



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115718328 A

(43) 申请公布日 2023. 02. 28

(21) 申请号 202211507560.7

(22) 申请日 2022.11.29

(71) 申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72) 发明人 张伟 杜凯 蒋天植 师奕兵
李焱骏 李志鹏 罗斌

(74) 专利代理机构 成都行之智信知识产权代理
有限公司 51256
专利代理师 温利平

(51) Int.Cl.
G01V 5/04 (2006.01)

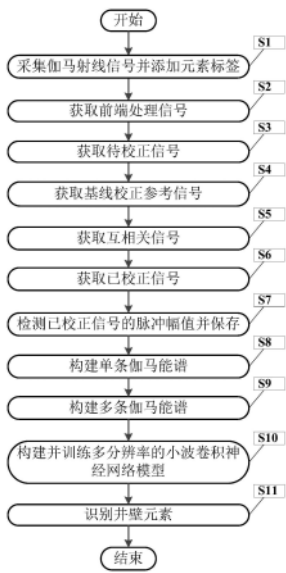
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理
及识别方法

(57) 摘要

本发明公开了一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法,通过放射性核素经过一系列过程产生伽马光子,伽马光子被探测器吸收并最后转化为电信号,得到伽马射线信号;然后通过对伽马射线信号进行放大、滤波等操作,再用ADC对处理后的波形进行采样和数字化,然后将数字化后的波形送入数字信号处理器中进行寻峰等操作,从而可得待测信号的电荷信息,接着再对电荷信息做统计形成核素能谱,最后通过多分辨率的小波卷积神经网络模型识别出伽马能谱中元素类型。



1. 一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1)、探测器采集中子与井壁元素反应产生的伽马射线信号,然后为伽马射线信号中的元素添加标签;

(2)、采用稳压二极管以缩放参数scale将伽马电信号的幅值缩放到x伏,然后添加直流偏置DC_bias将信号调整到 $[-x/2\text{伏}, x/2\text{伏}]$ 得到前端处理信号Sig_preprocess;

(3)、利用ADC采集前端处理信号Sig_preprocess,得到原始数字信号Sig_digital,然后对原始数字信号Sig_digital做低通滤波处理,滤除高频噪声获得待校正信号Sig_denoised;

(4)、在待校正信号Sig_denoised上采集一个长度为N_sample的数据段作为基线校正参考信号Sig_sample;

(5)、以基线校正参考信号Sig_sample为窗口,对待校正信号Sig_denoised做滑动点积处理,得到互相关信号Sig_patten;

(6)、采用峰值检测方法确定互相关信号Sig_patten的峰值点,然后采用三次样条插值方式连接各峰值点,得到基线信号baseline,最后将待校正信号Sig_denoised减去基线信号baseline,得到已校正信号Sig_corrected;

(7)、采用峰值检测方法检测已校正信号Sig_corrected的脉冲幅值,并保存记录;

(8)、重复步骤(1)、(4)、(5),以信号脉冲幅值为x轴,幅值计数率为y轴,统计长度为T的时间窗内的幅值信息得到一条伽马能谱;

(9)、通过改变井壁元素的类型,重复上述步骤,得到多条伽马能谱;

(10)、构建多分辨率的小波卷积神经网络模型;

多分辨率的小波卷积神经网络模型包括输入层、小波变换模块、CNN特征提取模块、全连接层和输出层;

其中,输入层接收归一化后的伽马能谱,小波变换模块和CNN特征提取模块用于提取伽马能谱的能谱特征,能谱特征通过全连接层分类后,通过输出层输出伽马能谱中各个元素的类型;

最后反复训练,并通过多标签任务的二值交叉熵计算损失函数值,直到小波卷积神经网络模型收敛;

(11)、识别井壁元素;

探测器实时采集中子与井壁元素反应产生的伽马射线信号,按照步骤(1)-(8)所述方法获取伽马能谱,然后将伽马能谱归一化处理后输入至收敛的小波卷积神经网络模型,从而输出伽马能谱中元素类型。

