

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G10G 3/04 (2006.01)
G10L 11/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680004335.4

[43] 公开日 2008年1月30日

[11] 公开号 CN 101116134A

[22] 申请日 2006.11.8

[21] 申请号 200680004335.4

[30] 优先权

[32] 2005.11.8 [33] JP [31] 323153/2005

[32] 2006.10.12 [33] JP [31] 278351/2006

[86] 国际申请 PCT/JP2006/322273 2006.11.8

[87] 国际公布 WO2007/055238 日 2007.5.18

[85] 进入国家阶段日期 2007.8.8

[71] 申请人 索尼株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 小林由幸

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
代理人 黄小临

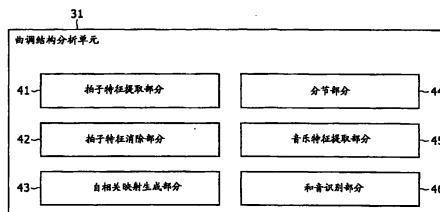
权利要求书 2 页 说明书 29 页 附图 40 页

[54] 发明名称

信息处理设备、方法及程序

[57] 摘要

本发明涉及能够用减少的操作量来分析包含调制的曲调波形的信息处理设备、方法及程序。拍子特征提取部分(41)从包含调制的曲调的波形的部分中提取涉及拍子的特征，每个部分对应于每个拍子。拍子特征消除部分(42)从所提取的每个特征的频率分量中消除相位分量。基于其相位分量已经消除了的特征，自相关映射生成部分(43)生成表示一个部分和另一部分之间的相关性的自相关信息。这使得包含调制的曲调波形能够用减少的操作量来分析。本发明可应用于信息处理设备。



1. 一种信息处理设备，包括：

第一提取装置，用于从包含调制的曲调的波形的第一部分中提取第一特征，每个第一部分对应于每个拍子，第一特征涉及拍子；

消除装置，用于从所提取的每个第一特征的频率分量中消除相位分量；
以及

生成装置，用于基于其相位分量已经被消除的第一特征，生成表示一个所述第一部分和另一个所述第一部分之间的相关性的自相关信息。

2. 根据权利要求1所述的信息处理设备，还包括：

分离装置，用于基于自相关信息，将拍子分离为多个第二部分，每个第二部分都包含一连串的具有高相关性的拍子；

第二提取装置，用于从通过所述分离所获得的每个第二部分中提取第二特征，第二特征表示曲调的音乐特征；以及

识别装置，用于基于第二特征，识别分离的第二部分中的曲调的曲调结构分量。

3. 根据权利要求1所述的信息处理设备，其中所述消除装置通过离散傅立叶变换从每个第一特征的频率分量中消除相位分量。

4. 根据权利要求2所述的信息处理设备，其中所述识别装置识别对应于曲调的和音的部分作为曲调结构分量。

5. 根据权利要求1所述的信息处理设备，其中第一特征是在第一部分中的预定数量的八度音阶中每个音调的能量。

6. 根据权利要求2所述的信息处理设备，其中第二特征是在第二部分中的特定频带的增益、音量、或关于声音源的信息。

7. 根据权利要求6所述的信息处理设备，其中第二特征是第二部分的长度、第二部分出现的次数、或第二部分连续重复的次数。

8. 根据权利要求4所述的信息处理设备，其中，基于其相位分量已经被消除的第一特征，所述生成装置以预定数量拍子的间隔计算与另一个所述第一部分的相关性，以生成自相关信息。

9. 根据权利要求1所述的信息处理设备，其中所述消除装置从已经被滑移的每个第一特征的频率分量中消除相位分量。

10. 根据权利要求 5 所述的信息处理设备，其中所述消除装置在从每个第一特征的频率分量中消除相位分量之前移位每个音调的能量。

11. 一种信息处理方法，包括：

提取步骤，用于从包含调制的曲调的波形的一些部分中提取特征，每个部分对应于每个拍子，该特征涉及拍子；

消除步骤，用于从所提取的每个特征的频率分量中消除相位分量；以及
生成步骤，用于基于其相位分量已经被消除的特征，生成表示一个所述部分和另一个所述部分之间的相关性的自相关信息。

12. 一种程序，使得计算机进行：

提取步骤，用于从包含调制的曲调的波形的一些部分中提取特征，每个部分对应于每个拍子，该特征涉及拍子；

消除步骤，用于从所提取的每个特征的频率分量中消除相位分量；以及
生成步骤，用于基于其相位分量已经被消除的特征，生成表示一个所述部分和另一个所述部分之间的相关性的自相关信息。

信息处理设备、方法及程序

技术领域

本发明涉及信息处理设备、方法及程序，以及具体地，涉及用于分析包含调制的曲调（tune）的波形的信息处理设备、方法及程序。

背景技术

已经提出了用于分析曲调结构的各种方法。具体地，通过分析如图 1 的上部所示的曲调的波形，发现曲调具有如图 1 下部所示的结构。即，假设时间从图的左侧行进到右侧，曲调开始于“简介”，其接下来的部分以顺序的“和音”、“插曲”、“独唱 A”、“独唱 B”、“和音”、“和音”、“插曲”等等组成。然后，例如，基于这种分析的结果，在曲调中识别对应于和音的部分。

在下文中，位于曲调中部并包含了主题曲中的变化且具体地，是曲调的最吸引人的部分的曲调部分将被称为“和音”。另外，用于打节拍（meter）的单位将在下文被称为“拍子（beat）”。即，可以数拍子，因为它们每个具有不变的时间间隔，且在小节（measure）中的拍子的位置在重音中产生变化（即强拍和弱拍），且其不同的组合导致不同的节拍。

还存在一种方法，其中从输入音频数据中抽取特征；计算这些特征之间的相似性以列下重复的部分（section）；集合所列的重复的部分；进行包含调制的重复部分的检测；集合包含调制的重复部分；以及从所集合的重复部分中选择适合作为和音部分的部分（例如，见专利文档 1）。

