

◀ 测井录井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2018047

基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法

段友祥¹, 张洋弘¹, 李洪强², 孙岐峰¹

(1. 中国石油大学(华东)计算机与通信工程学院, 山东青岛 266580; 2. 中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257000)

摘要:针对随钻测量过程中钻井液脉冲信号识别困难的问题,在分析钻井液脉冲信号的产生原理及噪声特性的基础上,通过研究信号波形特征属性和信号相似度,建立了基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法。根据该方法设计的钻井液脉冲信号识别原型系统能够实现灵活多变的交互式控制、动态参数调整和处理过程可视化实时呈现,在真实数据模拟中获得了很好的效果。基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法有较好的适应性,可以准确、智能地识别复杂矿场环境中的真实信号波形,为随钻测量工作的顺利进行提供了技术支撑。

关键词:随钻测量;脉冲信号;可信度分析;相似度;信号识别

中图分类号:TN911.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2018)03-0120-07

A New Drilling Fluid Pulse Signal Identification Method Based on Credibility Analysis

DUAN Youxiang¹, ZHANG Yanghong¹, LI Hongqiang², SUN Qifeng¹

(1. College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580, China; 2. Drilling Technology Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000, China)

Abstract: Targeting the difficulties of mud pulse signal identification in the process of measuring while drilling (MWD), and based on the analysis of the generation principle of mud pulse signal and the noise characteristics, a mud pulse signal identification method based on credibility analysis was established by means of studying the signal waveform characteristic attributes and signal similarity. The prototype of a mud pulse signal identification system designed according to this method enables a flexible interactive control. It also does a dynamic parameter adjustment and real-time visualization of processing process, and has achieved good effects in field application of MWD. With a good adaptability, such method can identify the real signal waveforms in a complex field environment accurately and intelligently to provide technical support for smooth MWD operations.

Key words: measuring while drilling; pulse signal; credibility analysis; similarity; signal identification

随钻测量目前已经成为复杂油气藏勘探开发的重要辅助手段。其基本原理是在钻进过程中利用传感器实时测量近钻头处的工程参数与地质信息,通过井下数据传输技术将这些信息传输至地面,经过数据处理、分析后用于地质导向和储层评价。随着该技术应用的深入,井下测量采集的数据种类越来越多,这不仅对数据的准确性要求越来越高,还对数据传输的可靠性和传输速度提出了更高的要求。

钻井液脉冲信号传输是目前应用最为普遍的随钻数据传输方式^[1]。该技术是将随钻测量信息以钻井液脉冲信号的方式传递到地面,地面系统通过立管压力传感器采集脉冲信号,然后将采集还原之后

的含噪信号进行信号识别、解码并实时显示^[2-3]。该技术成熟、容易实现,且成本低不受场地条件限制,但钻井液脉冲信号在钻柱内的传输会受到现场各种因素的影响:1)脉冲信号在传输过程中会随着传输距离增加而大幅度衰减^[4];2)脉冲信号传输过程中会掺杂大量的噪声信号,这些噪声信号主要是由于

收稿日期:2017-12-03;改回日期:2018-03-15。

作者简介:段友祥(1964—),男,山东东营人,1986年毕业于南开大学计算机软件专业,2017年获中国石油大学(华东)地质资源与地质工程专业博士学位,教授,主要从事IT在油气资源领域的应用的相关研究工作。E-mail: yxduan@upc.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项“低渗-致密油藏描述新方法与开发模式”(编号:2017ZX05009-001)资助。

井下各种机械振动引起的;3)钻井液材料也会直接影响脉冲信号的传输效果;4)在实际钻井过程中,井下复杂环境的影响和钻进过程中泵压的变化也会造成脉冲信号发生变化。一旦地面系统无法检测到有效脉冲信号或者解码错误,就无法正确判断井下实时工况。因此,研究如何从无规律的强噪声背景下检测出有用的脉冲信号,提高钻井液脉冲传输信号的信噪比,是钻井液脉冲传输技术的关键^[5]。传统的信号识别方法是采用脉冲检验门限的方式,然而人为的介入会很大程度影响结果,阈值设定得不合理也会导致噪声和脉冲信号检验错误。为弥补脉冲检验门限方式的不足,笔者提出了利用波形相似性检验信号的方案,并结合仿真领域可信度分析方法理论,以便准确、智能地识别复杂矿场环境中的真实信号波形,保证测量信号的准确和可靠。