2. 根据权利要求1所述的一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法,其特征在于,所述小波变换模块采用四级小波分解,其中,每一级小波分解将接收的输入分解为高频特征和低频特征,第1-4级小波分解对应的接收输入分别为伽马能谱、第一级低频特征、第二级低频特征、第三级低频特征;

第一级高频特征经一层 1×1 卷积层和一层降采样层产生第一级剩余连接;第一级高频特征以行拼接形式拼接第一级低频特征并经第一级特征提取模块产生第一级卷积输出;第二级小波高频特征和第二级小波低频特征以行拼接形式拼接后分别经1层 1×1 卷积层和1层 1×5 、卷积核数量为64的卷积层产生第一级小波连接和第一级小波卷积输出;第一级剩余连

接、第一级卷积输出、第一级小波连接和第一级小波卷积输出以列拼接的形式拼接形成第一级特征；第一级特征经一层 1×1 卷积层和一层降采样层产生第二级剩余连接；第一级特征经第二级特征提取模块产生第二级卷积输出；第三级小波高频特征和第三级小波低频特征以行拼接形式拼接后分别经1层 1×1 卷积层和2层 1×5 、卷积核数量分别为32、64的卷积层产生第二级小波连接和第二级小波卷积输出；第二级剩余连接、第二级卷积输出、第二级小波连接和第二级小波卷积输出以列拼接的形式拼接形成第二级特征；第二级特征经一层 1×1 卷积层和一层降采样层产生第三级剩余连接；第二级特征经第三级特征提取模块产生第三级卷积输出；第四级小波高频特征和第四级小波低频特征以行拼接形式拼接后分别经1层 1×1 卷积层和3层 1×5 、卷积核数量分别为32、64、128的卷积层产生第三级小波连接和第三级小波卷积输出；第三级剩余连接、第三级卷积输出、第三级小波连接和第三级小波卷积输出以列拼接的形式拼接形成第三级特征；第三级特征经一层 1×1 卷积层和一层降采样层产生第四级剩余连接；第三级特征经第四级特征提取模块产生第四级卷积输出；第四级剩余连接和第四级卷积输出以列拼接的形式拼接形成第四级特征；第四级特征作为小波变换模块和特征提取模块所提取出来的特征输入全连接层做分类。

3. 根据权利要求1所述的一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法，其特征在于，所述CNN特征提取模块由两层卷积层和一层降采样层组成，其中，每一层卷积层的卷积核长度为5。

一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法

技术领域

[0001] 本发明属于核素信号识别技术领域,更为具体地讲,涉及一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法。

背景技术

[0002] 在油气开采领域,对需要进行油气资源开发的地域进行地层信息的探测是保证生产安全并获得最大经济效益的必要措施,因此诞生了很多测井的方法,如自然电位测井、伽马测井以及成像测井等。其中,具有人工可控性的中子源及X射线源在核仪器技术进步和工业发展的过程中逐步受到重视,并在测井领域得到推广应用,为油气等矿产资源的勘探开发提供了关键技术手段。可控中子源测井技术是通过测量中子与地层物质作用后产生的中子及伽马射线,确定地层孔隙度、密度、油气饱和度及地层元素含量,对应的测井技术类别为可控中子孔隙度测井术、中子伽马密度测井技术、脉冲中子油气饱和度测井技术和可控中子地层元素测井技术。

[0003] 岩石由各种矿物和流体组成,可控中子元素测井能够测量井周地层元素的含量,进而获取矿物、岩性和地层骨架等性质。由可控中子源发出的快中子与地层物质发生快中子非弹性散射、热中子俘获等反应。不同核素在与中子发生上述核反应的过程中,会放出具有特征性的不同能量的伽马射线。记录得到非弹伽马能谱、俘获伽马能谱、快中子时间谱和热中子衰减时间谱等谱图后,利用谱图分析方法可获取地层元素信息,应用于储层评价。