专利文档 1：日本专利公开 No.2004-233965

发明内容

本发明要解决的问题

在分析包含调制的曲调波形的情况下，处理调制包含了增长的操作量，且因此，不幸地，用于分析曲调波形所需的时间增加了。

例如，在日本专利公开 No.2004-233965 中公开的方法中，通过检测包含调制的重复部分的来选择作为和音部分适当的部分。然而，以此方法，选择

适当的和音部分有时要花费较长时间。

已经考虑上述环境设计了本发明，本发明使得包含调制的曲调波形的分析能够用减少的操作量来达到。

解决问题的手段

本发明的一个发明是一种信息处理设备，包括：第一提取装置，用于从包含调制的曲调的波形的第一部分中提取第一特征，每个第一部分对应于每个拍子，第一特征涉及拍子；消除装置，用于从所提取的每个第一特征的频率分量中消除相位分量；以及生成装置，用于基于其相位分量已经被消除的第一特征，生成表示一个所述第一部分和另一个所述第一部分之间的相关性的自相关信息。

该信息处理设备还可以包括：分离装置，用于基于自相关信息，将拍子分离为多个第二部分，每个第二部分都包含一连串的具有高相关性的拍子；第二提取装置，用于从通过所述分离所获得的每个第二部分中提取第二特征，第二特征表示曲调的音乐特征；以及识别装置，用于基于第二特征，识别分离的第二部分中的曲调的曲调结构分量。

消除装置可以通过离散傅立叶变换从每个第一特征的频率分量中消除相位分量。

识别装置可以识别对应于曲调的和音的部分作为曲调结构分量。

第一特征可以是在第一部分中的预定数量的八度音阶中每个音调的能量
第二部分可以是在第二部分中的特定频带的增益、音量、或关于声音源的信息。

第二特征可以是第二部分的长度、第二部分出现的次数、或第二部分连续重复的次数。

基于其相位分量已经被消除的第一特征，所述生成装置以预定数量拍子的间隔计算与另一个所述第一部分的相关性，以生成自相关信息

消除装置可以从已经被滑移的每个第一特征的频率分量中消除相位分量。

消除装置可以在在从每个第一特征的频率分量中消除相位分量之前移位每个音调的能量。

本发明的一个方法是一种信息处理方法，包括：提取步骤，用于从包含

调制的曲调的波形的一些部分中提取特征，每个部分对应于每个拍子，该特征涉及拍子；消除步骤，用于从所提取的每个特征的频率分量中消除相位分量；以及生成步骤，用于基于其相位分量已经被消除的特征，生成表示一个所述部分和另一个所述部分之间的相关性的自相关信息。

本发明的一个方面是一种程序，使得计算机进行：提取步骤，用于从包含调制的曲调的波形的一些部分中提取特征，每个部分对应于每个拍子，该特征涉及拍子；消除步骤，用于从所提取的每个特征的频率分量中消除相位分量；以及生成步骤，用于基于其相位分量已经被消除的特征，生成表示一个所述部分和另一个所述部分之间的相关性的自相关信息。

在本发明的一个方面中，从包含调制的曲调波形的第一部分中提取了第一特征，每个第一部分对应于每个拍子，第一部分涉及拍子，从所提取的每个第一特征的频率分量中消除了相位分量；并基于其相位分量已经被消除的第一特征，生成了表示所述第一部分和另一第一部分之间的相关性的自相关信息。

发明的效果

如上所述，根据本发明的一个方面，可以用减少的操作量来分析包含调制的曲调波形。

附图说明

图 1 是图示用于分析曲调的曲调结构的相关技术的方法的图。

图 2 是用于说明个人计算机的示例硬件配置的方框图。

图 3 是图示由个人计算机的 CPU 执行的软件的示例功能结构的方框图。

图 4 是用于说明由曲调结构分析单元进行的提取和音的处理的流程图。

图 5 是图示从曲调的波形中检测的拍子的示例的图。

图 6 是用于说明从曲调的波形的每个拍子中提取的拍子特征的图。

图 7 是用于说明由拍子特征提取部分进行的拍子特征提取处理的细节的流程图。

图 8 是用于说明由拍子特征提取部分进行的拍子特征提取处理的图。

图 9 是图示曲调 (C1 到 B7) 的能量随音高 (pitch) 和时间的示例分布的图。

图 10 是用于说明用于分析七个八度音阶中的音调的能量的方法的图。

图 11 是用于说明在一个拍子特征和另一拍子特征之间的相关性的图。

图 12 是用于说明拍子特征的消除处理的图。

图 13 是用于说明拍子特征的消除处理的图。

图 14 是用于说明由自相关映射生成部分进行的自相关映射生成处理的细节的流程图。

图 15 是图示由自相关映射生成部分生成的示例自相关映射的图。

图 16 是用于说明在自相关映射中的部分的分离的图。

图 17 是用于说明在曲调中的部分的分离的图。

图 18 是用于说明从曲调波形的每个分离的部分中提取的音乐特征的图。

图 19 是用于除了从曲调的每个分离的部分中提取的音乐特征以外的其它特征的图。

图 20 是说明由和音识别部分进行的对应于曲调的和音部分的识别的图。

图 21 是用于说明由和音识别部分进行的对应于曲调的和音部分的识别的细节的图。

图 22 是用于说明由自相关映射生成部分进行的自相关映射生成处理的细节的流程图。

图 23 是图示一侧上由 N 个拍子的间隔的示例自相关映射的图。

图 24 是图示一侧上由 N 个拍子的间隔的示例自相关映射的图。

图 25 是用于说明拍子特征的滑移 (shuffle) 的图。

图 26 是用于说明拍子特征的移位 (shift) 的图。

图 27 是图示由个人计算机的 CPU 执行的软件的另一示例功能结构的方框图。

图 28 是图示从曲调波形中检测的拍子的示例的图。

图 29 是图示拍子检测单元的示例结构的方框图。

图 30 是用于说明打击 (attack) 信息的提取的图。

图 31 是用于说明打击信息的提取的图。

图 32 是用于说明基本拍子周期的检测的图。

图 33 是用于说明节奏 (tempo) 的确定的图。

图 34 是用于说明节奏的校正的图。

图 35 是用于说明节奏的校正的图。

图 36 是用于说明曲调校正的图。

图 37 是用于说明节拍的确定的图。

图 38 是用于说明节拍的确定的图。

图 39 是用于说明小节的顶部的确定的图。

图 40 是用于说明小节的顶部的确定的图。

标号描述

1 个人计算机, 11 CPU, 12 ROM, 13 RAM, 16 输入部分, 17 输出部分, 18 记录部分, 19 通信部分, 20 驱动器, 21 可移动介质, 31 曲调结构分析单元, 41 拍子特征提取部分, 42 拍子特征消除部分, 43 自相关映射生成部分, 44 分节部分, 45 音乐特征提取部分, 46 和音识别部分, 101 拍子检测单元, 111 打击信息提取部分, 112 基本拍子周期检测部分, 113 节奏确定部分, 114 曲调特征提取部分, 115 节奏校正部分, 116 拍子特征提取部分, 117 节拍确定部分, 118 小节顶部确定部分

