

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 6 月 26 日 (26.06.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/130321 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01V 1/32 (2006.01) **H04N 1/41** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2024/126405
- (22) 国际申请日: 2024 年 10 月 22 日 (22.10.2024)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202311754741.4 2023年12月19日 (19.12.2023) CN
- (71) 申请人: 中国石油天然气集团有限公司 (**CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION**) [CN/CN]; 中国北京市东城区东直门北大街 9 号 100007 (CN)。中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司 (**BGP INC., CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION**) [CN/CN]; 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。
- (72) 发明人: 闫海洋 (**YAN, Haiyang**); 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。徐朝红

(**XU, Zhaohong**); 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。孙赞东(**SUN, Zandong**); 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。刘昭(**LIU, Zhao**); 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。朱兴卉(**ZHU, Xinghui**); 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。倪琳(**NI, Lin**); 中国河北省保定市涿州市范阳西路189号 072751 (CN)。

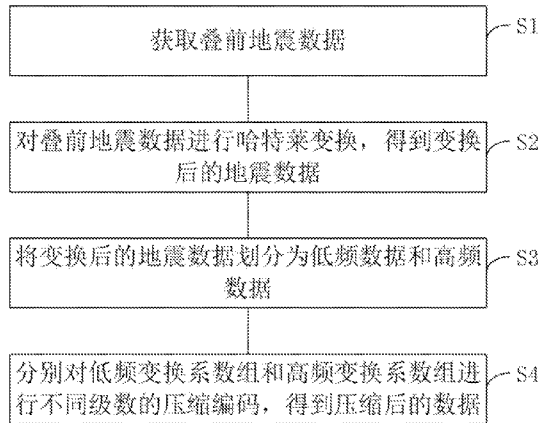
(74) 代理人: 北京润平知识产权代理有限公司 (**RUNPING & PARTNERS**); 中国北京市海淀区北四环西路9号银谷大厦515室 100190 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) **Title:** FREQUENCY-DIVISION COMPRESSION METHOD AND APPARATUS FOR PRE-STACK SEISMIC DATA, AND DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 叠前地震数据分频压缩方法、装置、设备及存储介质

[图 5]



- S1 Acquire pre-stack seismic data
S2 Perform a Hartley transform on the pre-stack seismic data, so as to obtain transformed seismic data
S3 Divide the transformed seismic data into low-frequency data and high-frequency data
S4 Respectively perform compression coding at different levels on a low-frequency transform coefficient group and a high-frequency transform coefficient group, so as to obtain compressed data

(57) **Abstract:** A frequency-division compression method for pre-stack seismic data. The method comprises: acquiring pre-stack seismic data (S1); performing a Hartley transform on the pre-stack seismic data, so as to obtain transformed seismic data (S2); dividing the transformed seismic data into low-frequency data and high-frequency data (S3), wherein the low-frequency data comprises at least one low-frequency transform coefficient group, and the high-frequency data comprises at least one high-frequency transform coefficient group; and respectively performing compression coding at different levels on the low-frequency transform coefficient group and the high-frequency transform coefficient group, so as to obtain compressed data (S4), wherein the compression coding level of the low-frequency transform coefficient group is greater than the compression coding level of the high-frequency transform coefficient group. Further provided is a frequency-division compression apparatus for pre-stack seismic data. High-level coding is performed on a low-frequency portion, in which the main energy of seismic data is concentrated, so as to ensure a signal-to-noise ratio, and low-level coding is performed on a high-frequency portion, so as to increase a compression ratio.



SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种叠前地震数据分频压缩方法, 包括: 获取叠前地震数据 (S1); 对叠前地震数据进行哈特
莱变换, 得到变换后的地震数据 (S2); 将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据 (S3); 低频数
据包括至少一个低频变换系数组, 高频数据包括至少一个高频变换系数组; 分别对低频变换系数组和高
频变换系数组进行不同级数的压缩编码, 得到压缩后的数据 (S4), 低频变换系数组的压缩编码级数大
于高频变换系数组的压缩编码级数。还提供一种叠前地震数据分频压缩装置。对集中了地震数据主要能
量的低频部分进行高级数编码以保证信噪比, 对高频部分进行低级数编码以提高压缩比。

说明书

发明名称: 叠前地震数据分频压缩方法、装置、设备及存储介质 技术领域

[0001] 本发明涉及油气勘探领域,涉及地震资料采集、信号处理技术,具体地涉及一种叠前地震数据分频压缩方法、一种叠前地震数据分频压缩装置、一种计算机设备及一种计算机可读存储介质。

背景技术

[0002] 随着石油地球物理勘探技术的迅猛发展,以及对勘探精度要求越来越高,地震勘探仪器也向着多维、多分量、多参数和高分辨率迈进,地震勘探数据量随之呈指数增长,面对海量数据实时回收、信道带宽传输制约的现状,如何提高地震勘探系统海量数据实时传输能力是制约生产效率的一个重要瓶颈问题。

[0003] 地震数据的压缩与重构技术为解决该问题提供了有效途径。地震数据压缩是解决海量地震数据传输及存储的一项关键技术。数据压缩可以从传输的源头减少数据量,提高数据的实时处理速度和节省存储空间。

[0004] 地震勘探数据压缩方法按照有无信息丢失可分为无损压缩和有损压缩两大类:无损压缩能保证解压数据与原始数据完全一样,特别适合于对解压后还需要做进一步处理的地震数据进行压缩,但其压缩效率低,一般压缩倍数小于2;有损压缩在允许有少量信息损失的情况下可以获得高倍压缩,压缩倍数较高,但存在信息丢失等问题。

[0005] 如何在保障信息完整性的情况下,尽可能的压缩数据,仍然是需要解决的问题。

[0006] 发明内容

[0007] 本发明实施方式的目的是提供一种叠前地震数据分频压缩方法、装置、设备及存储介质,该方法通过哈特莱变换将叠前地震数据中的高频部分和低频部分区分开,然后分别对低频部分和高频部分进行不同级数的压缩编码,将集中了地震数据主要能量的低频部分进行高级数编码,保证压缩数据的信噪比,高频部分进行低级数编码,提高数据的压缩比。

- [0008] 为了实现上述目的，本发明第一方面提供一种叠前地震数据分频压缩方法，所述方法包括：
- [0009] 获取叠前地震数据；
- [0010] 对叠前地震数据进行哈特莱变换，得到变换后的地震数据；
- [0011] 将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据；所述低频数据包括至少一个低频变换系数组，所述高频数据包括至少一个高频变换系数组；
- [0012] 分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码，得到压缩后的数据，所述低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，所述压缩后的数据包括各级目标编码符号组和各级辅助扫描数据；
- [0013] 所述压缩编码包括：
- [0014] 在主扫描阶段，对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，逐级编码中的每一级编码分别对应一个阈值，所述初始编码符号组包括重要编码符号和次要编码符号；删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组；
- [0015] 根据初级编码符号组中的重要编码符号确定变换系数组中的重要变换系数；
- [0016] 在辅助扫描阶段，根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据。
- [0017] 根据上述技术手段，通过哈特莱变换将叠前地震数据中的高频部分和低频部分区分开，然后分别对低频部分和高频部分进行不同级数的压缩编码，将集中了地震数据主要能量的低频部分进行高级数编码，保证压缩数据的信噪比，高频部分进行低级数编码，提高数据的压缩比，同时，在压缩编码过程中，将最后一个重要编码符号后面的次要编码符号删除，在保障数据完整性的同时，进一步减少压缩编码后的数据量，节约数据传输资源。
- [0018] 在本申请实施例中，将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，包括：
- [0019] 根据地震数据的采集参数及资料品质将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。
- [0020] 根据上述技术手段，可以更准确的将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。

[0021] 在本申请实施例中，所述资料品质包括奈奎斯特频率，所述采样参数包括：频率采样间隔；

[0022] 根据地震数据的采集参数及资料品质将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，包括：

[0023] 根据奈奎斯特频率以及频率采样间隔计算确定低频数据的频率范围以及高频数据的频率范围；

[0024] 根据确定的频率范围将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。

[0025] 根据上述技术手段，依据数据采集参数来划分高频数据和低频数据，划分方式与数据实际更相符，更有利于后续压缩后保证数据的完整性。

[0026] 在本申请实施例中，所述低频数据的频率范围满足如下关系：

$$-\frac{f_{\max}}{2} + df \leq f_1 < \frac{f_{\max}}{2} ;$$

[0027] 所述高频数据的频率范围满足如下关系：

$$-f_{\max} \leq f_2 < -\frac{f_{\max}}{2} + df \text{ 或 } \frac{f_{\max}}{2} + df \leq f_2 < f_{\max} ;$$