1 钻井液脉冲信号特征属性选取

钻井液脉冲信号特征属性是用于鉴别待检验脉冲是否为真实信号的特征参数值。特征属性不仅可以反映出信号本身的物理特性,还能反映出脉冲波形的几何形态。一般特征属性是一个属性组,通过分量的组合和匹配,能够准确反映出真实数据的特点。特征属性的选择一般遵循以下 3 个原则:

1) 特征属性应具备代表性。不同特征属性所反映的真实数据也应不同,不同脉冲、不同形态波形的特征属性应有明显区别。

2) 特征属性应具备合理性。特征属性的选择或计算方法应有一定的理论依据或者与实际相符,特征属性应反映客观事实,不应按照主观意愿发生变化。

3) 属性分量应具备依赖性。属性组中的分量应该相互联系,相互影响,其中一个分量变化,其他分量也应随之变化,否则同一分量可能会有多个其他分量与之对应,在判别特征属性时出现多解的情况。

随钻测量无线传输中使用的 PPM(脉冲位置调制)编码的正脉冲钻井液信号,所表示的数据由脉冲所在时间序列的位置决定^[6]。特征主要表现为脉宽一致、波形为梯形波。由于信号的衰减是受各种因素影响的递变过程,因此信号局部脉冲波形的几何形态相似,故脉冲信号特征属性的选取可从脉冲波形所表现出的几何特征入手。

如图 1 所示,信号波形的几何形态可用相接梯形表示,指定高度不同,会相应产生不同的相接梯形,这里指定梯形高度 H 为固定值,以确保信号的

相接梯形唯一。

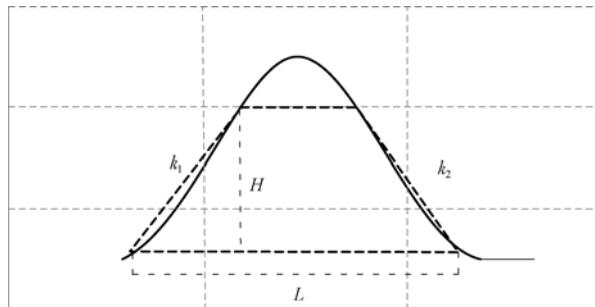


图 1 钻井液信号波形几何形态示意图

Fig. 1 Sketch of signal waveform geometry

选定梯形高 H、两斜边斜率 k_1 和 k_2 、下底边长度 L 为信号特征属性参数。其中 H 反映信号强度(即泵压); k_1 值反映信号增强速度, k_2 值反映信号减弱速度,二者绝对值关系反映信号对称性,若 $|k_1| = |k_2|$ 则波形相对信号峰值完全对称,若 $|k_1| \approx |k_2|$ 则波形相对信号峰值基本对称;L 反映脉宽。

2 钻井液脉冲信号波形相似性分析

为弥补传统脉冲检验方式的不足,提出了利用波形相似性检验信号的方案。首先对钻井液脉冲信号在时间序列上的波形进行分析研究。通过实际数据的模拟重放,将 360 个脉冲按照获取时间的先后分为 30 组,计算每组脉冲的特征属性值(H, L, k_1, k_2),并求得每组特征属性的平均值。

绘制各属性值与时间的关系图,结果见图 2—图 4。图 2 是梯形高与时间的关系,由图 2 可以看出 4 320 s 以后属性值 H 随时间变化有一点波动,但未出现突变情况,波动范围较小。图 3 是脉宽与时间的关系,由图 3 可看出,属性值 L 随时间变化基本保持一致,与正脉冲钻井液信号的脉宽一致特征相吻合。图 4 是斜率与时间的关系, k_1 和 k_2 随时间的变化规律与 H 属性相似,根据等腰梯形的几何特点,上下底不变的情况下,斜边斜率随高的变化而变化,由此也验证各属性值计算方法的正确性。