具体实施方式

在下文中, 将参考附图描述本发明的实施例。

图 2 是个人计算机 1 的示例硬件配置的方框图。

个人计算机 1 是用于进行预定处理以记录曲调数据并分析从曲调数据中再现的曲调波形的器件。个人计算机 1 是本发明的信息处理设备的示例。

在图 2 的示例中的个人计算机 1 中, CPU (中央处理单元) 11 根据存储在 ROM (只读存储器) 12 中的程序或从记录部分 18 装载到 RAM (随机存取存储器) 13 的程序来执行各种处理。在 RAM 13 中, 还适当地存储了当 CPU 11 执行各种处理时需要的数据和其它数据。

CPU 11、ROM 12 和 RAM 13 经由总线 14 而彼此连接。输入/输出接口 15 也被连接于总线 14。

连接于输入/输出接口的有: 由键盘、鼠标等等构成的输入部分 16; 由扬声器、诸如 LCD (液晶显示器) 的显示器等等构成的输出部分; 由硬盘等等构成的记录介质 18; 以及控制经由诸如因特网的网络而联系另一器件的通信处理的通信部分 19。

必要时驱动器 20 也被连接于输入/输出接口。诸如磁盘、光盘、磁-光盘

或半导体存储器的可移动介质 21 被适当地安装在驱动器上,且必要时计算机程序从其被读取并安装到记录介质 18。

注意,个人计算机 1 的硬件配置不局限于图 2 的示例。任何硬件配置可用,只要实现了参考图 3 的如下描述的功能结构。

图 3 是图示由图 2 的个人计算机 1 的 CPU 11 执行的软件的示例功能结构的方框图。

曲调结构分析单元 31 进行预定处理以分析(包含调制的)曲调的波形。

曲调结构分析单元 31 包括拍子特征提取部分 41、自相关映射生成部分 42、分节部分 43、音乐特征提取部分 44, 和和音识别部分 45。

拍子特征提取部分 41 进行拍子特征提取处理以提取特征,即将在逐拍的基础上提取的特征。拍子特征提取部分 41 向拍子特征消除部分 42 提供所提取的拍子特征。稍后将描述拍子特征提取处理的细节。

拍子特征消除部分 42 从来自拍子特征提取部分 41 所提供的每个拍子特征中消除相位分量。拍子特征消除部分 42 向自相关映射生成部分 43 提供从其已经消除了相位分量的拍子特征量。

基于从拍子特征消除部分 42 提供的从其已经消除了相位分量的拍子特征,自相关映射生成部分 43 进行自相关映射生成处理以生成相关性映射。自相关映射生成部分 43 向分节部分 44 提供所生成的自相关映射。稍后将描述自相关映射生成处理的细节。

基于从自相关映射生成部分 43 提供的自相关映射,分节部分 44 进行分离(分节)以便曲调被分离为每个都对应于由曲调波形重复多次的相同短句之一的部分。

音乐特征提取部分 45 从每个都对应于一个相同(相似)的短句的每个分离的部分(即,对应于各个分离的部分的曲调的部分波形)中提取音乐特征,即音乐的特征。音乐特征提取部分 45 向和音识别部分 46 提供所提取的音乐特征。

音乐特征提取部分 45 还从每个都对应于一个相同(相似)的短句的每个分离的部分(即,对应于各个分离的部分的曲调的部分波形)中提取不同于音乐特征的另一特征。音乐特征提取部分 45 向和音识别部分 46 提供所提取的其它特征。

基于从音乐特征提取部分 45 提供的音乐特征和其它特征,和音识别部分

46 从每个都对应于一个相同（相似）的短句的分离的部分（即，对应于各个分离的部分的曲调的部分波形）中识别对应于曲调的和音的部分。

注意，在本实施例中，由于个人计算机 1 具有图 2 的上述硬件配置，因此，例如，曲调结构分析单元 31 被构成作为将由图 2 所示的 CPU 11 执行的应用软件。然而，用不同于图 2 的硬件配置的个人计算机 1 的硬件配置，曲调结构分析单元 31 可替换地可以被构成作为硬件单元或软件和硬件组件的结合。

如上所述，基于曲调波形的曲调的结构分析使得可能识别曲调的和音部分。因此，接下来，参考图 4 的流程图，现在下面将描述由曲调结构分析单元 31 进行的和音识别处理。

在步骤 S1，曲调结构分析单元 31 从曲调的波形检测拍子。例如，在步骤 S1，曲调结构分析单元 31 从由音频压缩根据 MP3（MPEG 音频层-3）系统、AAC（增强音频编码）系统等等所获得的音频信号中再现的曲调的波形来检测节奏、节拍、小节的位置等等。

图 5 是图示从曲调的波形检测的拍子的示例的图。

通过将曲调的波形分离成多个部分的垂线来划分的部分，从图 5 的上部所示的曲调的波形检测的拍子被呈现在图 5 的下部。具体地，那些线中的具有其之间的三条线的粗线指示小节的顶部，而包含在由粗线划分的每个部分中的、由细线划分的四个部分的每个（即四分音符的持续时间）表示节奏。即，如被分配给由分离如图下部所示的波形的线划分的每个部分的数字（1 到 4）所示，如图 5 所示的曲调的波形表示 4-拍子曲调。

即，例如，如图 5 所示，曲调结构分析单元 31 从如图上部所示的曲调的波形中检测如图下部所示的拍子。

返回到图 4 的流程图，在步骤 S2，拍子特征提取部分 41 进行拍子特征提取处理以提取拍子特征。

图 6 是用于说明在逐拍的基础上从曲调的波形中提取拍子特征的图。

在如图 6 所示的曲调的波形中，具有如图 5 下部的曲调的波形，曲调的波形被分离为每个都对应于每个拍子（如图 6 所示的例子中，显示了分离的十二个部分）的段（part）。拍子特征提取部分 41 从每个如此分离的拍子中提取拍子特征。

