

## 基于 DPCM 算法的随钻测量数据压缩方法的研究\*

李忠伟 王 鹏 崔学荣 吴春雷

(中国石油大学(华东) 青岛 257097)

**摘要:** 由于钻井液信道传输带宽有限、钻井液压力波信号的产生速率有待提高,因此,设计新型钻井液压力波信号发生器与引进数据压缩技术成为大幅提高井下信息传输效率的有效途径。通过对井下的各种随钻测量数据的分析发现其连续性较好,数据量值变化平缓,具有很强的相关性,采用基于差分脉冲编码(DPCM)的预测编码方法可以对井下数据进行大幅的压缩,在不改变现有硬件的基础上实现了数据传输速度的翻倍,而失真度则保持在可控范围之内。

**关键词:** 随钻测量; 数据压缩; DPCM; 增量传输技术

**中图分类号:** TE927    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 520.1040

## Study on the algorithm for MWD data compression based on DPCM

Li Zhongwei Wang Peng Cui Xuerong Wu Chunlei

(China University of Petroleum, Qingdao 257097, China)

**Abstract:** The limitation of bandwidth in the channel of drilling fluid, and the demanding for faster generation speed of the pressure wave signal about drilling fluid are two challenges to the transmission of data from the bottom of the well. Because of this, a novel pressure wave signal generator for drilling fluid with the employment of data compression is an effective way to overcome these difficulties. In this paper, the good quality of consecution of measured data, and the gentle trend of the values, provide the chance of conducting great compression to the date by using DPCM predictive coding methods. Experiments' results approved that based on present hardware and facilities, the transmission speed will double distortion measure is also within a controllable range.

**Keywords:** MWD; data compression; DPCM; incremental transmission technology

## 1 引 言

钻井液压力波信息传输方式是目前技术最为成熟、应用最广泛的一种随钻测量信息传输方式,随着各种井下新的测量仪器的研制成功与应用,随钻测量的参数越来越多,从最初的井斜、方位、工具面等几何参数测量发展到钻压、扭矩、压力、温度、自然伽马、地层电阻率等多个环境、地质参数。每 300 m 需要测量的数据量从 1960 年的 45 Kb 增加到 1993 年的 60 Mb,到 1997 年需要传输的随钻测量(measure while drilling, MWD)数据已经达到 150 bps<sup>[1]</sup>。

由于钻井液信道传输带宽有限、钻井液压力波信号的产生速率有待提高,因此,设计新型钻井液压力波信号发生器与引进数据压缩技术成为大幅提高井下信息传输效率的有效途径<sup>[2]</sup>。其中,利用数据压缩技术以及完备的编码方法可以在不改变钻井液信息传输系统硬件的前提下大幅度提高井下参数的传输效率<sup>[3]</sup>。

目前,国内井下数据压缩技术的研究主要集中在声波测

井数据、成像测井数据、随钻地震数据等数据量大的电缆测井数据的压缩中;近年来随着随钻测量技术的发展,需要随钻传输的信息量不断增加,为提高随钻测量信息传输速率,人们将重点放在高速率信号发生器的研制上,而关于随钻测量数据压缩技术的研究较少。例如:刘付斌等人根据声波信号的特点,研究了基于字典的 LZW 压缩算法在偶极子数字阵列声波测井仪数据压缩方面的应用<sup>[4]</sup>;张伟等人引入了整数小波变换,采用最大幅值、最小阈值、最小输出位等多种方法,降低了 SPIHT 算法的复杂度,提高了小波变换的速度,并设计了算法的并行实现结构,满足了声波测井数据高速实时处理的要求<sup>[5-6]</sup>;贾安学等人以正交多极子声波测井仪 MPAL 专家模式的井下数据为测试数据,采用算术编码、预测编码、FLAC 和 APE 压缩算法分别测试了对声波测井数据的压缩效果,其中 FLAC 和 APE 压缩算法具有较好的压缩率<sup>[7]</sup>;张煜、熊轲等人提出了一种基于压缩感知理论的随钻测井数据信道编码传输方法,该方法具有短码长线性编译码复杂度的优点<sup>[8]</sup>。