[0029] 其中， f_1 为低频频率， f_2 为高频频率， $f_{\max}$ 为奈奎斯特频率， df 为频率采样间隔。

[0030] 根据上述技术手段，可以准确将变换后的数据划分为高频部分和低频部分。

[0031] 在本申请实施例中，在主扫描阶段，对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，包括：

[0032] 根据迭代阈值函数以及变换系数组确定当前级编码扫描对应的第一阈值；

[0033] 比较所述变换系数组中每一个变换系数的绝对值与所述第一阈值的大小关系；

[0034] 若所述变换系数的绝对值大于或等于所述第一阈值，则将所述变换系数编码为符号P或符号N；其中，所述符号P对应于取值为正的重要变换系数，所述符号N对应的于取值为负的重要变换系数，所述符号P和所述符号N为重要编码符号；

[0035] 若所述变换系数的绝对值小于所述第一阈值，则将所述变换系数编码为符号T或符号Z或不编码；其中，所述符号T和所述符号Z为次要编码符号；

- [0036] 根据所述符号P、所述符号N、所述符号T和所述符号Z，得到当前级初始编码符号组。
- [0037] 根据上述技术手段，将变换系数组转换为初始编码符号组。
- [0038] 在本申请实施例中，在辅助扫描阶段，根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据，包括：
- [0039] 根据所述迭代阈值函数和所述变换系数组确定当前级编码对应的阈值；
- [0040] 根据当前级编码对应的阈值，确定当前级编码对应的量化区间，所述量化区间被分为2个子区间；
- [0041] 根据当前级编码对应的量化区间，确定每一个重要变换系数的当前级量化结果；
- [0042] 根据每一个重要变换系数的当前级量化结果，输出当前级辅助扫描数据。
- [0043] 在本申请实施例中，根据当前级编码对应的量化区间，确定每一个重要变换系数的当前级量化结果，包括：
- [0044] 若所述重要变换系数属于所述编码对应的量化区间的前一个子区间，则量化结果为0，若所述重要变换系数属于所述编码对应的量化区间的后一个子区间，则量化结果为1。
- [0045] 在本申请实施例中，在分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码之后，所述方法还包括：
- [0046] 对压缩后的数据进行相应级数的解码，得到解码后的数据；
- [0047] 将解码后的数据合并后进行哈特莱反变换，得到重构地震数据。
- [0048] 根据上述技术手段，将压缩编码后的数据还原得到重构地震数据。
- [0049] 本申请第二方面提供一种叠前地震数据分频压缩装置，所述装置包括：
- [0050] 数据获取单元，用于获取叠前地震数据；
- [0051] 数据变换单元，用于对叠前地震数据进行哈特莱变换，得到变换后的地震数据；

- [0052] 数据划分单元，用于将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据；所述低频数据包括至少一个低频变换系数组，所述高频数据包括至少一个高频变换系数组；
- [0053] 数据压缩单元，用于分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码，得到压缩后的数据，所述低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，所述压缩后的数据包括各级目标编码符号组和各级辅助扫描数据；
- [0054] 所述数据压缩单元包括：
- [0055] 主扫描模块，用于对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，逐级编码中的每一级编码分别对应一个阈值，所述初始编码符号组包括重要编码符号和次要编码符号；删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组；
- [0056] 确定模块，用于根据初级编码符号组中的重要编码符号确定变换系数组中的重要变换系数；
- [0057] 辅助扫描模块，用于根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据。
- [0058] 根据上述技术手段，通过哈特莱变换将叠前地震数据中的高频部分和低频部分区分开，然后分别对低频部分和高频部分进行不同级数的压缩编码，将集中了地震数据主要能量的低频部分进行高级数编码，保证压缩数据的信噪比，高频部分进行低级数编码，提高数据的压缩比，同时，在压缩编码过程中，将最后一个重要编码符号后面的次要编码符号删除，在保障数据完整性的同时，进一步减少压缩编码后的数据量，节约数据传输资源。
- [0059] 本申请第三方面提供一种计算机设备，所述计算机设备包括处理器和存储器，所述存储器中存储有计算机程序，所述计算机程序由所述处理器加载并执行以实现所述的叠前地震数据分频压缩方法。
- [0060] 本申请第四方面提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质中存储有计算机程序，所述计算机程序由处理器加载并执行以实现所述的叠前地震数据分频压缩方法。

[0061] 本申请第五方面提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序存储在计算机可读存储介质中，处理器从所述计算机可读存储介质读取并执行所述计算机程序，以实现所述的叠前地震数据分频压缩方法。

[0062] 通过上述技术方案，通过对哈特莱域高频和低频数据分开进行EZW编码，由于地震数据的能量主要集中在低频部分，低频数据编码级数高，保证了压缩数据的信噪比，高频数据编码级数低，提高了数据的压缩比。本方法能够较好的同时保证较高的信噪比和压缩比，更符合地震数据高精度压缩要求。

[0063] 本发明实施方式的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0064] 附图是用来提供对本发明实施方式的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明实施方式，但并不构成对本发明实施方式的限制。在附图中：

[0065] 图1是EZW编码方法提供的主扫描编码的示意图；

[0066] 图2是EZW编码方法提供的 8×8 小波系数组的示意图；

[0067] 图3是EZW编码方法提供的第1级主扫描编码的示意图；

[0068] 图4是EZW编码方法提供的第2级主扫描编码的示意图；

[0069] 图5是本申请一种实施方式提供的叠前地震数据分频压缩方法流程图；

[0070] 图6是本申请一种实施方式提供的一个Sigsbee 2A模型单炮采集的叠前地震数据示意图；

[0071] 图7是本申请一种实施方式提供的哈特莱变换结果示意图；

[0072] 图8a是本申请一种实施方式提供的低频数据部分示意图；

[0073] 图8b是本申请一种实施方式提供的高频数据部分示意图；

[0074] 图9是本申请一种实施方式提供的低频编码级数8时，不同高频编码级数解压数据信噪比对比示意图；

[0075] 图10是本申请一种实施方式提供的低频编码级数8时，不同高频编码级数解压数据压缩比对比示意图；

[0076] 图11是本申请一种实施方式提供的低频编码级数10时，不同高频编码级数解压数据信噪比对比示意图；

[0077] 图12是本申请一种实施方式提供的低频编码级数10时，不同高频编码级数解压数据压缩比对比示意图；

[0078] 图13本申请一种实施方式提供的叠前地震数据分频压缩装置框图。

具体实施方式

[0079] 以下结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明，并不用于限制本发明。

[0080] 在对本申请技术方案进行介绍说明之前，先对本申请涉及的一些概念进行定义和说明。

[0081] **EZW算法：**EZW是一种图像编码算法。它的核心是在小波域进行逐级编码和量化。主扫描通过逐级编码确定重要系数的符号和空间位置；辅助扫描只对主扫描中的重要系数进行精细量化。

[0082] EZW算法的步骤有以下3步。

[0083] (1)确定迭代阈值公式。EZW采用逐级量化编码，逐级量化依次应用一系列阈值 $T_1, T_2, \dots, T_N$ 来确定小波系数的重要性：

$$\begin{aligned} T_1 &= 2^{\lfloor \log_2 \max(|c|) \rfloor} \\ T_i &= T_1 / 2^{i-1} \end{aligned} \quad (\text{公式 1})$$

[0084] 其中， c 为小波系数， N 为最大编码级数， T_i 为第 i 次编码对应的阈值。

[0085] (2)主扫描。主扫描用于确定重要系数的符号和空间位置，通过逐级扫描进行粗量化，通过零树结构提高编码效率。请参考图1，其示出了EZW算法提供的主扫描编码的示意图。首先利用小波系数的零树特性，在第 i 级扫描时，对小波系数做标记，当小波系数绝对值大于 T_i 时，则其为第 i 级扫描的重要系数，编码为符号P(正的重要系数)或符号N(负的重要系数)；否则其为不重要系数。如果重要系数在第 i 级扫描出来，则不会在下一级再继续进行扫描和编码。如果小波系数是关于阈值 T_i 的不重要系数，并且其子孙都小于阈值 T_i ，那么其为零树根T，零树