这里，现在将参考图 8 的流程图以下描述由拍子特征提取部分 41 在步骤

S2 进行的拍子特征提取处理的细节。

在步骤 S11, 基于被分离为每个都对应于每个拍子的段的曲调波形, 例如, 拍子特征提取部分 41 计算关于每个拍子的、七个八度音阶的范围内的每个音调的能量。

图 8 是说明由拍子特征提取部分 41 进行的拍子特征提取处理的图。

如图 8 所示, 在计算七个八度音阶的范围内的每个音调的能量的情况下, 例如, 计算每个八度音阶 1 到 7 的和音的能量 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#, 和 B (在下文章还被分别称为“01”到“07”)。这里, 每个八度音阶包括十二个音调(声音), 以它们的频率的递增顺序, C(Do)、C#、D(Re)、D#、E(Mi)、F(Fa)、F#、G(Sol)、G#、A(La)、A#和 B(Si)。例如, 八度音阶 1 (即 01) 的十二个音调 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#和 B 被分别称为“C1”、“C#1”、“D1”、“D#1”、“E1”、“F1”、“F#1”、“G1”、“G#1”、“A1”、“A#1”和“B1”; 八度音阶 2 (即 02) 的十二个音调 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#和 B 被分别称为“C2”、“C#2”、“D2”、“D#2”、“E2”、“F2”、“F#2”、“G2”、“G#2”、“A2”、“A#2”和“B2”。相同的符号同样被应用于八度音阶 3 (即 03) 到八度音阶 7 (即 07)。

即, 例如, 基于被分离成每个都对应于每个拍子的段的曲调波形, 拍子特征提取部分 41 计算 C1 到 B7 的各个能量。

至于用于计算在七个八度音阶的范围内的音调 (C1 到 B7) 的能量的方法, 例如, 通过分析按照音调和时被分离为每个都对应于每个拍子的段的曲调波形来计算每个音调的能量。接下来, 参考图 9 和 10, 下面将描述用于计算七个八度音阶的范围内的每个音调的能量的方法。

图 9 是图示音调 (C1 到 B7) 的能量随着音高 (pitch) 和时间的示例分布的图。

在图 9 所示的示例中, 水平轴表示时间, 时间从图的左侧行进到右侧。垂直轴表示音调, 音高 (即频率) 随着增加的高度而增加。

图包括黑色区域和白色区域。黑色区域表示更强能量, 而图中的白素区域表示更弱能量。注意, 在图 9 的示例中, 为了简化说明, 由两种颜色、黑与白表述能量的强度。然而, 实际中, 可以更详细地表述能量的强度的分布。

画出图中的六条水平的点线以简化说明, 由这些点线分离的七个部分的每个表示一个八度音阶。即, 由七个分离的部分表示七个八度音阶 01 到 07。

例如，参考图 9 所示的示例，在从图的底部的第一到第三个部分的每个、即 01 到 03 中，稀少地分布音调的能量，而从图的底部的第四到第七个部分的每个、即 04 到 07 中，几乎遍布音调的能量。

在基于逐拍计算七个八度音阶范围上的能量的情况下，如图 10 所示，拍子特征提取部分 41 切割关于其将被其它拍子特征的在拍子范围时间内的信号，并通过时间来平均化所切割的信号的能量。因此，拍子特征提取部分 41 获得如图 10 的右手部上的图所表示的音调（C1 到 B7）的能量。

返回图 7 的流程图，在步骤 S12，拍子特征提取部分 41 权重所计算的每个音调的能量。例如，在步骤 S12，拍子特征提取部分 41 以图 8 所示的方式来权重七个八度音阶范围中的每个音调（C1 到 B7）的能量。

至于用于权重每个音调（C1 到 B7）的能量的方法，拍子特征提取部分 41 通过高斯分布等等来计算权重和例如通过归一化所计算的权重来识别对于每个曲调（C1 到 B7）的权重并给曲调分配权重。

具体地，用公式（1）来计算通过高斯分布的权重 $W(N)$ 。

$$W(N)=\text{Exp}(-(N-G_m)\times(N-G_m)/(2\times G_v\times G_v)) \quad \dots (1)$$

在公式（1）中， G_m 指的是具有最高权重的音调，而 G_v 指的是权重的宽度，且为它们设置预定值。另外， N 指的是音调的数量；因此，由高斯分布计算的权重 $W(N)$ 的数量与音调（例如，在图 8 的情况下，C1 到 B7）的数量相同。然后，归一化所计算的权重 $W(N)$ 。

以上述方式来给音调（C1 到 B7）分配权重有助于消除非相关的音调，例如，诸如高频段的音调和低频段的音调。

返回图 7 的流程图，在步骤 S13，拍子特征提取部分 41 提取拍子特征，然后完成拍子特征提取处理。

例如，在步骤 S13，如图 8 所示的，拍子特征提取部分 41 通过加那些 C1、C2、C3、C4、C5、C6 和 C7 到一起来在权重了的 C1 到 B7 中提取和音 C 的能量，通过加那些 C#1、C#2、C#3、C#4、C#5、C#6 和 C#7 到一起来提取和音 C# 的能量。类似地，拍子特征提取部分 41 通过加那些 D1 到 D7 到一起来在权重了的 C1 到 B7 中提取和音 D 的能量，通过加那些 D#1 到 D#7 到一起来提取和音 D# 的能量。至于 E1 到 B7，进行类似的加法来其它各个和音 E 到 B 的能量。因此，如图 8 所示，拍子特征提取部分 41 提取十二种曲调 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A# 和 B 的能量作为拍子特征。

即,通过进行步骤 S11 到步骤 S13 的处理,拍子特征提取部分 41 计算每个都对应于每个拍子的曲调波形的每个分离的部分的拍子特征。

注意,由拍子特征提取部分 41 提取的拍子提取不局限于上述示例。例如,可以使用正如它们这样的 84 (12×7) 的能量,而无需进行在步骤 S13 的处理中的加法处理。简言之,任何特征是可用作为拍子提取的,只要它是关于每个都对应于每个拍子的分离的部分所提取的。