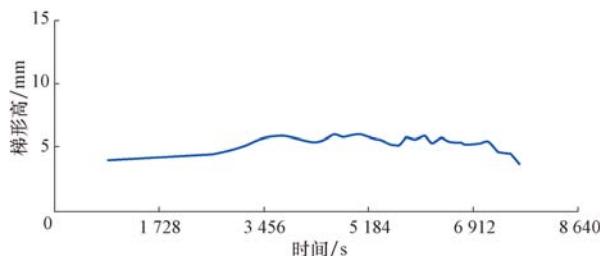


图 2 梯形高随时间的变化

Fig. 2 Graph of trapezoidal height versus time

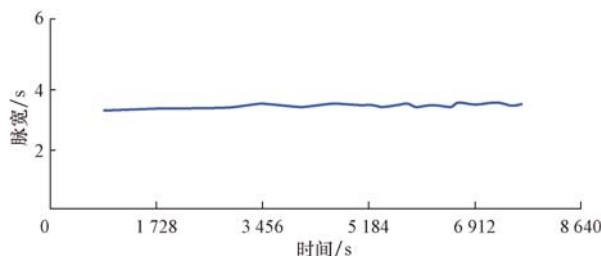


图 3 脉宽随时间的变化

Fig. 3 The relationship diagram of trapezoidal lower base and time

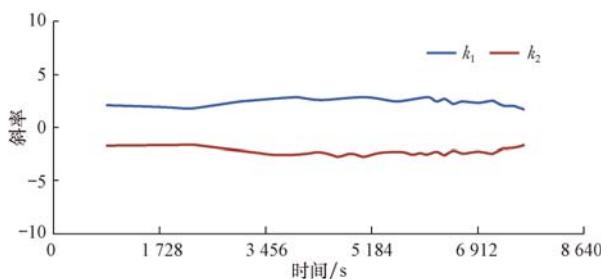


图 4 梯形两斜边斜率随时间的变化

Fig. 4 Graph of trapezoidal hypotenuse slopes versus time

以上分析可知,信号波形特征值在时间序列上变化波动不大,可以认为在短时间范围内,脉冲信号波形的几何形态保持相似。结合工程实际情况,即为随钻遇地层环境相似,除特殊噪声干扰外,通过立管压力收集的信号数据的衰减也相似。因此,钻井液脉冲信号波形在时间序列上具有局部相似性。通过合理设定特征属性标准,同时随着检验过程中信号的衰减变化,利用合理的方法对其进行调整,可有效检验波形是噪声还是信号。利用波形特征进行信号识别不仅准确,还可以弥补脉冲检验门限方式需要人工实时干预的不足。

3 基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法

可信度是对事物结果定性判定或定量分析可以依赖的程度,多用于仿真试验,是基于仿真模型来反映真实对象本身。钻井液脉冲信号识别过程也类似一个仿真系统,通过采集信号数据,利用数学模型或其他特征分析方法模拟原始信号,最终目的在于还原原始信号。因此,将可信度分析引入钻井液脉冲信号识别过程中是可行的。

可信度分析方式根据分析层次可分为 2 种^[7]:
1) 定性分析,通过相似比较反映事物“质”的差别;
2) 定量分析,通过分析数据反映事物的数据特征及

关系,具体方法主要有相似度方法、层次分析法和模糊评判法等。这 2 种方式都能作为检验评价中重要的参考依据,但在实际应用中,定量分析更能满足工程实际需求。针对钻井液脉冲信号的识别,可通过 4 种特征属性相结合的定量分析,计算得到信号波形的渐变性与局部相似性,从而为信号的定性判断提供参考依据。

基于此,提出一种基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法。其基本思想是:通过策略制定信号特征属性标准值获得标准信号,根据待测信号与标准信号的特征属性值计算每个待测信号与标准信号的相似度,通过分析相似度,判别待测信号是真实信号还是噪声干扰信号,流程如图 5 所示。



图 5 基于可信度分析的信号识别方法流程图

Fig. 5 Flow chart of signal identification method based on credibility analysis

3.1 信号预处理

对经过去噪处理后的脉冲信号预处理的目的在于确定待检验信号在时间序列上的具体位置。对于脉冲信号而言,单位脉宽的时间跨度是固定的,根据信号具有上升沿、下降沿的基本特征,通过计算单位脉宽时间段内的数据变化情况,即可得到初始的待检测信号。具体方法如下。