根的子树不需要编码；但在该系数的子树中若存在大于设定阈值 T_i 的系数，则其为孤立零值Z。

[0086] (3)辅助扫描。对主扫描表的重要系数(P与N对应的小波系数)进行精细量化。在第 i 级扫描时，量化区间的最大值是初始阈值 T_1 的2倍，最小值为当前阈值 T_i ，总的量化区间为 $[T_i, 2T_i)$ ，量化间隔为 T_i ，故第 i 级扫描的量化器数目为(请参考公式2)：

$$Q = \frac{2T_i - T_l}{T_i} \quad (\text{公式 2})$$

[0087] 量化器区间为 $[dT_i, dT_i + T_i)$ ，其中 $1 \leq d \leq Q$ ，将其等分为2个量子子区间 $[dT_i, dT_i + 0.5T_i)$ 和 $[dT_i + 0.5T_i, dT_i + T_i)$ 。若小波系数属于前一子区间，则输出量化符号“0”，否则输出量化符号为“1”。输出的符号“0”和“1”由一个辅助扫描表记录。确定量化器数目和量化区间后，就要确定每个量化器中“0”和“1”对应的量化值。在第 q 个量化器中，符号为“0”的重构值为，请参考公式3：

[0088] $T_i(q+0.25)$ (公式3)

[0089] 符号为“1”的重构值为，请参考公式4：

[0090] $T_i(q+0.75)$ (公式4)

[0091] 上一级编码的重要系数要在下一级编码中继续量化，下一级编码的重要系数不会在上一级中量化，从而减少量化输出的符号数目。由于小波系数的稀疏性，大的重要系数被精细量化(被量化的次数多)，小的重要系数量化次数少，占的位数少。

[0092] 请参考图2，其示出了一个实施例提供的 8×8 小波系数组的示意图。如图2所示，其中绝对值最大的小波系数为63，因此根据公式1，可以得到

$$T_1 = 2^{\lfloor \log_2 \max[63] \rfloor} = 32, \text{ 根据 } T_i = T_1 / 2^{i-1}, \text{ 可以得到 } T_1 = 32, T_2 = 16, T_3 = 8, T_4 =$$

4，即第1级编码对应的阈值为32，第2级编码对应的阈值为16，第3级编码对应的阈值为8，第4级编码对应的阈值为4。

[0093] 请参考表1，其示出了使用EZW算法对图2所示的小波系数进行主扫描和辅助扫描输出的符号。在第1级主扫描中，以阈值为32，对图2中的小波系数进行扫描，若小波系数的绝对值大于或等于32则该小波系数被编码为符号P或符号N，

代表其为重要的小波系数，其中若小波系数为正数则被编码为P，若小波系数为负数则被编码为N，若小波系数的绝对值小于32，通过判断其是否为零树的子孙系数，对其进行编码或者对其不进行编码。

[0094] 示例性地，第1级主扫描中，小波系数-31(21处)不是零树的子孙系数且该小波系数的子孙系数存在重要系数，因此被编码为Z，代表其为孤立零值。示例性地，小波系数23(22处)不是零树的子孙系数且该小波系数的子孙系数不存在重要系数，因此被编码为T，代表其为零树根。

[0095] 由于图2中小波系数63(23处)、小波系数-34(24处)、小波系数49(25处)和小波系数47(26处)的绝对值大于第1级编码对应的阈值32，因此在第1级主扫描中对应的编码分别为P、N、P和P。请参考图3，其示出了EZW算法一个实施例提供的第1级主扫描编码的示意图。图中P₁中的P代表将图2中63的编码符号编码为P，下标1代表该编码符号对应了表1中第1级主扫描输出序列的第1个符号，并且当一个小波系数的输出符号为T时，它的所有子孙系数就不再扫描，并用“×”表示。

[0096] 在第1级辅助扫描中，是对第1级主扫描中的重要小波系数63、-34、49和47进行量化，示例性地，对于小波系数63，确定其辅助扫描输出的量化符号的过程如下：

[0097] (1)确定第1级主扫描的量化器，包括确定量化器数目和量化器区间。根据公式2，量化器数目为 $Q = \frac{2T_1 - T_i}{T_i} = \frac{2 \times 32 - 32}{32} = 1$ ，因此d的取值为1，量化器区间为

$[dT_i, dT_i + T_i)$ ，即 $[32, 64)$ ，将其等分为2个量子子区间 $[32, 48)$ 和 $[48, 64)$ 。

[0098] (2)确定小波系数编码字符。小波系数63处于区间 $[32, 64)$ 的后一个子区间 $[48, 64)$ 中，因此辅助扫描的量化符号为1(对应第1级辅助扫描输出的第1个字符“1”)；示例性地，小波系数-34的绝对值处于区间 $[32, 64)$ 的前一个子区间 $[32, 48)$ 中，因此辅助扫描编码字符为0(对应第1级辅助扫描输出的第2个字符“0”)。

[0099] 根据上述方法可以确定第2级的主扫描和辅助扫描的编码字符。在第2级主扫描中，以阈值为16，对图2中的小波系数进行扫描。请参考图4，其示出了本申请一个实施例提供的第2级主扫描编码的示意图。由于图2中小波系数63、-34、49和

47在第1级主扫描中已经被编码，用⊗标记，表示在第2级主扫描中，不对其进行编码。

[0100] 第2级主扫描中将小波系数-31(21处)、23(22处)分别编码为符号N、符号P。在第2级辅助扫描中，是对第1级主扫描中的重要小波系数63、-34、49和47和第2级主扫描中重要小波系数-31和23进行量化，示例性地，对于小波系数63，确定其辅助扫描输出的符号的过程如下：

[0101] (1)确定第1级主扫描的量化器，包括确定量化器数目和量化器区间。根据公式2，量化器数目为
$$Q = \frac{2T_1 - T_i}{T_i} = \frac{2 \times 32 - 16}{16} = 3,$$
因此d的取值为1、2、3，第1个

量化器区间为[16, 32)，第2个量化器区间为[32, 48)，第3个量化器区间为[48, 64)。

[0102] (2)确定小波系数编码字符。小波系数63处于第3个量化器区间为[48, 64)的最后一个子区间[56, 64)中，因此辅助扫描编码字符为1(对应第2级辅助扫描输出的第1个字符“1”)；示例性地，小波系数-34的绝对值位于第2个量化器区间为[32, 48)的前一个子区间[32, 40)中，因此辅助扫描编码字符为0(对应第1级辅助扫描输出的第2个字符“0”)。

[0103] 根据上述方法，可以确定出每一级主扫描和辅助扫描的编码符号。见下表1所示。

[0104] 表1

第1级主扫描	PNZIPTTTTZZTTZZZZPZZ
第1级辅助扫描	1010
第2级主扫描	NPTTTTZZTTTTZZZZZZ
第2级辅助扫描	100110
第3级主扫描	PPNPPNTTNNPZPZZNZZZZZZZZPZZPZZZZZZZZPZZZZZZZZZZ
第3级辅助扫描	10011101111011011000
第4级主扫描	NZPZPPPZPNPZZZZNZZZZZZPPNPPPPZZZZZZPZPZZZPNP
第4级辅助扫描	11011111011001000001110110100010010101100

[0105] 通过上述方法对小波系数进行逐级编码，上一级编码出的次要编码符号孤立零值(符号Z)和零树根(符号T)也会在下一级进行重新扫描和编码，请参考图3中的31处、32处和图4中的对应的41处、42处，该小波系数在第1级主扫描中进行编码

的同时，也在第2级主扫描中进行编码，这样会导致编码出的孤立零值和零树根的数量增多，降低数据压缩比，并且需要占用更多的存储空间。

[0106] 因此，本申请提出一种叠前地震数据分频压缩方法，该方法首先对地震数据进行哈特莱域变换，然后根据地震数据本身采集参数与资料品质，划分低频部分和高频部分；低频数据编码级数高，保证压缩数据的信噪比，高频数据编码级数低，提高数据的压缩比。在此基础上，采用改进的EZW算法，在每一级主扫描完成后，删除得到的初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到目标编码符号组，实现进一步减少数据量，节省存储空间，减少对数据传输通道的占用。

[0107] 图5是本发明一种实施方式提供的叠前地震数据分频压缩方法流程图。该方法各步骤的执行主体可以是计算机设备。如图5所示，所述方法包括如下步骤S1-S4。

[0108] S1：获取叠前地震数据。

[0109] 在本申请实施例中，叠前地震数据是指经过采集和处理，但未进行地震偏移校正及叠加的地震数据。它包含了从地震仪器记录的地震波信号的全部信息，包括地下介质的反射和折射特征。叠前地震数据可以用于地震成像和地下构造解释，但由于未经过偏移校正，位于不同位置的地下界面可能会有错位的现象。如图6所示，该图示出了一个Sigsbee 2A模型单炮采集的叠前地震数据。