返回图 4 的流程图,在步骤 S3,拍子特征消除部分 42 从来自拍子特征提取部分 41 提供的拍子特征的相位分量,并向自相关映射生成部分 43 提供从其已经消除了相位分量的结果拍子特征。

例如,在步骤 S3,拍子特征消除部分 42 从被分离为每个对应于每个拍子的段的曲调波形中,识别将对其进行相关性计算的部分。拍子特征消除部分 42 对所识别的部分的所特征的拍子特征施加离散傅立叶变换 (DFT) 以从所提取的拍子特征中消除相位分量。

图 11 是用于说明在一个拍子特征和另一个拍子特征之间的相关性的图。

在图 11 所示的示例中,由曲调波形下方所示的十二个矩形来表示被分离为每个都对应于每个拍子的段的曲调波形的每个拍子特征,且这十二个矩形分别代表十二种音调 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#和 B 的和音(在图 11 的示例中,只显示了 C 和 B 的和音名)。

假设,例如,关于特定曲调的波形,将计算包括位置 X (即,该部分的拍子特征)的部分和包括位置 Y (即,该部分的拍子特征)的部分之间的相关性(即两个不同的部分之间的相关性)。在这种情况下,计算从包括位置 X 的部分沿时间向后延展的并通过图中上升的斜线而制成的四个部分(即四个拍子)和从包括位置 Y 的部分沿时间向后延展的并通过图中下降的斜线而制成的四个部分(即四个拍子)之间的相关性。

在这种情况下,例如,拍子特征消除部分 42 对将进行相关性计算的通过图中上升的斜线而制成的四个部分的拍子特征和通过图中下降的斜线而制成的四个部分的拍子特征这两者施加离散傅立叶变换,从而从那些拍子在中消除相位分量。

即,例如,如图 12 所示,拍子特征消除部分 42 对通过图 11 中上升的斜线而制成的四个部分(即四个拍子)的拍子特征施加离散傅立叶变换来从其中消除相位分量。该变换使得拍子特征分量的数量从 48 (12 (分量) × 4 (部

分))减少到 25 ($12 \times 4 / 2 + 1$)。

类似地,例如,拍子特征消除部分 42 对通过图 11 中下降的斜线而制成的四个部分(即四个拍子)的拍子特征施加离散傅立叶变换来从其中消除相位分量。结果,该拍子特征分量的数量从 48 减少到 25。

此时,参考图 13,在基调(key) C 和在基调 D(相比于基调 C 上升两个)弹奏的“Do”“Me”“Sol”“Do”的情况下,例如,作为离散傅立叶变换结果的拍子特征(例如,25 个拍子特征分量)是常量,不考虑基调是 C 还是 D。即,在包含调制的曲调中,作为离散傅立叶变换结果的拍子特征是常量,不考虑调制。因此,通过计算一次这一组 25 个拍子特征分量和其它之间的相关性,实现了相关性计算,同时足够良好地处理了调制。这减少了关于相关性的操作量,因此,用减少的操作量实现了包含调制的曲调的波形的分析。

注意,当计算拍子特征之间相关性时所选的部分的数量不局限于上述示例中的四(四个拍子),而可以是例如一个、八个或十个。还要注意,从参考位置(例如图 11 中的 X 或 Y)所选的沿时间向后延展的部分不是必须的。可替换地,所选的部分可以向后或向前和向后延展。即,参考图 11,当计算拍子特征之间的相关性时所选的部分可以,例如是包括 X 的部分的向后延展的三个部分(三个拍子)和六个向后部分(六个拍子)即总共八个部分(八个拍子)的拍子特征。

还要注意,在上述实施例中,拍子特征消除部分 42 使用离散傅立叶变换来从拍子特征中消除相位分量。然而,本发明不局限于此示例。可用任何方法,只要能够从拍子特征中消除相位分量。

返回图 4 的流程图,在步骤 S4,基于从其已经消除了相位分量并从拍子特征消除部分 42 中提供的拍子特征,自相关映射生成部分 43 进行自相关映射生成处理以生成自相关映射。

这里,参考图 14 的流程图,现在将描述以下由自相关映射生成部分 43 在步骤 S4 进行的自相关映射生成处理的细节。

在步骤 S21,自相关映射生成部分 43 计算从拍子特征消除部分 42 提供的两者、其相位分量被消除了的包括位置 X 的四个部分(即,在图 11 中通过上升的斜线而制成的部分)的拍子特征和其相位分量被消除了的包括位置 Y 的四个部分(即,在图 11 中通过下降的斜线而制成的部分)的拍子特征之间的相关性。

换句话说，为了处理包含调制的曲调，自相关映射生成部分 43 仅使用多个拍子的离散傅立叶变换的拍子特征的范数（norm）分量来计算相关性。

具体地，例如，使用公式（2）来计算拍子特征之间的相关性。

[等式 1]

$$Pearson(X,Y) = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \dots (2)$$

在公式（2）中，例如，X 指的是其相位分量被消除了的包括位置 X 的四个部分（即四个拍子）的拍子特征，而 Y 指的是其相位分量被消除了的包括位置 Y 的四个部分（即四个拍子）的拍子特征。

在步骤 S22，基于所计算的每个拍子之间的相关性，自相关映射生成部分 43 生成自相关映射。

图 15 是图示由自相关映射生成部分 43 生成的示例自相关映射的图。

在图 15 所示的示例自相关映射中，水平轴表示整个曲调的拍子，时间从图的左侧行进到右侧。垂直轴表示与水平轴所表示的整个相同的曲调的拍子，时间从图的上侧行进到下侧。即，关于水平轴，随着水平位置在图中向右移动，曲调中所表示的位置接近曲调的结尾，而关于垂直轴，随着垂直位置在图中向下移动，曲调中所表示的位置接近曲调的结尾。因为水平轴和垂直轴表示相同曲调的拍子，因此两个轴具有相同的长度。

在图中的黑色区域指示由水平和垂直轴所识别的曲调的对应拍子之间的相关性高，而在图中的白色区域指示由水平和垂直轴所识别的曲调的对应拍子之间的相关性低。由图中的正方形所表示的从自相关映射的左上角到右下角延展的对角线对应于由水平轴所识别的曲调拍子与由垂直轴识别的拍子相同的位置。因此，该对角线在该图中自然采用黑线（对角线）来表示，表示高的相关性。