设定宽度略大于脉宽的时间窗口,窗口大小记作 N,并将窗口从中间分为左右 2 个子窗口,左窗口用于判定脉冲信号上升沿,右窗口用于判定脉冲信号下降沿。随着窗口在时间序列上的滑动,窗口与波形的关系可分为如图 6 所示的 4 种情况。4 种情况下都需要求得全窗口的极大值 w_{max} ,记录并判定极大值所在窗口位置 P_{max} 。根据极大值反映的位置信息可判定当前时刻,窗口与波形属于哪种情况。

情况 1:脉冲峰值未进入窗口 ($P_{max} = N$)。这种情况下,从窗口边界 N 求得右窗口信号极小值所在位置 $P_{R,max}$,并清空窗口中 $N/2$ 到 $P_{R,max}$ 的数据。如此操作是保证窗口内只存储待检测信号部分,清除不相干数据。

情况 2:脉冲峰值进入右窗口 ($N/2 < P_{max} < N$)。这种情况下无需任何额外操作继续移动窗口。

情况 3:脉冲峰值处于窗口中间位置 ($P_{max} = N/2$)。这种情况所反映出的窗口与波形的关系是目标状

态。通过计算左右子窗口的极小值和每段三等分点的窗口位置可大致确定待测信号是否满足左窗口递增,右窗口递减的判定条件。若满足则记录信号信息并将右子窗口极小值之前的数据清空。

情况 4: 脉冲峰值进入左窗口($P_{\max} < N/2$)。通常情况下这种位置情况不会出现, 窗口移动过程中发生意外而出现这种情况时, 可将窗口回退至 $P_{\max} = N/2$ 的状态, 并按情况 3 的处理方式重新计算。

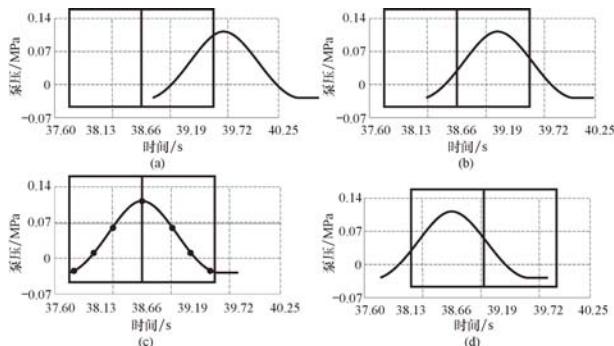


图 6 时间窗口与波形的关系

Fig. 6 A diagram of relationship between window and waveform

3.2 特征标准制定

特征标准是衡量待检测信号是否为真实信号的准则, 标准制定的合理与否直接影响后续识别的准确性。根据钻井液脉冲信号波形相似性分析结论, 随着信号的变化, 对特征标准应进行相应调整。为此将特征标准的制定分为 2 个阶段。

1) 开始阶段标准的设定。根据正脉冲信号的编码特点, 每种编码都在数据传输前有一组同步信号, 一般同步信号的特点为 2 个或 3 个连续脉冲信号^[8]。在获取脉冲数据的开始阶段, 利用连续脉冲这一特点, 计算相邻脉冲的时间差与特征属性值, 在符合连续脉冲的条件下, 根据波形局部相似性, 判断连续脉冲的特征属性值是否相近或一致, 最后求得算术平均值作为序列开始阶段的特征标准值。计算公式为:

$$p_0 = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

式中: p_0 为特征属性标准值; n 为连续脉冲个数; p_i 为第 i 个连续脉冲的特征属性分量值。

2) 识别过程中的标准调整。信号采集过程中, 设定可以存储 M 个待测信号的缓冲池, 即缓冲池大小为 M , 并为缓冲池设定门限, 设定缓冲池的进入门限为当前特征标准值的一定范围(H 的门限范围

为 $0.5 H_0 \sim 1.5 H_0$, L 的门限范围为 $0.8 L_0 \sim 1.2 L_0$), 设定门限可有效屏蔽偏差较大的噪声。待测信号判定之前首先进入缓冲池, 待缓冲池满后, 将缓冲池中的信号编号 $1 \sim N$, 根据相邻信号波形相似性, 为缓冲池中的信号分配权值 w_i , 权值满足编号越大, 权重越高, 并使 $\sum_{i=1}^M w_i = 1$ 。