[0004] 然而,目前国内的可控中子元素测井仪面临的最大问题是其电路技术已经落后,在仪器的测量精度以及测量速度上较国外的对应仪器已有较大差距,且能谱和时间谱的数据解析算法已无法满足现有的测量需求。现有的伽马射线电信号采集方案大多基于模拟电路,信号采集及处理方案较为简单,不足以应对电信号基线漂移严重问题,且易受噪声及失真的影响,信号质量较低,导致信号幅值检测精度较低,所采集的放射性元素能谱成峰不明显,噪声较大,难以区分能谱中的核素类型。常规光谱技术识别和分类伽马和X射线光谱的弱峰非常困难。对于较低分辨率的光谱,峰值匹配技术面临复杂重叠峰的困难。此外,由于与NaI (TI) 闪烁探测器相关的限制,很少有算法处理复杂重叠峰的光谱识别。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法,快速、精准的识别放射性元素。

[0006] 为实现上述发明目的,本发明一种适用于脉冲元素测井的核素辐射信号处理及识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0007] (1)、探测器采集中子与井壁元素反应产生的伽马射线信号,然后为伽马射线信号中的元素添加标签;

[0008] (2) 采用稳压二极管以缩放参数scale将伽马电信号的幅值缩放到x伏,然后添加直流偏置DC_bias将信号调整到 $[-x/2\text{伏}, x/2\text{伏}]$ 得到前端处理信号Sig_preprocess;

[0009] (3)、利用ADC采集前端处理信号Sig_preprocess,得到原始数字信号Sig_digital,然后对原始数字信号Sig_digital做低通滤波处理,滤除高频噪声获得待校正信号Sig_denoised;

[0010] (4)、在待校正信号Sig_denoised上采集一个长度为N_sample的数据段作为基线校正参考信号Sig_sample;

[0011] (5)、以基线校正参考信号Sig_sample为窗口,对待校正信号Sig_denoised做滑动点积处理,得到互相关信号Sig_patten;

[0012] (6)、采用峰值检测方法确定互相关信号Sig_patten的峰值点,然后采用三次样条插值方式连接各峰值点,得到基线信号baseline,最后将待校正信号Sig_denoised减去基线信号baseline,得到已校正信号Sig_corrected;

[0013] (7)、采用峰值检测方法检测已校正信号Sig_corrected的脉冲幅值,并保存记录;

[0014] (8)重复步骤(1)、(4)、(5),以信号脉冲幅值为x轴,幅值计数率为y轴,统计长度为T的时间窗内的幅值信息得到一条伽马能谱;

[0015] (9)、通过改变井壁元素的类型,重复上述步骤,得到多条伽马能谱;

[0016] (10)、构建多分辨率的小波卷积神经网络模型;

[0017] 多分辨率的小波卷积神经网络模型包括输入层、小波变换模块、CNN特征提取模块、全连接层和输出层;

[0018] 其中,输入层接收归一化后的伽马能谱,小波变换模块和CNN特征提取模块用于提取伽马能谱的能谱特征,能谱特征通过全连接层分类后,通过输出层输出伽马能谱中各个元素的类型;

[0019] 最后反复训练,并通过多标签任务的二值交叉熵计算损失函数值,直到小波卷积神经网络模型收敛;

[0020] (11)、识别井壁元素;

[0021] 探测器实时采集中子与井壁元素反应产生的伽马射线信号,按照步骤(1)-(8)所述方法获取伽马能谱,然后将伽马能谱归一化处理后输入至收敛的小波卷积神经网络模型,从而输出伽马能谱中元素类型。

[0022] 本发明的发明目的是这样实现的:

[0023] 本发明一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法,通过放射性核素经过一系列过程产生伽马光子,伽马光子被探测器吸收并最后转化为电信号,得到伽马射线信号;然后通过对伽马射线信号进行放大、滤波等操作,再用ADC对处理后的波形进行采样和数字化,然后将数字化后的波形送入数字信号处理器中进行寻峰等操作,从而可得待测信号的电荷信息,接着再对电荷信息做统计形成核素能谱,最后通过多分辨率的小波卷积神经网络模型识别出伽马能谱中元素类型。