即，基于由公式（2）计算的拍子特征之间的相关性，例如，图 15 的示例自相关映射指示通过黑色相应的拍子之间的相关性高的位置和通过白色相应的拍子之间的相关性低的位置。换句话说，自相关映射是由黑线指示具有类似短句的曲调的部分（即具有高相关性的部分）的图。

返回图 4 的流程图，在步骤 S5，基于从自相关映射生成部分 43 提供的自相关映射，分节部分 44 进行分离（即分节）以便曲调被分离为每个都对应

于由曲调波形重复多次的相同短句（类似短句）之一的部分。

具体地，参考图 16 的示例，在图 15 的示例自相关映射中，本质上相同（类似）的下降斜线样式在由点线 A 包围的最顶区域中出现了四次，这种样式出现的部分被标为“部分 A”。在由点线 C 包围的（从底部的第二个）区域中，本质上相同的下降斜线样式出现了两次，这种样式出现的部分被标为“部分 C”。类似地，在由点线 B 包围的（从底部的第三个）区域中，本质上相同的下降斜线样式出现了两次，这种样式出现的部分被标为“部分 B”。由点线 D 包围的（从底部的第四）区域中，本质上相同的下降斜线样式出现了两次，这种样式出现的部分被标为“部分 D”。虽然未在图中示出，本质上相同的下降斜线样式出现的更多部分可以被类似地标为“部分 E”、“部分 F”、“部分 G”等等。

根据由图 16 的水平轴表示的曲调的拍子，通过表述以上述方式被分离为每个对应于重复多次的类似短句之一的部分的图 16 的自相关映射得到了图 17 的表述。即，图 17 显示了被分离为每个对应于类似短句之一的部分的曲调（即曲调的波形）。

在图 17 中，根据由图 16 中的分离得到的部分，曲调被分离为依顺序的 A、B、C、D、E、B、B、C 等等的部分。时间从图的左侧行进到右侧，较长的部分指示较长的播放时间，而较短的部分指示较短的播放时间。

返回图 4 的流程图，在步骤 S6，音乐特征提取部分 45 从每个都对应于相同（类似）短句之一的每个分离的部分（即，对应于各个分离的部分的曲调的部分波形）提取音乐特征，并向和音识别部分 46 提供所提取的音乐特征。

这里，由音乐特征提取部分 45 提取的音乐特征是音乐的特征，诸如关于音量或声音源的信息、特定频段增益、频率平衡、音调（tone）的多样性、诸如鼓和贝司的节奏乐器的比例，或是否存在歌唱。

图 18 是用于说明从曲调波形的每个分离的部分提取的音乐特征的图。

例如，如用图 17 根据通过分离图 16 的自相关映射而得到的部分（以下列顺序排列的分离的部分：A、B、C、D、E、B、B、C 等等），来分离出图 18 所示的分离的部分，且音乐特征提取部分 45 从每个分离的部分提取诸如音量的音乐特征。

返回图 4 的流程图，在步骤 S6，音乐特征提取部分 45 还从每个都对应于相同（类似）短句之一的每个分离的部分（即，对应于各个分离的部分的

曲调的部分波形)提取除了音乐特征以外的其它特征,并向和音识别部分 46 提供所提取的其它特征。

这里,由音乐特征提取部分 45 提取的其他特征是诸如具体的分离的部分的长度、在一个曲调中出现具体部分的次数、或具体部分重复的次数的特征。

图 19 是说明从曲调的每个分离的部分提取的除了音乐特征以外的其他特征的图。

在图 19 所示的示例中,音乐特征提取部分 45 提取诸如部分 B 的长度的“片段(segment)长度”(以拍子测量)、指示部分 B 出现在一个曲调中的次数的“一个曲调中相同片段出现的次数(即重复的次数)”、指示部分 B 重复的次数的“连续重复的次数”等等的其他特征。

除了参考图 19 的上述实施例以外,其他特征的示例包括在一个曲调中的具体片段的相对位置(即,例如在片段开始于五分钟的曲调开始之后的一分钟的情况下, $1/5=0.2$),和在向前或向后紧接着出现的片段的变化度。

例如,提取更多音乐特征和其他特征允许和音识别部分 46 来识别具有更改善的精确度的结构。稍后将描述其细节。

注意,音乐特征提取部分 45 仅可以从每个都对应于一个相同(类似)的短句的每个分离的部分(即对应于各个分离的部分的曲调的部分波形)中提取音乐特征和其他特征的任一个,并向和音识别部分 46 提供所提取的音乐特征或其它特征。

返回图 4 的流程图,在步骤 S7,基于从音乐特征提取部分 45 提供的音乐特征和/或其他特征,和音识别部分 46 从每个都对应于一个相同(类似)的短句的每个分离的部分(即对应于各个分离的部分的曲调的部分波形)中识别对应于曲调的和音的部分。然后,完成和音识别处理。

例如,参考图 20,在步骤 S7,基于每个分离的部分的所提取的音乐特征(X1)和其他特征(X2),和音识别部分 46 计算每个部分的“和音相似性”(y(%))来识别对应于曲调的和音的部分。

具体地,例如,和音识别部分 46 进行对于使用音乐特征(X1)、其他特征(X2)和关于校正和音的数据(例如,指示曲调的哪个部分是曲调的和音的用户设置数据)的和音识别的学习,来生成具体函数(例如,音乐计算“和音相似性”的函数)。和音识别部分 46 对从音乐特征提取部分 45 提供的音乐特征(X1)和其他特征(X2)施加根据所生成的具体函数的计算来计算每个

部分的“和音相似性” (y (%)), 从而识别对应于曲调的和音的部分。

注意, 其中由和音识别部分 46 计算“和音相似性” (y (%)) 的方法不局限于上述方法。可用任何方法, 只要能计算成为和音的概率。

图 21 是用于说明由和音识别部分 46 的对应于曲调的和音部分的识别的细节的图。

如图 21 所示的示例, 如用图 17 等等, 曲调 (即曲调的波形) 被分离为以下列顺序排列的部分: A、B、C、D、E、B、B、C 等等。和音识别部分 46 计算每个分离的部分的和音相似性, 并获得, 例如, 下列结果: 对于“部分 A 的和音相似性”的 0%; 对于“部分 B 的和音相似性”的 60%; 对于“部分 C 的和音相似性”的 10%; 对于“部分 D 的和音相似性”的 30%; 对于“部分 E 的和音相似性”的 40%; 对于“部分 B 的和音相似性”的 70%; 对于“部分 B 的和音相似性”的 80%; 对于“部分 C 的和音相似性”的 15%; 等等。