识别过程中的特征标准调整值计算分式为:

$$p_0 = \sum_{i=1}^M p_i w_i \quad (2)$$

随着信号的不断采集, 缓冲池中的待测数据不断更新, 特征标准也随之更新, 从而实现自适应的标准调整。

另外, 考虑到实际应用的需要, 增加人工调整标准值的备用方式, 以确保复杂、无规律的钻井条件下特征标准真实可靠。

3.3 钻井液脉冲信号相似度计算

相似度即仿真系统与被模仿对象的相似程度, 是由两者的相似元数量、相似元的值及每个相似元对系统相似度影响权值等因素共同决定的, 相似度越高, 表示仿真系统还原被模仿对象越完整^[9]。设仿真系统为 A, 被仿对象为 B, A、B 之间相似元个数为 X , 每个相似元的值为 q_i , 每一相似元对相似度的影响权值为 β_i , 则 A 与 B 的相似度可以定义为:

$$Q(A, B) = \sum_{i=1}^X \beta_i q_i \quad (3)$$

式中: $Q(A, B)$ 为 A 与 B 的相似度。

权值 β_i 通过层次分析法^[5]计算得到, 而相似元值 q_i 的计算式为:

$$q_i = \frac{|y_r - y_s|}{y_r} \quad (4)$$

式中: y_s 为仿真系统对应的结果; y_r 为被模仿对象对应的结果。

若相似元分量是由动态变量计算求得, 则其计算公式为:

$$q_i = \frac{\Delta t}{t_2 - t_1} \sum_{t=t_1}^{t_2} \beta_t q^{(t)} \quad (5)$$

式中: Δt 为变化率; $q^{(t)}$ 为相似元随时间变化的关系式; t_1 为开始时间; t_2 为结束时间; β_t 为 t 时刻的权重。

将上述方法应用于钻井液脉冲信号相似度计算, 则采集信号系统与标准信号系统之间存在 4 个相似元, 即分别对应 H, L, k_1 和 k_2 这 4 个特征属性

值,设每个相似元的值为 q_i ($i=1,2,3,4$),每一相似元的权值为 β_i ($i=1,2,3,4$)。权值计算过程如下:

根据层次分析法,按 4 个特征属性相互影响的重要程度,设定 H 与 L 的重要系数为 5; H 与 k_1 、 k_2 重要的系数为 5; L 与 k_1 、 k_2 的重要系数为 5。根据相似元之间重要系数呈倒数关系,即 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$,构造评价指标的判断矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 5 & 5 \\ \frac{1}{5} & 1 & 5 & 5 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & 1 & 1 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

由几何平均法求得 H 、 L 、 k_1 和 k_2 的权值分别为 0.534 4, 0.238 4, 0.113 6 和 0.113 6。由规范列平均法求得 H 、 L 、 k_1 和 k_2 的权值分别为 0.500, 0.350, 0.075 和 0.075。钻井液脉冲信号的特征属性为静态变量,可利用式(3)计算该信号的相似度。

3.4 可信度评价分析

钻井液脉冲信号可信度评价,就是利用已经计算出的待测信号的相似度,判定待测信号是否为真实信号。相似度越高,说明待测信号与标准信号越接近,选择一个合理值作为可信度门限值,高于该门限值的则定性为真实信号,低于该门限值的则定性为噪声干扰。

在相似度计算过程中,由于结果受相似元权值影响较大,不同层次分析法求得的权值对应相同信号的相似度值不同,权值选定的不合理,会造成信号相似度不能反映真实情况,给定性分析带来困难,有时甚至造成相似度计算错误,进而影响后续处理结果。为选取合理的权值以及可信度门限值,笔者对上述利用几何平均法和规范列平均法求得的 2 组权值进行了试验分析,将采集的模拟重放钻井液脉冲信号原始数据采用图 5 所示流程处理,用 2 组不同权值计算脉冲信号相似度,结果见表 1。

表 1 基于不同层次分析法的相似度计算结果

Table 1 Sheet of similarity calculating statistics based on the different analytic hierarchy process