收稿日期:2014-10

\* 基金项目:中国石油科技创新基金(2012D-5006-0304)、中国石油大学(华东)自主创新基金(14CX02028A)资助项目

## 2 随钻测量数据的特征分析

现有的压缩算法可以分为无损压缩与有损压缩两类。无损压缩算法的压缩过程可逆,原始数据能够完全恢复,其压缩率较低,计算复杂度较高;有损压缩算法的压缩过程不可逆,无法完全恢复出原始数据,但其压缩率高于无损压缩,计算复杂度低于无损压缩算法。

对现场随钻测量数据进行分析发现,由于地层参数的连续性,除少数比较特殊的地方外,相邻两次测量值之间的差值不会太大,往往在一定范围内变动,如图1所示的井斜角和方位角数据的变化曲线所示,井斜角数据变化平缓,方位角在大约20次之后的测量数据也基本趋于平稳。

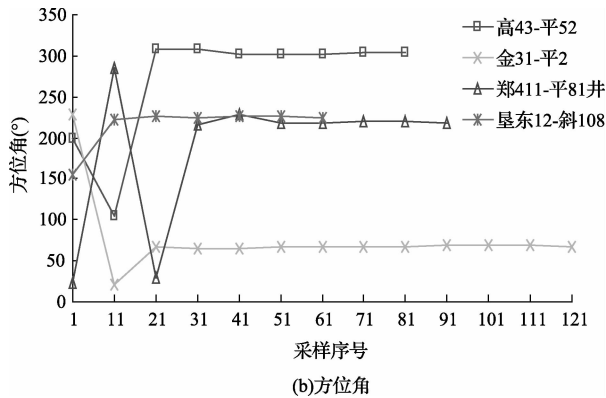
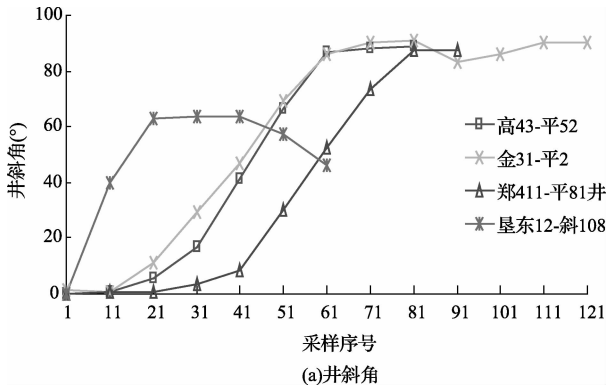


图1 井斜角和方位角的变化曲线

对于随钻伽马、电阻率、孔隙率等类型的随钻测井数据仅局限于定性测量,为地层的定性评价提供依据<sup>[9]</sup>,由于现有随钻测量信息传输速率有限,地面操作人员对这类数据实时性要求远高于数据精确性要求,因此,可以允许数据有一定程度的失真,对这类数据可以采取有损压缩的编码方式以提高数据的实时性<sup>[10]</sup>。

## 3 随钻测量数据预测编码方法

### 3.1 随钻测量数据的预处理

因为随钻测量数据数值变化缓慢,所以其在相同间隔内的增量变化比较小。

下面介绍如何实现均值增量传输方案<sup>[11]</sup>:

设完全数据为  $D$ ,表示仪器测量到的初始的、完整的参

数数值,增量数据为  $\Delta d$ ,表示随钻测量参数的变量,增量系数为  $k$ ,表示增量数据进行扩大或缩小的倍数。

在进行数据传输时,每次只需传输增量系数  $k$  与当前增量数据  $\Delta d$  的乘积  $\Delta Dk$  即可,如式(1):

$$\Delta Dk = k\Delta d \tag{1}$$

接收端在接收到数值  $\Delta Dk$  后,根据上一次获取的参数完全数据  $D$  和默认的  $k$ ,计算得出当前真实的完全数据  $Dk$ ,如式(2):

$$Dk = D + \Delta Dk/k \tag{2}$$

增量数据传输方式可以有效的减少数据冗余,缩短数据的位数。例如,设定方位角的精度为  $0.1$ ,增量系数  $k = 10$ ,最近一次的完全数据  $D$  为  $106.3^\circ$ ,本次数据为  $107.8^\circ$ ,则增量数据  $\Delta d = 1.5^\circ$ ,因此,本次只需传输的数据  $\Delta Dk = 15$ ,地面接收端即可根据式(2)计算出原始数据。