然后, 例如, 和音识别部分 46 识别具有所计算的“和音相似性”的最高平均值的部分作为对应于曲调的和音的部分。例如, 因为部分 B 的“和音相似性”是 60%、70%、80% 等等, 如图 21 所示, 且部分 B 具有“和音相似性”的最高平均值, 因此和音识别部分 46 识别部分 B 作为对应于曲调的和音的部分。

以上述方式, 曲调结构分析单元 31 基于曲调的波形能够用减少的操作量来识别包含调制的曲调的结构。

例如, 基于从在由个人计算机 1 的硬盘等等所构成的记录部分 18 上记录的曲调数据块的庞大的数量所获得的曲调波形, 对应于曲调的和音的部分可以用减少的操作量来从曲调的曲调结构中被识别。这使得可能当选择曲调时, 仅播放曲调的和音, 而不是从开始播放该曲调。结果, 例如, 用户能够听到曲调的和音 (即, 最吸引人的段) 来搜索所想要的曲调。

另外, 例如, 因为能够基于曲调的曲调结构用较少的操作量来识别对应于曲调的和音的部分, 这使得通过仅记录曲调的所切割的和音部分来在记录介质上记录更大量的曲调的数据成为可能。

注意, 已经参考基于曲调的波形来识别曲调结构分量的示例来描述了上述示例。然而, 本发明不局限于此示例。例如, 可以识别“简介”“和音”、“插曲”、“独唱 A”、“独唱 B”、等等来取代“和音”。

注意, 由自相关映射生成部分 43 的生成自相关映射的处理不局限于上述处理 (图 14 的自相关映射生成处理)。可用任何方法, 只要基于从其已经消

除了相位分量的拍子特征中生成自相关映射。例如，在如下情况下，在由分节部分 44 在图 4 的步骤 S5 的处理中进行的分节处理中，仅需要对应于“和音”的部分的识别（即，在不需识别对应于“独唱 A”或“独唱 B”的部分的情况下），曲调的分离不需要如此精细（minute），以至于任何一个分离的部分具有短于通常被看作是“和音”的长度的长度。即，任何一个分离的部分不需要具有短于拍子的预定数量（即，十二）的长度的长度。换句话说，不需要从自相关映射中检测具有短于拍子的预定数量的长度的长度的重复。如此，可以如此排列以至于在一侧的拍子的预定数量的间隔第一次生成自相关映射（例如，下述图 23 中的垂直轴），在下文中，仅关于在具有高相关性的点的前面或后面的点（即可能包含重复的点）来计算相关性。这进一步减少了用于识别“和音”的处理的负担。

接下来，参考图 22 的流程图，现在将描述以下在仅需要对应于“和音”的部分的识别的情况下、由自相关映射生成部分 43 在图 4 中的步骤 S4 进行的自相关映射生成处理的细节。

在步骤 S31，自相关映射生成部分 43 计算在一侧上的 N 个拍子的间隔上的拍子之间的相关性。例如，在步骤 S31，在下述图 23 中的垂直轴上的 N 个拍子的间隔上，自相关映射生成部分 43 计算从拍子特征消除部分 42 提供的两者、其相位分量被消除了的包括位置 X 的四个部分（即，在图 11 中通过上升的斜线而制成的部分）的拍子特征和其相位分量被消除了的包括位置 Y 的四个部分（即，在图 11 中通过下降的斜线而制成的部分）的拍子特征之间的相关性。

具体地，例如，使用上述公式（2）进行下述图 23 中的垂直轴上的 N 个拍子的间隔上的拍子特征之间的相关性的计算。

在步骤 S32，自相关映射生成部分 43 基于拍子之间的所计算的相关性来生成自相关映射。

图 23 是图示由自相关映射生成部分 43 用一侧上的 N 个拍子的间隔来生成的示例相关性映射的图。

在图 23 所示的示例自相关映射中，用图 15，水平轴表示整个曲调的拍子，而垂直轴表示与水平轴所表示的整个相同的曲调的拍子。关于水平轴，随着水平位置在图中向右移动，曲调中所表示的位置接近曲调的结尾，而关于垂直轴，随着垂直位置在图中向下移动，曲调中所表示的位置接近曲调的

结尾。在图中的黑色区域指示由水平和垂直轴所识别的曲调的对应拍子之间的相关性高，而在图中的白色区域指示由水平和垂直轴所识别的曲调的对应拍子之间的相关性低。

在图 23 的示例自相关映射中，由于在水平轴上的 N 个拍子的间隔上计算拍子特征之间的相关性，因此黑色的高相关性区域仅出现在垂直轴上的 N 拍子的间隔上。相反，在图 23 的示例自相关映射中，不在一个第 N 拍子和下一个第 N 拍子之间计算拍子特征之间的相关性；从而，之间的区域不一定是白色。

即，在图 23 的示例自相关映射中，由黑点指示的位置指示其相位分量已经被消除的拍子特征之间的高相关性。

注意，如上所述，在通常考虑作为“和音”的长度的长度是十二个或更多拍子的长度的情况下，例如，用户向前在图 23 的自相关映射中设置 $N=20$ （拍子）。

返回图 22 的流程图，在步骤 S33，自相关映射生成部分 43 计算关于已经在所生成的自相关映射中检测了相关性的点的前面的点的相关性。

图 24 是图示具有一侧上的 N 个拍子的间隔的示例自相关映射的图。

如图 24 所示的示例自相关映射的轴与图 23 的示例自相关映射的轴相同。因此，省略其说明。

如图 24 所示的示例自相关映射是在计算关于在由图 23 的示例自相关映射中的黑点指示的每个点之前的对应于 N 拍子的点的相关性、如下所述计算关于在由图 23 的示例自相关映射中的黑点指示的每个点之后的对应于 N 拍子的点的相关性、然后由黑色指示高相关性区域并用白色指示低相关性区域之后获得的图。