序号	时间	H/mm	L/s	k_1	k_2	相似度值	
						几何平均法	规范列平均法
1*	16:46:38	4.591 503	3.276	4.460 683	-3.973 18	1.000 000 0	1.000 000 000
2*	16:46:51	4.112 993	3.417	2.070 984	-1.777 38	0.750 401 6	0.661 661 653
3	16:48:04	0.680 470	2.814	0.596 268	-0.290 16	0.432 488 1	0.403 649 140
4*	16:48:16	4.075 157	3.283	2.186 486	-1.779 99	0.765 893 2	0.684 434 103
5*	16:48:21	4.188 229	3.551	1.909 593	-1.797 01	0.737 458 1	0.641 770 386
6*	16:48:27	4.407 833	3.752	1.706 007	-1.980 88	0.727 032 8	0.621 290 687
7	16:48:31	0.292 346	1.474	0.269 448	-0.484 18	0.441 558 5	0.452 226 183
8	16:48:36	0.295 798	2.278	0.161 561	-0.326 19	0.443 730 1	0.400 160 442
9*	16:48:45	5.437 569	3.484	2.634 465	-2.333 32	0.717 562 4	1.000 000 000
10	16:48:49	0.663 267	1.943	0.485 933	-0.727 22	0.525 865 5	0.396 640 598
11*	16:48:55	4.622 203	3.350	2.292 459	-2.043 35	0.910 067 2	0.911 147 280
12	16:48:58	0.835 999	2.010	0.628 319	-0.815 15	0.434 307 1	0.420 481 751
13*	16:49:19	5.288 153	3.350	2.694 133	-2.315 44	0.974 444 2	0.971 675 469
14*	16:49:56	4.374 527	3.484	2.134 985	-1.876 14	0.896 245 6	0.902 725 919
15*	16:50:34	4.356 465	3.350	2.329 748	-1.851 92	0.894 878 9	0.893 926 828
16*	16:51:11	3.991 976	3.350	2.117 067	-1.703 57	0.857 108 4	0.859 124 433
17	16:51:20	0.521 900	2.948	0.387 821	-0.219 26	0.486 263 4	0.498 137 278
18	16:51:42	1.510 582	3.283	0.568 752	-1.014 63	0.575 431 9	0.602 288 524

注: * 为真实信号的计算数据,其余为噪声干扰信号的计算数据。

从表 1 可知:1)真实信号的 4 个特征属性值基本相近,未出现突变、跳变情况,这与波形相似度分析结果保持一致,也表明特征属性值计算准确;

2)2 种权值计算方法得到的真实信号的相似度均在 0.62 以上;同时,真实信号与噪声信号在相似度上有一定界限,说明 2 种权值的选取和计算基本合理。

G 方案采用几何平均法求得的权值计算相似度, 计算结果记作 G 值; S 方案采用规范列平均法求得的权值计算相似度, 计算结果记作 S 值。将 18 组相似度从大到小排序并编号, 由上述分析可得: 可信度小于 0.62 的为干扰信号, 大于 0.62 的为真实信号, 将真实信号与干扰信号分开并按相似度大小排序, 可得 4 组折线, 如图 7 所示。

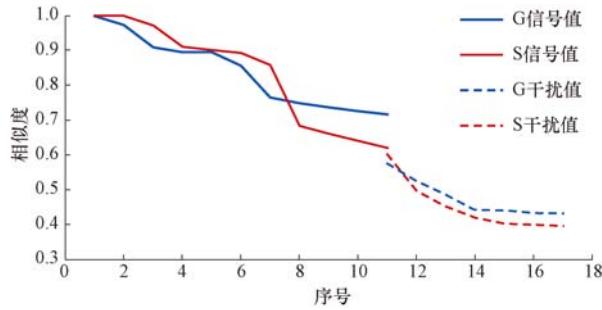


图 7 利用不同层次分析法计算的相似度

Fig. 7 Similarity curves calculated by different analytic hierarchy processes

从图 7 可以看出, G 方案中真实信号对应的相似度值与干扰信号有明显的分界, 分界距离大于 0.1, S 方案中真实信号对应的相似度值与干扰信号分界不明显, 分界距离仅有 0.02。G 方案求得的真实信号相似度值递减变化率比 S 方案小, 取值较为集中, 干扰信号的相似度值也呈相同规律。由以上分析可得, 对于该特征的脉冲信号几何平均法求得