[0024] 同时,本发明一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法还具有以下有益效果:

[0025] (1)、本发明采用数字信号处理方式,明显提高了伽马能谱分辨率,噪声明显降低,且微弱元素成峰明显,体现该系统具有良好的精确性和鲁棒性;

[0026] (2)、本发明通过先验信号辅助实现基线校正,改善了基线偏移问题,进一步保证了基线校正的准确性。

[0027] (3)、本发明中结合小波变换与CNN特征提取的优点设计神经网络,并采用端到端的方式实现快速准确的核素识别,能满足实时性及准确性要求。

附图说明

[0028] 图1是本发明一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法流程图;

[0029] 图2是探测器的电路原理图;

[0030] 图3是多分辨率的小波卷积神经网络模型原理图;

[0031] 图4是小波变换模块和CNN特征提取模块融合后的结构示意图;

[0032] 图5是单个CNN特征提取模块的结构示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行描述,以便本领域的技术人员更好地理解本发明。需要特别提醒注意的是,在以下的描述中,当已知功能和设计的详细描述也许会淡化本发明的主要内容时,这些描述在这里将被忽略。

[0034] 实施例

[0035] 图1是本发明一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法流程图。

[0036] 在本实施例中,如图1所示,本发明一种脉冲元素测井仪的核素辐射信号处理及识别方法,包括以下步骤:

[0037] S1、探测器采集中子与井壁元素反应产生的伽马射线信号,然后为伽马射线信号中的元素添加标签;

[0038] 在本实施例中,探测器是脉冲元素测井仪的关键组成部分,且唯一一个非高温部件,如图2所示,探测器由探头(包括闪烁晶体、光电倍增管)和光电倍增管高压电路构成,用以将伽马射线的能量转换为可供测量的电信号。

[0039] 在本实施例中,脉冲元素测井仪中的FPGA选用Microsemi公司ProASIC3系列的A3P1000-PQG208I芯片来实现伽马射线信号采集与处理,通过添加标签的方式标记出伽马射线信号中各个放射性元素的类型,便于后续网络模型的训练。

[0040] S2、采用稳压二极管以缩放参数scale将伽马电信号的幅值缩放到2v,然后添加直流偏置DC_bias将信号调整到 $[-1v, 1v]$ 得到前端处理信号Sig_preprocess;

[0041] S3、利用ADC采集前端处理信号Sig_preprocess,得到原始数字信号Sig_digital,然后对原始数字信号Sig_digital做低通滤波处理,滤除高于1k hz的噪声,获得待校正信号Sig_denoised;

[0042] 在本实施例中,ADC选用ADI公司的一款12位高速、低功耗逐次逼近型ADCAD7482BSTZ。

[0043] S4、在待校正信号Sig_denoised上采集一个长度为N_sample的数据段作为基线校正参考信号Sig_sample;

[0044] S5、以基线校正参考信号Sig_sample为窗口,对待校正信号Sig_denoised做滑动点积处理,得到互相关信号Sig_patten;

[0045] S6、采用峰值检测方法确定互相关信号Sig_patten的峰值点,然后采用三次样条插值方式连接各峰值点,得到基线信号baseline,最后将待校正信号Sig_denoised减去基

线信号baseline,得到已校正信号Sig_corrected;在本实施例中,三次样条插值可以把已知数据分割成若干段,每段构造一个三次函数,并且保证分段函数的衔接处具有0阶连续,一阶导数连续,二阶导数连续的性质。

[0046] S7、采用峰值检测方法检测已校正信号Sig_corrected的脉冲幅值,并保存记录;

[0047] S8、重复步骤S1、S4、S5,以信号脉冲幅值为x轴,幅值计数率为y轴,统计长度为T的时间窗内的幅值信息得到一条伽马能谱;

[0048] S9、通过改变井壁元素的类型,重复上述步骤,得到多条伽马能谱;