[0110] S2：对叠前地震数据进行哈特莱变换，得到变换后的地震数据。按下式对地震数据进行变换：

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos 2\pi f t dt;$$

[0111] 其中， $x(t)$ 为地震数据， $\cos = \cos t + \sin t$ ， f 为频率， t 为时间， dt 为时间的微分。哈特莱变换将叠前地震数据中高频部分和低频部分分开，变换后的地震数据如图7所示。

[0112] S3：将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据；所述低频数据包括至少一个低频变换系数组，所述高频数据包括至少一个高频变换系数组。

[0113] 在本申请实施例中，将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，包括：

[0114] 根据地震数据的采集参数及资料品质将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。

[0115] 根据上述技术手段，可以更准确的将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。

[0116] 在本申请实施例中，所述资料品质包括奈奎斯特频率，所述采样参数包括：频率采样间隔；

[0117] 首先，根据地震数据的采集参数及资料品质将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，包括：

[0118] 根据奈奎斯特频率以及频率采样间隔计算确定低频数据的频率范围以及高频数据的频率范围，所述低频数据的频率范围满足如下关系：

$$-\frac{f_{\max}}{2} + df \leq f_1 < \frac{f_{\max}}{2};$$

[0119] 所述高频数据的频率范围满足如下关系：

$$-f_{\max} \leq f_2 < -\frac{f_{\max}}{2} + df \text{ 或 } \frac{f_{\max}}{2} + df \leq f_2 < f_{\max};$$

[0121] 其中， f_1 为低频频率， f_2 为高频频率， $f_{\max}$ 为奈奎斯特频率， df 为频率采样间隔。

[0122] 根据上述技术手段，可以准确将变换后的数据划分为高频部分和低频部分。

[0123] 然后，根据确定的频率范围将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，分频后的结果如图8a和图8b所示，图8a是低频数据部分，图8b是高频数据部分。

[0124] 根据上述技术手段，依据数据采集参数来划分高频数据和低频数据，划分方式与数据实际更相符，更有利于后续压缩后保证数据的完整性。

[0125] S4：分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码，得到压缩后的数据，所述低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，所述压缩后的数据包括各级目标编码符号组和各级辅助扫描数据。将集中了地震数据主要能量的低频部分进行高级数编码，保证压缩数据的信噪比，高频部分进行低级数编码，提高数据的压缩比。

[0126] 在本申请实施例中，所述压缩编码包括：

- [0127] 在主扫描阶段，对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，逐级编码中的每一级编码分别对应一个阈值，所述初始编码符号组包括重要编码符号和次要编码符号；删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组。
- [0128] 主扫描阶段进行逐级编码过程与上文描述的EZW编码过程相同，根据迭代阈值函数以及变换系数组确定当前级编码扫描对应的第一阈值。上文已描述通过迭代阈值函数，可以得到每一级编码对应的阈值。其中，第1级编码对应的阈值为32，第2级编码对应的阈值为16，第3级编码对应的阈值8，第4级编码对应的阈值为4。
- [0129] 比较所述变换系数组中每一个变换系数的绝对值与所述第一阈值的大小关系；
- [0130] 若所述变换系数的绝对值大于或等于所述第一阈值，则将所述变换系数编码为符号P或符号N；其中，所述符号P对应于取值为正的重要变换系数，所述符号N对应的于取值为负的重要变换系数，所述符号P和所述符号N为重要编码符号；
- [0131] 若所述变换系数的绝对值小于所述第一阈值，则将所述变换系数编码为符号T或符号Z或不编码；其中，符号T对应的变换系数为零树根，符号Z对应的变换系数为孤立零值，所述符号T和所述符号Z为次要编码符号；
- [0132] 根据所述符号P、所述符号N、所述符号T和所述符号Z，得到当前级初始编码符号组。根据上述技术手段，将变换系数组转换为初始编码符号组。然后，删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组。请参考表2，其示出了对图2中的小波系数进行主扫描最终得到的目标编码符号组如表2所示。

[0133] 表2

第 1 级主扫描	PNZTPTTTTZTTZZZZP
第 2 级主扫描	NP
第 3 级主扫描	PPNPPNTTNNPZPZZNZZZZZZZZPZZPZZZZZZZZP
第 4 级主扫描	NZPZPPPZPNPZZZZNZZZZZZZZPPNPPPPZZZZPZPZZZPNP

- [0134] 在主扫描完成后，根据初级编码符号组中的重要编码符号确定变换系数组中的重要变换系数，即主扫描阶段编码符号为P和N对应的变换系数。以图2中小波系

数为例，若是第一级扫描，则，第一阈值为32，表2中第一级主扫描的第一个符号P对应了图2中63，我们可以根据主扫描输出的P和N确定出重要变换系数，从而在辅助扫描阶段，对其进行逐级量化。

[0135] 在辅助扫描阶段，根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据，具体包括：

[0136] 根据所述迭代阈值函数和所述变换系数组确定当前级编码对应的阈值，如前所述，在上文中，我们得到图2的小波系数组对应的每一级编码的阈值分别为： $T_1=32$ ， $T_2=16$ ， $T_3=8$ ， $T_4=4$ 。

[0137] 根据当前级编码对应的阈值，确定当前级编码对应的量化区间，所述量化区间被分为2个子区间。根据总的量化区间为 $[T_i, 2T_i)$ ，以及每一级编码对应的量化器数目以及量化器区间。可以得到，示例性地，第1级编码的量化器数目为1，量化器量化区间 $[32, 64)$ ，将其等分为2个子区间为： $[32, 48)$ 和 $[48, 64)$ 。

[0138] 示例性地，第2级编码的量化器数目为3，第1个量化器区间为 $[16, 32)$ ，将其等分为2个子区间为： $[16, 24)$ 和 $[24, 32)$ ；第2个量化器区间为 $[32, 48)$ ，将其等分为2个子区间为： $[32, 40)$ 和 $[40, 48)$ ；第3个量化器区间为 $[48, 64)$ ，将其等分为2个子区间为： $[48, 56)$ 和 $[56, 64)$ 。

[0139] 根据当前级编码对应的量化区间，确定每一个重要变换系数的当前级量化结果：若所述重要变换系数属于所述编码对应的量化区间的前一个子区间，则量化结果为0，若所述重要变换系数属于所述编码对应的量化区间的后一个子区间，则量化结果为1。小波系数63在第一级辅助扫描过程中处于区间 $[32, 64)$ 的后一个子区间 $[48, 64)$ 中，因此第一级辅助扫描的量化符号为1。在第二级辅助扫描过程中处于第3个量化器区间为 $[48, 64)$ 的后一个子区间 $[56, 64)$ 中，因此第二级辅助扫描编码字符为1。

[0140] 根据每一个重要变换系数的当前级量化结果，输出当前级辅助扫描数据。

[0141] 根据上述技术手段，通过哈特莱变换将叠前地震数据中的高频部分和低频部分区分开，然后分别对低频部分和高频部分进行不同级数的压缩编码，同时，在压缩编码过程中，将最后一个重要编码符号后面的次要编码符号删除，在保障数据完整性的同时，进一步减少压缩编码后的数据量，节约数据传输资源。

[0142] 在本申请实施例中，低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，图9示出了低频变换系数组编码级数8时，不同高频变换系数组编码级数解压数据信噪比对比，图11示出了低频变换系数组编码级数10时，不同高频变换系数组编码级数解压数据信噪比对比，从图9和图11中可以看出，高频变换系数组编码级数越高，解压数据信噪比越大，且随着高频变换系数组编码级数增加，每增加一级编码，对信噪比的影响越来越小。图10示出了低频变换系数组编码级数8时，不同高频变换系数组编码级数解压数据压缩比对比，图12示出了低频变换系数组编码级数10时，不同高频变换系数组编码级数解压数据压缩比对比，从图10和图12中可以看出，高频变换系数组编码级数越高，解压数据压缩比越低。

[0143] 为了得到最佳压缩效果，需要进行不同压缩级数的试验，固定低频变换系数组编码级数为8和10，分别进行不同高频变换系数组编码级数试验，低频变换系数组编码级数为8时，试验结果如表3所示，低频变换系数组编码级数为10时，试验结果如表4所示。

[0144] 表3

高频变换系数组编码级数	信噪比	压缩比
1	22.50	11.00
2	25.40	10.68
3	28.42	10.14
4	30.94	9.44
6	33.16	7.95
7	33.39	7.18
8	33.47	6.44