的权值作用效果较为理想, 可设定 0.70 为可信度门限值。

4 试验分析

4.1 信号识别试验及分析

已知某井实际随钻过程中的钻井液脉冲信号数据, 该信号在起钻与停泵的一段时间内, 由于钻头机械振动的影响, 受到的干扰较大, 采用传统门限值方法很难做到准确识别。利用基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法对实际数据进行模拟重放, 共识别脉冲 480 个, 原始信号包含脉冲 468 个, 从识别的脉冲数量来看识别误差为 2.56%。

分析实际数据发现, 误差多存在于停泵前的不稳定阶段。图 8 为停泵前信号不稳定脉冲序列, 图 9 为基于该方法实现的原型系统正在处理图 8 方框中的脉冲序列, 其中波形窗口中所展示的是经预处

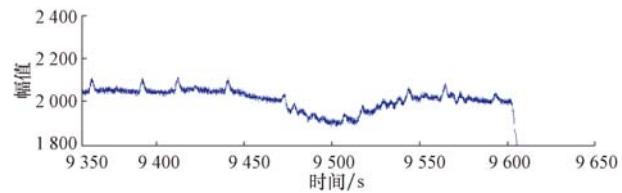


图 8 不稳定脉冲序列波形

Fig. 8 Unstable pulse sequence waveform

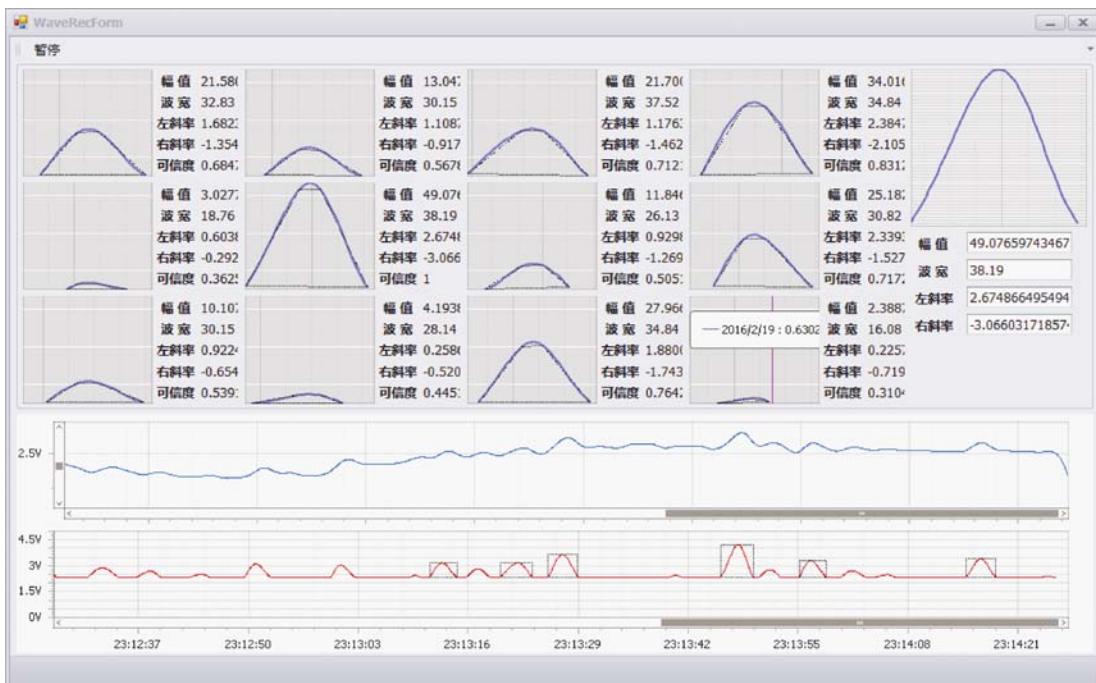


图 9 波形分析界面

Fig. 9 Waveform analysis interface

理后的待检测信号及其特征值;最右侧大窗口所展示的是特征标准波形及其特征值;第一个坐标系为脉冲信号去噪后的结果;第二个坐标系为信号识别结果,其中框出来的脉冲信号为可信度分析所识别出的信号。从图 9 中可知,部分噪声的可信度高达 0.712 和 0.717,因此被当作信号识别出来。虽然该方法不能够完全准确地识别脉冲信号,但是识别误差小于 3%,已满足实际工程要求。根据分析得出的原因,可提供人机交互功能,从而有效避免此类问题的发生。