[0049] S10、构建多分辨率的小波卷积神经网络模型;

[0050] 如图3所示,多分辨率的小波卷积神经网络模型包括输入层、小波变换模块、CNN特征提取模块、全连接层和输出层;在本实施例中,将小波变换模块和CNN特征提取模块融合到一个模型中,一方面,小波变换弥补了CNN作为一种有限的多分辨率分析所丢失的部分信息,另一方面,CNN又能更好的提取不同分辨率下的特征,将他们作为一个整体集成,能更有效的学习和提取数据的特征。

[0051] 其中,输入层接收归一化后的伽马能谱,小波变换模块和CNN特征提取模块用于提取伽马能谱的能谱特征,能谱特征通过全连接层分类后,通过输出层输出伽马能谱中各个元素的类型;

[0052] 在本实施例中,如图4所示,小波变换模块采用四级小波分解,其中,每一级小波分解将接收的输入分解为高频特征和低频特征,第1-4级小波分解对应的接收输入分别为伽马能谱、第一级低频特征、第二级低频特征、第三级低频特征;

[0053] 第一级高频特征经一层1*1卷积层和一层降采样层产生第一级剩余连接;第一级高频特征以行拼接形式拼接第一级低频特征并经第一级特征提取模块产生第一级卷积输出;第二级小波高频特征和第二级小波低频特征以行拼接形式拼接后分别经1层1*1卷积层和1层1*5、卷积核数量为64的卷积层产生第一级小波连接和第一级小波卷积输出;第一级剩余连接、第一级卷积输出、第一级小波连接和第一级小波卷积输出以列拼接的形式拼接形成第一级特征;第一级特征经一层1*1卷积层和一层降采样层产生第二级剩余连接;第一级特征经第二级特征提取模块产生第二级卷积输出;第三级小波高频特征和第三级小波低频特征以行拼接形式拼接后分别经1层1*1卷积层和2层1*5、卷积核数量分别为32、64的卷积层产生第二级小波连接和第二级小波卷积输出;第二级剩余连接、第二级卷积输出、第二级小波连接和第二级小波卷积输出以列拼接的形式拼接形成第二级特征;第二级特征经一层1*1卷积层和一层降采样层产生第三级剩余连接;第二级特征经第三级特征提取模块产生第三级卷积输出;第四级小波高频特征和第四级小波低频特征以行拼接形式拼接后分别经1层1*1卷积层和3层1*5、卷积核数量分别为32、64、128的卷积层产生第三级小波连接和第三级小波卷积输出;第三级剩余连接、第三级卷积输出、第三级小波连接和第三级小波卷积输出以列拼接的形式拼接形成第三级特征;第三级特征经一层1*1卷积层和一层降采样层产生第四级剩余连接;第三级特征经第四级特征提取模块产生第四级卷积输出;第四级剩余连接和第四级卷积输出以列拼接的形式拼接形成第四级特征;第四级特征作为小波变换模块和特征提取模块所提取出来的特征输入全连接层做分类。其中,1*1卷积层连接不同小波分辨率下的特征,形成剩余连接,以此防止网络梯度消失问题。

[0054] 如图5所示,CNN特征提取模块由两层卷积层和一层降采样层组成,其中,每一层卷

积层的卷积核长度为5。CNN特征提取模块采用以降采样降低特征维度同时倍增滤波器数量的形式,既降低了输出层特征维度,又减轻了了特征消失问题。

[0055] 最后反复训练,并通过多标签任务的二值交叉熵计算损失函数值,直到小波卷积神经网络模型收敛;

[0056] S11、识别井壁元素;

[0057] 探测器实时采集中子与井壁元素反应产生的伽马射线信号,按照步骤S1-S8所述方法获取伽马能谱,然后将伽马能谱归一化处理后输入至收敛的小波卷积神经网络模型,从而输出伽马能谱中元素类型。

[0058] 尽管上面对本发明说明性的具体实施方式进行了描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。



图1