[0145] 表4

高频变换系数组编码级数	信噪比	压缩比
1	22.84	8.02
2	26.08	7.85
3	29.93	7.55
4	34.16	7.16
5	38.60	6.72
6	42.14	6.26
7	44.38	5.78
8	45.45	5.29
9	45.82	4.85
10	45.93	4.47

- [0146] 根据上述试验，得到如下试验认知：
- [0147] (1)分频压缩中随着高频编码级数的增加，信噪比增加，压缩比降低。
- [0148] (2)由于高频信息相对低频信息能量弱，在高频编码级数增加到一定程度的时候，信噪比增加不明显，压缩比降低。常规的8级EZW编码压缩数据信噪比30.82，压缩比5.71。哈特莱域分频EZW压缩低频编码级数为8，高频编码级数为4时，压缩数据信噪比30.94，压缩比9.44。常规的10级EZW编码压缩数据信噪比44.67，压缩比4.41。哈特莱域分频EZW压缩低频编码级数为10，高频编码级数为8时，压缩数据信噪比45.45，压缩比5.29。哈特莱域分频EZW压缩信噪比和压缩比均较常规的EZW压缩有所提高。
- [0149] 在本申请实施例，在分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码之后，所述方法还包括：
- [0150] 对压缩后的数据进行相应级数的解码，得到解码后的数据。具体的，根据迭代阈值函数确定每一级编码对应的量化器，量化器用于指示每一级编码分别对应的量化区间的数目以及量化区间的范围；根据量化器以及每一级编码分别对应的阈值确定重构函数；根据重构函数、编码符号组、辅助扫描数据和变换系数组确定每一个重要变换系数的重构值。

[0151] 基于上文描述的每一级编码分别对应的量化区间的数目以及量化区间的范围，对图2中的小波系数进行重构。

[0152] 对于变换系数63，其第一级主扫描输出的编码符号为P，第一级辅助扫描的编码为1，则可以确定，其大于第一级编码的阈值32，且在第一级编码中属于后一个子区间，即该变换系数的取值范围为[48, 64)，重构值为 $T_1(q+0.75)=56$ ；在第二级扫描中，第二级辅助扫描的量化器数目为3， $T_2=T_1/2=16$ 。总的量化区间为[16, 64)，63位于第 $q=3$ 个量化区间[48, 64)的后一子区间[56, 64)，重构值为 $T_2(q+0.75)=60$ ，在第三级扫描中，第三级辅助扫描的量化器数目为7， $T_3=T_2/2=8$ 。总的量化区间为[8, 64)，63位于第 $q=7$ 个量化区间[56, 64)的后一子区间[60, 64)，重构值为 $T_3(q+0.75)=62$ ；依次类推，最终可以得到解码后的重构值63。

[0153] 将解码后的数据合并后进行哈特莱反变换，得到重构地震数据。

[0154] 对合并后的数据按下式进行哈特莱反变换：

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \text{cast} 2\pi f t dt。$$

[0155] 根据上述技术手段，将压缩编码后的数据还原得到重构地震数据。

[0156] 本申请第二方面提供一种叠前地震数据分频压缩装置，如图13所示，所述装置包括：

[0157] 数据获取单元，用于获取叠前地震数据，

[0158] 数据变换单元，用于对叠前地震数据进行哈特莱变换，得到变换后的地震数据；

[0159] 数据划分单元，用于将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据；所述低频数据包括至少一个低频变换系数组，所述高频数据包括至少一个高频变换系数组；

[0160] 数据压缩单元，用于分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码，得到压缩后的数据，所述低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，所述压缩后的数据包括各级目标编码符号组和各级辅助扫描数据；

- [0161] 所述数据压缩单元包括：
- [0162] 主扫描模块，用于对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，逐级编码中的每一级编码分别对应一个阈值，所述初始编码符号组包括重要编码符号和次要编码符号；删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组；
- [0163] 确定模块，用于根据初级编码符号组中的重要编码符号确定变换系数组中的重要变换系数；
- [0164] 辅助扫描模块，用于根据每一级编码分别对应的阈值，对变换系数组中的每一个重要变换系数进行逐级量化，输出各级辅助扫描数据，所述辅助扫描数据包括每一个重要变换系数的量化级别和量化结果，所述量化级别是指所述重要变换系数量化的次数。
- [0165] 根据上述技术手段，通过哈特莱变换将叠前地震数据中的高频部分和低频部分区分开，然后分别对低频部分和高频部分进行不同级数的压缩编码，将集中了地震数据主要能量的低频部分进行高级数编码，保证压缩数据的信噪比，高频部分进行低级数编码，提高数据的压缩比，同时，在压缩编码过程中，将最后一个重要编码符号后面的次要编码符号删除，在保障数据完整性的同时，进一步减少压缩编码后的数据量，节约数据传输资源。
- [0166] 本申请第三方面提供一种计算机设备，所述计算机设备包括处理器和存储器，所述存储器中存储有计算机程序，所述计算机程序由所述处理器加载并执行以实现所述的叠前地震数据分频压缩方法。
- [0167] 本申请第四方面提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质中存储有计算机程序，所述计算机程序由处理器加载并执行以实现所述的叠前地震数据分频压缩方法。
- [0168] 本申请第五方面提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序存储在计算机可读存储介质中，处理器从所述计算机可读存储介质读取并执行所述计算机程序，以实现所述的叠前地震数据分频压缩方法。

- [0169] 本领域技术人员可以理解实现上述实施方式的方法中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件来完成，该程序存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得单片机、芯片或处理器(processor)执行本发明各个实施方式所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。
- [0170] 以上结合附图详细描述了本发明的可选实施方式，但是，本发明实施方式并不限于上述实施方式中的具体细节，在本发明实施方式的技术构思范围内，可以对本发明实施方式的技术方案进行多种简单变型，这些简单变型均属于本发明实施方式的保护范围。另外需要说明的是，在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征，在不矛盾的情况下，可以通过任何合适的方式进行组合。为了避免不必要的重复，本发明实施方式对各种可能的组合方式不再另行说明。
- [0171] 此外，本发明的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合，只要其不违背本发明实施方式的思想，其同样应当视为本发明实施方式所公开的内容。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，所述方法包括：
- 获取叠前地震数据；
- 对叠前地震数据进行哈特莱变换，得到变换后的地震数据；
- 将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据；所述低频数据包括至少一个低频变换系数组，所述高频数据包括至少一个高频变换系数组；
- 分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码，得到压缩后的数据，所述低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，所述压缩后的数据包括各级目标编码符号组和各级辅助扫描数据；
- 所述压缩编码包括：
- 在主扫描阶段，对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，逐级编码中的每一级编码分别对应一个阈值，所述初始编码符号组包括重要编码符号和次要编码符号；删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组；
- 根据初级编码符号组中的重要编码符号确定变换系数组中的重要变换系数；
- 在辅助扫描阶段，根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，包括：
- 根据地震数据的采集参数及资料品质将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。
- [权利要求 3] 根据权利要求2所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，所述资料品质包括奈奎斯特频率，所述采样参数包括频率采样间隔；

根据地震数据的采集参数及资料品质将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据，包括：

根据奈奎斯特频率以及频率采样间隔计算确定低频数据的频率范围以及高频数据的频率范围；

根据确定的频率范围将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据。

[权利要求 4]

根据权利要求3所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，所述低频数据的频率范围满足如下关系：

$$-\frac{f_{\max}}{2} + df \leq f_1 < \frac{f_{\max}}{2};$$

所述高频数据的频率范围满足如下关系：

$$-f_{\max} \leq f_2 < -\frac{f_{\max}}{2} + df \quad \text{或} \quad \frac{f_{\max}}{2} + df \leq f_2 < f_{\max};$$

其中， f_1 为低频频率， f_2 为高频频率， $f_{\max}$ 为奈奎斯特频率， df 为频率采样间隔。

[权利要求 5]

根据权利要求1所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，在主扫描阶段，对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，包括：

根据迭代阈值函数以及变换系数组确定当前级编码扫描对应的第一阈值；

比较所述变换系数组中每一个变换系数的绝对值与所述第一阈值的大小关系；

若所述变换系数的绝对值大于或等于所述第一阈值，则将所述变换系数编码为符号P或符号N；其中，所述符号P对应于取值为正的重要变换系数，所述符号N对应于取值为负的重要变换系数，所述符号P和所述符号N为重要编码符号；