4.2 处理效率试验及分析

考虑钻井液脉冲信号识别方法要进行实际应用,该识别方法的处理速率必须要保证信号识别实时性^[10]。识别过程中涉及的数据处理包括信号预处理、特征属性的计算、特征标准计算与调整、相似度计算。表 2 为实际随钻测量信号识别过程中各个模块的运算时间。其中,除了信号预处理外,其他处理时间都忽略不计。信号预处理过程中由于不同状况的处理步骤不同,处理时长也不同。总体而言,该识别方法处理速度快,可以满足实际应用对实时性的要求。

表 2 识别算法运行时间

Table 2 Running time of identification algorithm

序号	信号预处理	特征属性计算	标准计算与调整	相似度计算
	时间/ms	时间/ms	时间/ms	时间/ms
1	2.000 3	0	0	0
2	0.999 7	0	0	0
3	1.999 8	0	0	0
4	1.000 6	0	0	0
5	0.999 7	0	0	0
6	1.001 1	0	0	0
7	0.999 7	0	0	0
8	0.999 7	0	0	0
9	1.000 1	0	0	0
10	1.001 6	0	0	0

5 结 论

1) 基于可信度分析的钻井液脉冲信号识别方法,是在仿真系统中可信度评估分析的思想基础上提出的,通过提取特征属性值,选择合理的评价标准值,即时动态调整标准参数,实现钻井液脉冲信号的自动识别。

2) 该方法的主要优点在于避免了传统信号识

别方法中人为干预对系统识别结果的影响,消除了人工操作带来的不便和干扰。

3) 实际数据模拟试验验证了该方法的识别效果,能够用于随钻数据的传输和处理。

参 考 文 献

References

- [1] MONTARON B A, HACHE J-M D, VOISIN B. Improvements in MWD telemetry: the right data at the right time[R]. SPE 25356, 1993.
- [2] TU Bing, LI Desheng, LIN Enhui. Research on MWD mud pulse signal extraction and recognition: proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing, August 7-10, 2011[C].
- [3] 卢春华, 张涛, 李海东. 钻井液脉冲随钻测量系统研究[J]. 地质科技情报, 2005, 24(增刊 1): 30-32.
LU Chunhua, ZHANG Tao, LI Haidong. Mud pulse measurement while drilling system[J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(supplement 1): 30-32.
- [4] 陈文渊. 随钻测量系统信号测量的关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
CHEN Wenyuan. The key technology research on signal measurement of measurement while drilling system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [5] 蔡文军. 机械式无线随钻测斜仪系统研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2006.
CAI Wenjun. Research on the system of mechanical wireless inclinometer [D]. Qingdao: China University of Petroleum (Huadong), 2006.
- [6] HUTIN R, TENENT R W, KASHIKAR S V. New mud pulse telemetry techniques for deepwater applications and improved real-time data capabilities[R]. SPE 67762, 2001.
- [7] 沈跃, 张令坦, 曹璐, 等. 基于旋转阀控制脉冲重构的钻井液 QPSK 信号解码及误码率分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(6): 94-100.
SHEN Yue, ZHANG Lingtan, CAO Lu, et al. Decoding of drilling pressure QPSK signals based on control pulses reconstruction of rotary valve and bit error rate analysis[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2016, 40(6): 94-100.
- [8] 张忠. 仿真系统可信度评估方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
ZHANG Zhong. Research on evaluation method for credibility of simulation system[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [9] 焦鹏, 唐见兵, 查亚兵. 仿真可信度评估中相似度方法的改进及其应用[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(12): 2658-2660.
JIAO Peng, TANG Jianbing, ZHA Yabing. Amelioration and application of similar degree method for simulation credibility evaluation[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19 (12): 2658-2660.
- [10] 戴永寿, 岳伟杰, 孙伟峰, 等. “三高”油气井早期溢流在线监测与预警系统[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39 (3): 188-194.
DAI Yongshou, YUE Weijie, SUN Weifeng, et al. Online monitoring and warning system for early kick foreboding on “three high” wells[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(3): 188-194.

[编辑 潘子晴]