的输出为

$$y(n) = h(0)x(n-1) + \dots + h(N-1) \times x[n-(N-1)] \quad (5)$$

可以使用循环寻址实现 FIR 滤波器, 利用 TMS32005C5402 DSP 循环寻址和 FIR 指令实现中心点对称的 FIR 滤波器, 如图 3 所示。

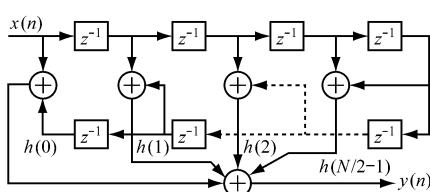


图 3 N 阶对称 FIR 滤波器结构图

由于 FIR 滤波器具有线性响应的特性, 因此

在数字信号处理中得到广泛的应用, 长度为 N 的线性相位 FIR 滤波器的输出表达式为

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N/2-1} h(k)[x(n-(N-1-k))] \quad (n = 0, 1, 2) \quad (6)$$

输入序列在 2 个循环缓冲区里的存储形式如图 4 所示。

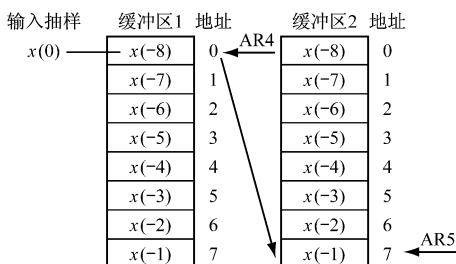
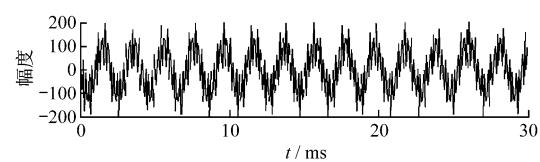
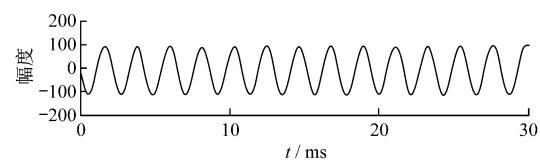


图 4 输入序列存储形式图

要建立缓冲区, 首先要将循环缓冲区大小寄存器的值设置为 $N/2$, 辅助寄存器 AR4 指定到缓冲区 1 的顶部, 将辅助寄存器 AR5 指定到缓冲区 2 的底部。新来的一个抽样存储到缓冲区 1 中, 首先应将缓冲区 1 顶部的数据移到缓冲区 2 的底部, 然后进行乘累加运算, 即 $h(0)/x(0) + x(-N+1)$, 每步计算后, AR4 指向缓冲区 1 的下一个数据单元, 而 AR5 指向缓冲区 2 的上一个数据单元。如图 4 中一步运算结束后, AR4 指向地址 1, 而 AR5 指向地址 $N/2-2$ 。以 500 Hz 和 2 500 Hz 正弦信号叠加作为输入信号, 采样频率为 8 000 Hz, 采用该滤波器的输入、输出波形如图 5 所示, 其中图 5(a) 为输入, 图 5(b) 为输出。从图 5 可看出, 滤波后的信号波形平滑, 输入信号中原有的高频干扰噪声被滤除了, 显著提高了话音清晰度, 改善了通话质量。



(a) 输入波形



(b) 输出波形

图 5 FIR 滤波器输入、输出波形

4 话音激活和舒适噪声产生技术的应用

井下殊环境中, 提高通信系统抗噪性能和通话舒适度是解决井下移动通信的另一关键问题^[5~6]。 © 1994-2011 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

采用间断传输技术(又称非连续传输技术, Discontinuous Transmission, 简称 DTX)效果良好, 它主要是引入话音激活技术。话音激活技术主要由 2 个部分组成: 话音活性检测 VAD (Voice Activity Detector) 和舒适噪声产生 CNG (Comfort Noise Generation)。VAD 的功能是判断当前输入帧是话音还是背景噪声, CNG 的功能是在编码端提取背景噪声参数, 在译码端根据噪声参数合成出与发射端背景噪声特性尽量一致的舒适噪声输出。基本原理是通过检测发射端是否有话音信号的输入来自动调整发射机的开和关, 以达到减小系统干扰、提高通话质量和节省发射机功耗的目的, 尤其适用于干扰噪声大的煤矿井下通信, 具体流程如图 6 所示。