若所述变换系数的绝对值小于所述第一阈值，则将所述变换系数编码为符号T或符号Z或不编码；其中，所述符号T和所述符号Z为次要编码符号；

根据所述符号P、所述符号N、所述符号T和所述符号Z，得到当前级初始编码符号组。

[权利要求 6] 根据权利要求1所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，在辅助扫描阶段，根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据，包括：

根据迭代阈值函数和所述变换系数组确定当前级编码对应的阈值；根据当前级编码对应的阈值，确定当前级编码对应的量化区间，所述量化区间被分为2个子区间；

根据当前级编码对应的量化区间，确定每一个重要变换系数的当前级量化结果；

根据每一个重要变换系数的当前级量化结果，输出当前级辅助扫描数据。

[权利要求 7] 根据权利要求6所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，根据当前级编码对应的量化区间，确定每一个重要变换系数的当前级量化结果，包括：

若所述重要变换系数属于所述编码对应的量化区间的前一个子区间，则量化结果为0，若所述重要变换系数属于所述编码对应的量化区间的后一个子区间，则量化结果为1。

[权利要求 8] 根据权利要求1所述的叠前地震数据分频压缩方法，其特征在于，在分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码之后，所述方法还包括：

对压缩后的数据进行相应级数的解码，得到解码后的数据；

将解码后的数据合并后进行哈特莱反变换，得到重构地震数据。

[权利要求 9] 一种叠前地震数据分频压缩装置，其特征在于，所述装置包括：

数据获取单元，用于获取叠前地震数据；

数据变换单元，用于对叠前地震数据进行哈特莱变换，得到变换后的地震数据；

数据划分单元，用于将变换后的地震数据划分为低频数据和高频数据；所述低频数据包括至少一个低频变换系数组，所述高频数据包括至少一个高频变换系数组；

数据压缩单元，用于分别对低频变换系数组和高频变换系数组进行不同级数的压缩编码，得到压缩后的数据，所述低频变换系数组的压缩编码级数大于高频变换系数组的压缩编码级数，所述压缩后的数据包括各级目标编码符号组和各级辅助扫描数据；

所述数据压缩单元包括：

主扫描模块，用于对变换系数组进行逐级编码扫描得到各级初始编码符号组，逐级编码中的每一级编码分别对应一个阈值，所述初始编码符号组包括重要编码符号和次要编码符号；删除各级初始编码符号组中最后一个重要编码符号后面的次要编码符号，得到各级目标编码符号组；

确定模块，用于根据初级编码符号组中的重要编码符号确定变换系数组中的重要变换系数；

辅助扫描模块，用于根据每一级编码分别对应的阈值，逐级对变换系数组中的每一个重要变换系数进行量化，输出各级辅助扫描数据。

[权利要求 10]

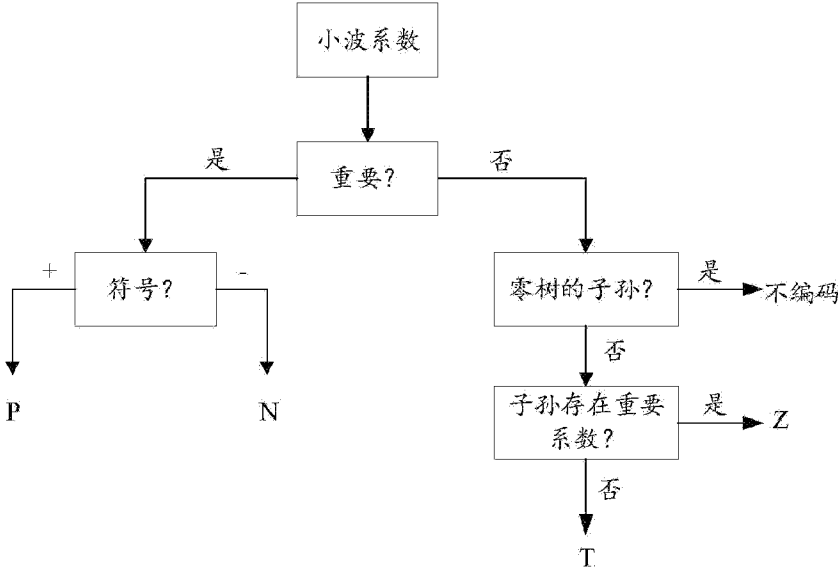
一种计算机设备，其特征在于，所述计算机设备包括处理器和存储器，所述存储器中存储有计算机程序，所述计算机程序由所述处理器加载并执行以实现如权利要求1至8任一项所述的叠前地震数据分频压缩方法。

[权利要求 11]

一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质中存储有计算机程序，所述计算机程序由处理器加载并执行以实现如权利要求1至8任一项所述的叠前地震数据分频压缩方法。

细则 26,
10.01.2025

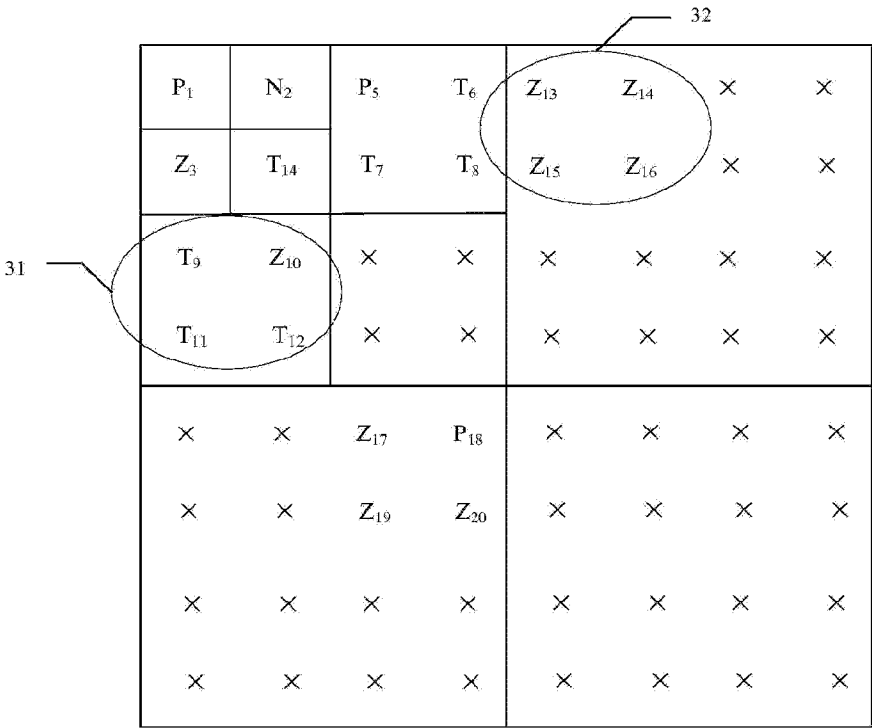
[图 1]



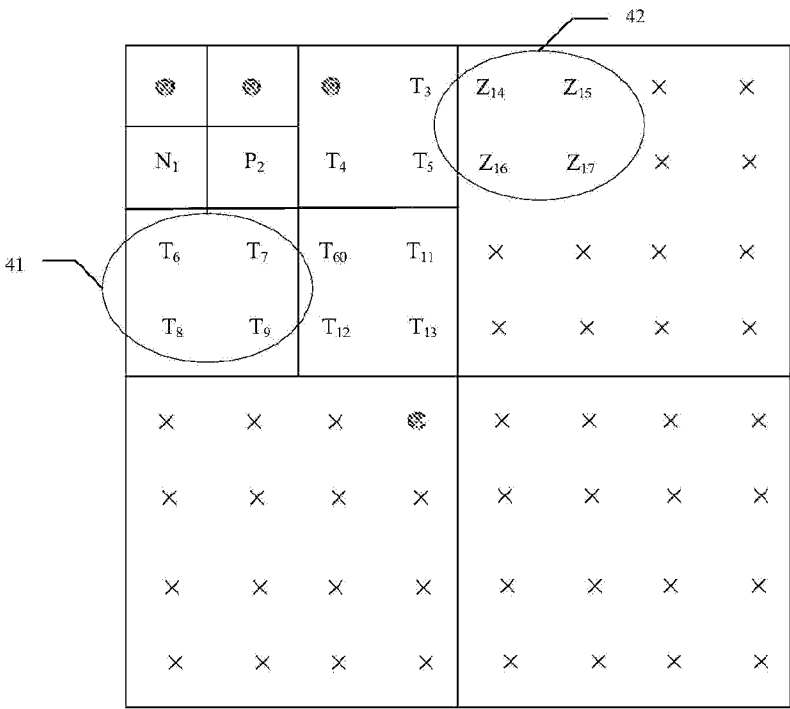
[图 2]