### 3.2 DPCM 数据压缩算法

DPCM(Differential Pulse Code Modulation,差分脉冲编码调制)算法利用预测方式消除原始信号中的大部分相关性,可以通过调节量化阶来精确的定量控制信号的波形失真。

其原理是:不直接对信号取样序列进行编码,而是根据之前的样本值估算下一个样本信号,然后对信号的实际值与信号的预测值之间的差值进行量化编码,这样压缩了编码信号的动态范围,减少了信号的编码数据量,DPCM 编解码原理如2所示。

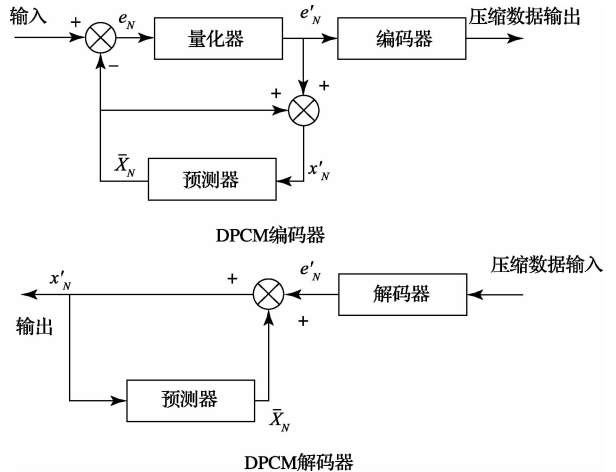


图2 DPCM 编解码原理

设信号取样序列为:

$$x(k), k = 0, 1, \dots \tag{3}$$

其因果性预测值为:

$$y(k) = f(x(1), x(2), \dots, x(N)), k > N \tag{4}$$

对预测值与实际值之间的差值  $e(k) = x(k) - y(k)$  进行量化得到  $e'(k)$ ,对其进行编码和传输,地面接收信号经过滤波后进行解码,将接收到的  $e'(k)$  与地面处理器算出的预测值  $y'(k)$  相加,即得到恢复信号  $x'(k)$ 。

取预测方程为各  $x(k)$  的线性函数,即:

$$y(k) = \sum_{i=1}^N a(i)x(k-i) \quad (5)$$

其中各预测系数  $a(i)$  与  $k$  无关,  $N$  为预测器阶数。

这种时不变线性预测器结构简单,易于硬件实现,应用均方误差极小值准则获得预测器阶数  $N$  与最佳预测系数  $a(i)$ ,但是这种最佳线性预测 DPCM 编码参数受测井数据统计特性的限制,因此,在随钻测量数据传输中应该对不同类型的测井数据采用不同的最佳线性预测 DPCM 编码参数进行编码,以满足不同类型数据的统计特性。

### 3.3 DPCM 数据压缩应用实例

衡量数据压缩方法好坏的重要指标是压缩比,压缩比 = 压缩后代码长度/源代码长度  $\times 100\%$ ,其含义是被压缩后的代码占源代码的比例。MATLAB 将高性能的数值计算和可视化集成在一起,并提供了大量的内置函数,因而被广泛地应用于科学计算、控制系统、信息处理等领域的分析、仿真和设计工作。

为了兼顾失真度和压缩比,通过 MATLAB 软件仿真,分别选用预测器阶数  $N=1$  的 3 bit 量化编码压缩方案和预测器阶数  $N=2$  的 4 bit 量化编码压缩方案,对胜利油田高 43-平 52 号井(井深为 0~1 396 m,共有 88 个采样点)、金 31-平 2 号井(井深为 0~1 806 m,共有 130 个采样点)、郑 411-平 81 号井(井深为 0~1 662 m,共有 98 个采样点)和垦东 12-斜 108 号井(井深为 0~2 095 m,共有 71 个采样点)四口井的井斜角和方位角数据进行压缩仿真。