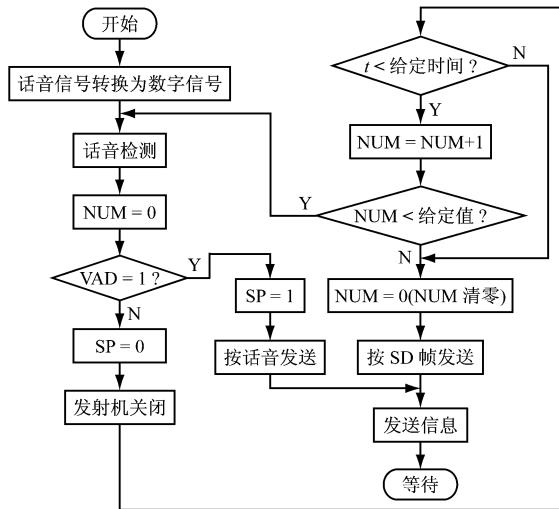


图 6 井下通信间断性传输流程图

首先要检测出输入端当前是否含有话音编码信息, 即当前输入帧是否包含话音, 即话音编码信息。若包含话音则令 $VAD=1$, 激活处理标志 $SP=1$, 按话音编码后发送信息, 可保持正常通话; 若不是话音, 则 $SP=0$, 发射机关闭, 但为判断是通话结束还是通话由于噪声干扰而中断, 应设置给定时间 t , 只要未到达给定时间, 计数中间变量 NUM 就不断累加, 在累加到一定的数值前持续检测输入帧判断是否有话音帧, 有话音帧按话音编码发送, 若一直没有话音帧, 发射机一直关闭, 由于这段时间相对较长, 如果传送背景噪声信息则使人感到不舒服, 故引入一替代帧, 即静寂描述帧 SD(Silence Descriptor) 进行编码, 来代替恼人的背景噪声。这样系统更具人性化, 实用性更强。

另外还有 2 个问题需要补充说明: (1) 舒适噪音参数(即 SD)的实时更新问题: 当话音出现停顿时, 接下来的一帧采用 SD 帧的编码, 将估计的舒适噪音参数编码成 1 个 SD 帧, 它和有效话音帧的帧长

和编码速率相同。接收端根据收到 SD 帧的参数进行舒适音的生成或更新, 话音解码器就可以合成出舒适噪声。通常由于接收机在不同环境下的背景噪声不同, 对 SD 帧编码的参数也就不同, 因此接收端每接收到 1 个有效 SD 帧, 舒适噪声的参数都要进行更新, 从而进一步提高通话的舒适仿真程度。(2) 处理误码帧的问题: 井下信号传输不佳的概率较高, 会导致接收到的误码帧增多, 如果直接解码会产生噪音, 可采取重复或外插一个以前好的话音帧或 SD 帧来替代, 对于连续多个误码帧, 替代帧可逐步减小输出电平直到为零。

5 结语

多链路光纤直放系统解决了井下广域范围移动通信的问题, 基于 DSP 的实时监控单元为系统稳定运行提供了可靠保障; 数字滤波器的引入较单独使用模拟滤波器滤波效果更好, 抗干扰性更强。话音激活技术的应用进一步提高了井下通信系统的性能, 改善了话音质量和舒适仿真程度。该直放系统已投入实际应用。辽阳鞍钢弓长岭矿业公司应用光纤直放系统, 成功完成了井下信号的延伸及覆盖工程, 实现了井下指定范围的移动通信, 通信效果较好。山西忻州雁门关双行隧道内设置了多链路光纤直放系统, 并采用实时监控、数字滤波、间断性传输等优化措施, 成功实现了全隧道移动信号延伸及覆盖工程, 通信效果良好。光纤直放通信系统的建立及优化为井下移动通信的应用创造了条件。

参考文献:

- [1] 王艳芬, 于洪珍. 矿井超宽带通信系统中单脉冲波形特性分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35 (02): 167-172.
- [2] JEONG K S, CHEONG J M, PARK T H, et al. Performance Analysis of DS CDMA Reverse Link with Fiber optic Repeaters [C] // Vehicular Technolgy Conf. Proceedings, 2000, Tokyo: 2439-2443.
- [3] 李伟, 陈海波. GSM 900 MHz 信号的井下广域延伸 [J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(3): 233-235.
- [4] ANDREW B, LAIN P S. The DSP Handbook: Algorithms, Application and Design Techniques [M]. London: Prentice Hall PTR, 2002.
- [5] 姚善化, 黄伟. 一种提高矿井通信系统抗噪性能的新方法 [J]. 煤矿安全, 2008(11): 75-77.
- [6] 牛丽, 杨维. 无线调制技术在矿井空直巷道中的性能分析及比较 [J]. 北京交通大学学报, 2008, 32(2): 99-103.