23	63	-34	49	10	7	13	-12	7	
21	-31	23	14	-13	3	4	6	-1	
22									
	15	14	3	-12	5	-7	3	9	
	-9	-7	14	8	4	-2	3	2	
26	-5	9	-1	47	4	6	-2	2	
	3	0	-3	2	3	-2	0	4	
	2	-3	6	-4	3	6	3	6	
	5	11	5	6	0	3	-4	4	

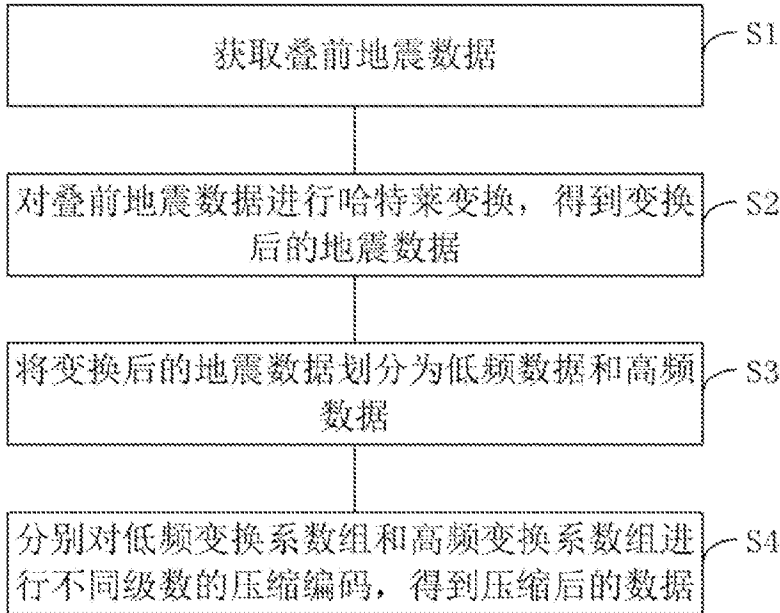
[图 3]



[图 4]

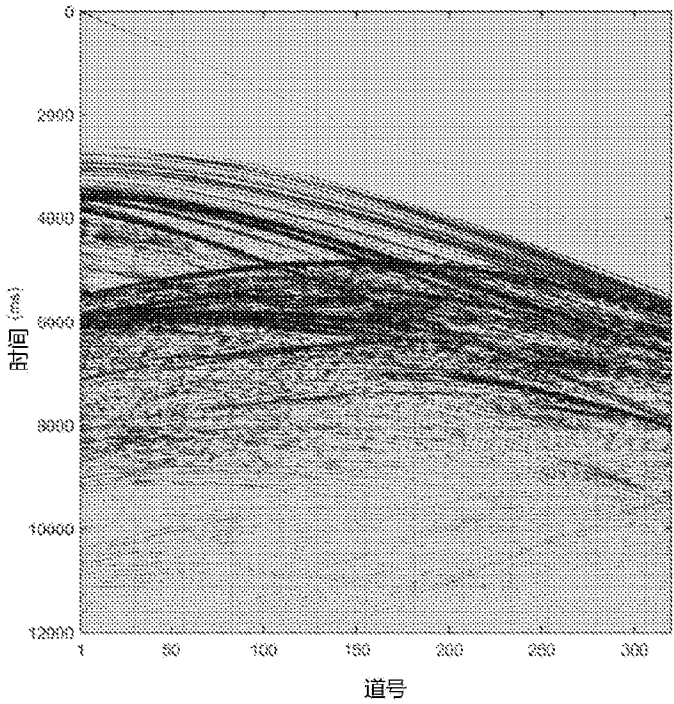


[图 5]

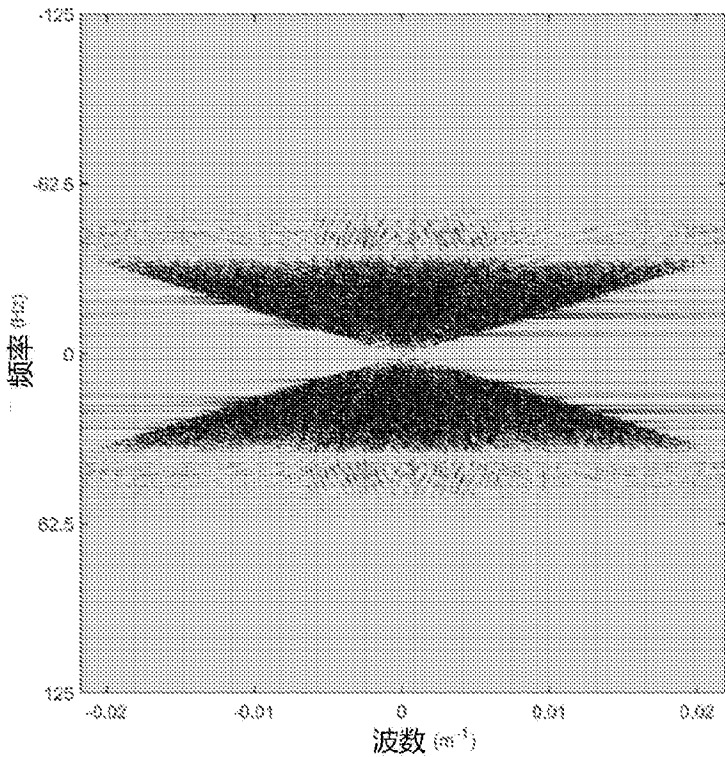


细则 26,
07.02.2025

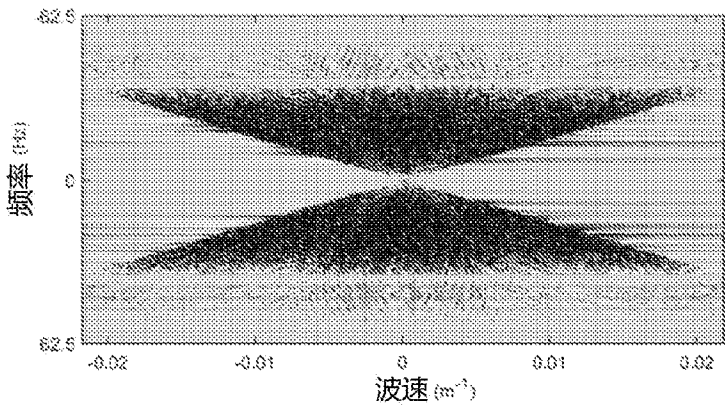
[图 6]



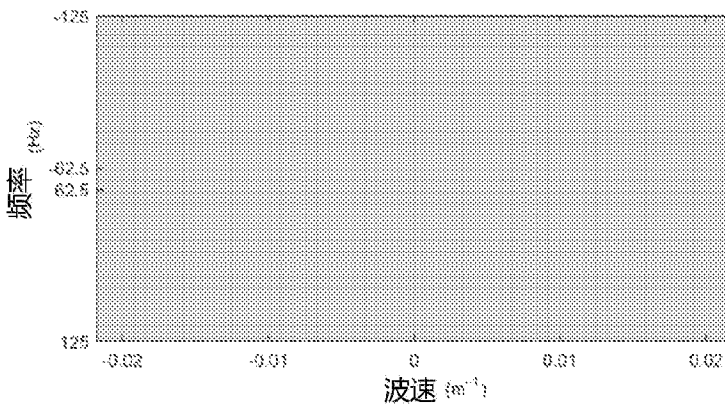
[图 7]



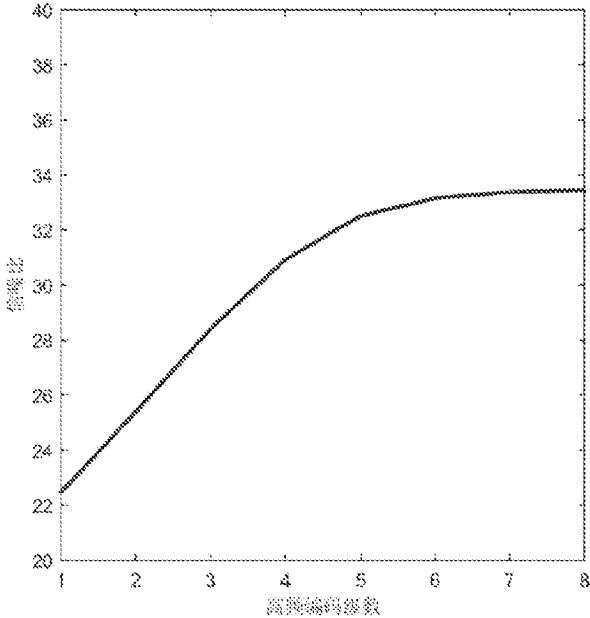
[图 8a]