通过表 1 和表 2 可以看出,数据通过该方法进行压缩后,压缩比在 40%左右,而失真度则保持在 3%~5%的允许范围之内,达到了预期效果。通过对比表 1 和表 2,可以看出选用预测器阶数  $N=2$  的 4 bit 量化编码压缩方案虽然比选用预测器阶数  $N=1$  的 3 bit 量化编码压缩方案压缩比略有下降,但失真度得到了较大改善。因此在实际的生产过程中,可以根据对测井数据精度的要求选择不同的预测阶数,以兼顾数据的压缩效果和精确性。

表 1 一阶预测 3bit 量化压缩效果

井号 数据	高 32-平 51		金 31-平 2		郑 411-平 81		垦东 12-斜 108	
	压缩比	失真度	压缩比	失真度	压缩比	失真度	压缩比	失真度
井斜角	40.35%	0.0296	41.62%	0.0365	40.95%	0.0377	42.35%	0.0383
方位角	39.18%	0.0409	40.37%	0.0312	37.43%	0.0436	41.71%	0.0281

表 2 二阶预测 4bit 量化压缩效果

井号 数据	高 32-平 51		金 31-平 2		郑 411-平 81		垦东 12-斜 108	
	压缩比	失真度	压缩比	失真度	压缩比	失真度	压缩比	失真度
井斜角	40.02%	0.0208	39.83%	0.0254	39.29%	0.0281	41.36%	0.0300
方位角	40.26%	0.0327	40.13%	0.0251	37.04%	0.0349	40.82%	0.0196

## 4 结 论

在国内,现有泥浆脉冲信号发生器的频率响应很慢,而连续波信号发生器尚处于研制阶段,因此,单纯从硬件上实现随钻测量数据传输速率的提高存在很大障碍。通过对井下各种测量数据的分析发现其连续性较好,数据量值变化平缓,采用预测编码方法可以对井下数据进行大幅的压缩,在不改变现有硬件的基础上实现了数据传输速度的大幅提升。

### 参考文献

- [1] 牛林林. 随钻测井的数据传输[J]. 国外测井技术, 2009(6):7-9.
- [2] Goobie B, Sayers M. 随钻声波测井新技术[J]. 国外测井技术, 2007, 22(1):53-60.
- [3] 石元会, 刘志申, 葛华, 等. 国内随钻测量技术引进及现场应用[J]. 国外测井技术, 2009(1):9-13.
- [4] 刘付斌, 李艾华. 偶极子数字阵列声波测井仪中数据压缩的实现[J]. 设计与研发, 2007(12):58-61.
- [5] 张伟, 师奕兵. 声波测井数据压缩的一种 SPIHT 改进算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2008, 22(1):15-19.

- [6] 黎林, 朱军. 基于小波分析与神经网络的语音端点检测研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(6):528-534.
- [7] 贾安学, 乔文孝, 鞠晓东, 等. 声波测井井下数据压缩算法压缩效果测试[J]. 测井技术, 2011, 35(3):288-291.
- [8] 张煜, 熊轲, 裘正定, 等. 基于压缩感知的随钻测井编码传输方法[J]. 地球物理学报, 2013, 56(1):335-347.
- [9] 杨锦舟. 基于随钻自然伽马、电阻率的地质导向系统及应用[J]. 测井技术, 2005, 29(4):285-288.
- [10] 张煜, 裘正定, 熊轲, 等. 基于差分脉码调制的随钻测量数据压缩编码算法[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6):748-754.
- [11] 李忠伟, 王瑞和, 房军. 无线随钻测量系统的数据报协议[J]. 石油学报, 2011, 32(5):887-892.

### 作者简介

李忠伟, 1978 年出生, 副教授。主要研究方向为智能信息处理、井下信息与控制工程。  
E-mail: lzw\_upc@163.com