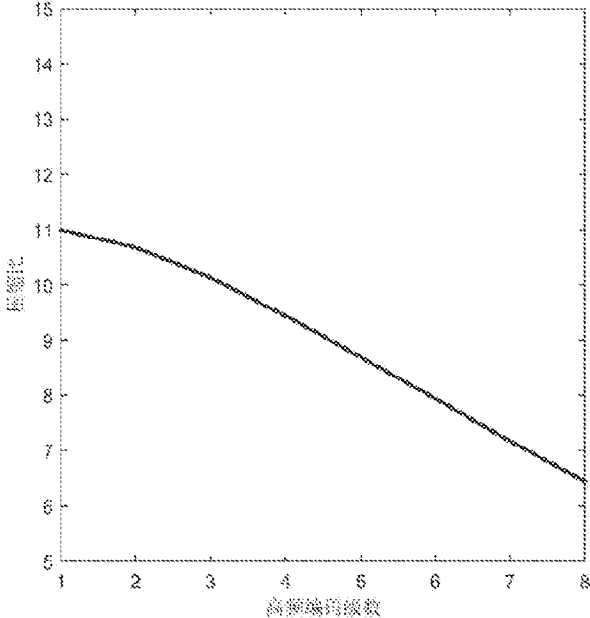
[图 8b]



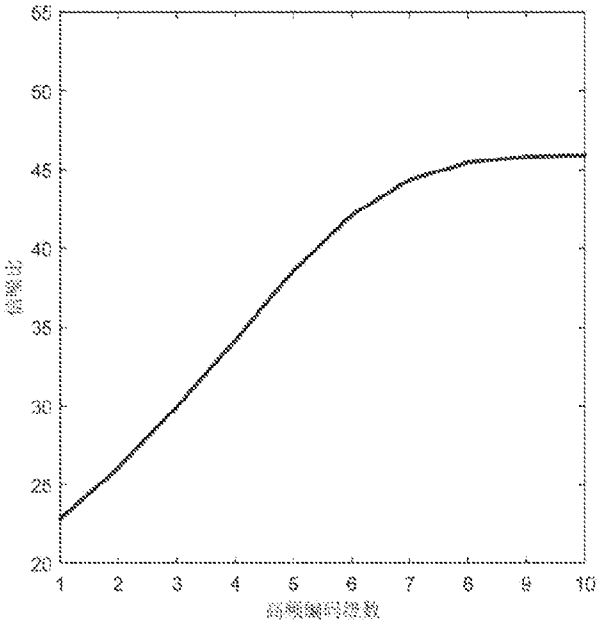
[图 9]



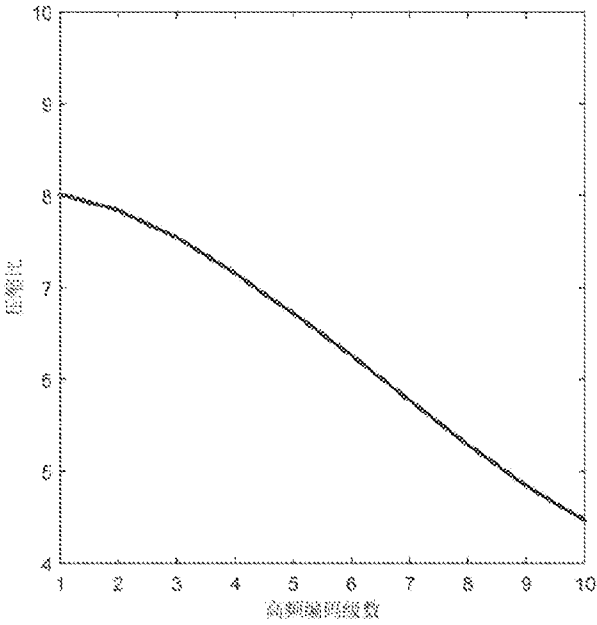
[图 10]



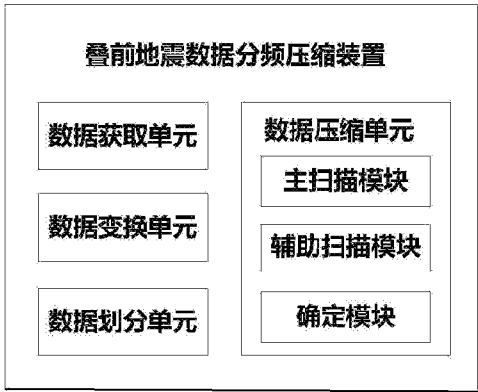
[图 11]



[图 12]



[图 13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/126405

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 1/32(2006.01)i; H04N 1/41(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC; CPC: G01V1, H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, ENTXTC, ENTXT, VEN, CJFD: 叠前, 地震, 分频, 压缩, 编码, 哈特莱, 变换, 低频, 高频, 符号, 扫描, 阈值, 重要, 次要, 量化, seismic, pre stack, compress+, Hartley, transform, DHT, FHT, high, low, frequency, coefficient?, coding, coded, symbol, scan+, encod+, threshold, important, primary, quantiz+, stage?, level?

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	徐锋涛;张正炳;桂志先 (XU, Fengtao; ZHANG, Zhengbing; GUI, Zhixian). "基于EZW算法的地震数据压缩 (Seismic Data Compression Based on EZW Algorithm)" 石油地球物理勘探 (Oil Geophysical Prospecting). Vol. 50, No. 05, 31 October 2015 (2015-10-31), 881-888 pages 882-888, and figures 1-2	1-11
A	CN 104079947 A (WUHAN UNIVERSITY) 01 October 2014 (2014-10-01) description, paragraphs 0046-0077, and figures 1-2	1-11
A	CN 104144343 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 12 November 2014 (2014-11-12) entire document	1-11
A	CN 111211787 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY et al.) 29 May 2020 (2020-05-29) entire document	1-11
A	CN 110572682 A (HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY) 13 December 2019 (2019-12-13) entire document	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"D" document cited by the applicant in the international application

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 February 2025

Date of mailing of the international search report

08 February 2025

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/126405

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6269192 B1 (SARNOFF CORP. et al.) 31 July 2001 (2001-07-31) entire document	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2024/126405

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	104079947	A	01 October 2014	None	
CN	104144343	A	12 November 2014	None	
CN	111211787	A	29 May 2020	None	
CN	110572682	A	13 December 2019	None	
US	6269192	B1	31 July 2001	None	

国际检索报告		国际申请号 PCT/CN2024/126405
A. 主题的分类 G01V 1/32(2006.01)i; H04N 1/41(2006.01)n 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC; CPC: G01V1, H04N 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS;CNTXT;ENTXTC;ENTXT;VEN;CJFD: 叠前,地震,分频,压缩,编码,哈特莱,变换,低频,高频,符号,扫描,阈值,重要,次要,量化, seismic, pre stack, compress+, Hartley, transform, DHT, FHT, high, low, frequency, coefficient?, coding, coded, symbol, scan+, encod+, threshold, important, primary, quantiz+, stage?, level?		
C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	徐锋涛;张正炳;桂志先;. "基于EZW算法的地震数据压缩" 石油地球物理勘探, 第50卷, 第05期, 2015年10月31日 (2015 - 10 - 31), 881-888 第882-888页, 图1-2	1-11
A	CN 104079947 A (武汉大学) 2014年10月1日 (2014 - 10 - 01) 说明书第0046-0077段, 图1-2	1-11
A	CN 104144343 A (东北大学) 2014年11月12日 (2014 - 11 - 12) 全文	1-11
A	CN 111211787 A (华中科技大学 等) 2020年5月29日 (2020 - 05 - 29) 全文	1-11
A	CN 110572682 A (杭州电子科技大学) 2019年12月13日 (2019 - 12 - 13) 全文	1-11
A	US 6269192 B1 (SARNOFF CORP 等) 2001年7月31日 (2001 - 07 - 31) 全文	1-11
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2025年2月7日		国际检索报告邮寄日期 2025年2月8日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		受权官员 彭齐治 电话号码 (+86) 010-62085167

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/126405

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104079947	A	2014年10月1日	无	
CN	104144343	A	2014年11月12日	无	
CN	111211787	A	2020年5月29日	无	
CN	110572682	A	2019年12月13日	无	
US	6269192	B1	2001年7月31日	无	