具体地，例如，参考图 23 的示例自相关映射，通过计算关于在图 24 所示的箭头 a1 指示的方向中从由黑点指示的且位于垂直轴上的第一个第 N 拍子上的点的 N 个拍子之间的相关性，自相关映射生成部分 43 以类似于生成图 15 的上述自相关映射的方式生成图 24 的自相关映射。

返回图 22 的流程图，在步骤 S34，自相关映射生成部分 43 计算关于已经在所生成的自相关映射中生成了相关性的点之后点的相关性。

具体地，例如，参考图 23 的示例自相关映射，通过计算关于在图所示的箭头 a2 指示的方向中从由黑点指示的且位于垂直轴上的第二个第 N 拍子上的

点的N个拍子的相关性，自相关映射生成部分43以类似于生成图15的上述自相关映射的方式生成图24的自相关映射。

即，如图24所示，自相关映射生成部分43计算在N拍子间隔的拍子特征之间的相关性，然后继续计算关于在所计算的相关性高的点之前和之后的最大N个拍子相关性，仅就高相关性点继续，来生成自相关映射。

如上所述，自相关映射（即图23的自相关映射）首先被生成具有在一侧（即图23的垂直轴）上的预定的数量拍子，然后，仅关于高相关性点之前和之后的各点计算相关性来生成自相关映射（图24的自相关映射）。该方法有助于进一步减少和音识别处理上的负担以更快地完成和音识别处理。

在步骤S3的上述处理中，拍子特征消除部分42可以滑移从拍子特征提取部分41提供的拍子特征，并在然后从所滑移的拍子特征中消除相位分量。

图25是用于说明拍子特征的滑移的图。

在如图25所示的示例中，如图12等等，图中的四个矩形表示被分离为每个都对应于每个拍子的段的曲调波形的拍子特征。四个矩形的每个都由表示十二种曲调C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#和B的和音（在图25的示例中，仅显示C和B的和音名）的十二个矩形组成。

例如，假设四个矩形被称为图中从左到右排队的“第一拍子”、“第二拍子”、“第三拍子”、“第四拍子”，拍子特征消除部分42滑移第二和第三拍子，并然后对所滑移的拍子特征施加离散傅立叶变换等等以从所提取的拍子特征中消除相位分量。

如上所述的拍子特征的滑移有助于改善自相关映射（即，识别诸如和音的曲调结构分量的处理）的精确度。

注意，已经处理滑移了图25中的第二和第三矩形的情况下的示例进行了以上描述。然而，本发明不局限于此示例。例如，可替换地，所有第一到第四矩形可以被滑移。

另外，为了改善自相关映射（即，识别诸如和音的曲调结构分量的处理）的精确度，例如，可以如此排列以至于在通过离散傅立叶变换等等消除了拍子特征的相位分量并计算了拍子之间的相关性之后，当十一次滑移对于自相关映射（例如，图15的水平或垂直轴）的一侧的拍子特征时再次进行相关性计算。

图26是用于说明拍子特征的滑移的图。

在图 26 所示的示例中，如用图 12 等等，从图的左侧的第一个矩形（下文中被称为“第一矩形”；类似地，其次的矩形被分别称为“第二矩形”、“第三矩形”……“第十二矩形”）表示，被分离为每个都对应于每个拍子的段的曲调波形的拍子特征，且矩形由包含其中表示十二种曲调 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#和 B 的和音的十二个矩形组成。

例如，首先，拍子特征消除部分 42 对由第一矩形表示的拍子特征施加离散傅立叶变换等等以从拍子特征中消除相位分量。自相关映射生成部分 43 基于其相位分量已经被消除了的第一矩形，来计算拍子特征之间的相关性。

接下来，在第一矩形中的十二种曲调的和音向下移位一个，以便拍子特征变成如下，与由第二矩形表示的那样，和音以以下顺序从下往上排列：C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#、B 和 C。

此时，例如，拍子特征消除部分 42 对由第二矩形表示的拍子特征施加离散傅立叶变换等等以从拍子特征中消除相位分量。自相关映射生成部分 43 基于其相位分量已经被消除了的第二矩形，来计算拍子特征之间的相关性。

类似地，在拍子特征中的十二种曲调的每个和音顺序地向下移位一个，例如，拍子特征消除部分 42 对由第三到第十一矩形（未示出）表示的拍子特征施加离散傅立叶变换等等以从拍子特征中消除相位分量，自相关映射生成部分 43 基于其相位分量已经被消除了的第三到第十一矩形，来计算拍子特征之间的相关性。

最后，在第十一矩形中的十二种曲调的和音向下移位一个，以便拍子特征变成如下，与由第十二矩形表示的那样（即，图最右边的矩形），和音以以下顺序从下往上排列：B 和 C、C#、D、D#、E、F、F#、G、G#、A、A#。

此时，例如，拍子特征消除部分 42 对由第十二矩形表示的拍子特征施加离散傅立叶变换等等以从拍子特征中消除相位分量。自相关映射生成部分 43 基于其相位分量已经被消除了的第十二矩形，来计算拍子特征之间的相关性。

以上述方式计算当移位拍子特征分量十一次时的相关性使得自相关映射生成部分 43 生成更精确的自相关映射。

注意，已经处理对一个部分（即一个拍子）的拍子特征分量进行移位的示例情况来进行了使用图 26 的上述描述，以便简化描述。然而，同样在四个部分（即四个拍子）的情况下，例如，通过以类似方式对拍子特征分量进行移位来进一步改善自相关映射的精确度。

在本实施例中，在进行分节处理（即图4中步骤S5的处理）的情况下，需要通过改善在检测拍子的处理（即图4中的步骤S1的处理）中从曲调波形（即音频信号）检测拍子（节奏、节拍、小节的顶部等等）的精确度来在小节的顶部吻合的分离的部分之间制定边界。如此，小节的顶部的精确的检测允许精确的分节。因此，接下来，参考图27到40，将以下描述从曲调波形检测节奏、节拍、小节的顶部（下文中称为“拍子数据”）的处理。

图27是图示由图2的个人计算机1的CPU11执行的软件的另一示例功能结构的方框图。

在图27中，与图3中的那些元件相同的元件由相同的标号来标记，省略与进行了图3中的那些处理相同的处理的元件的处理的描述以避免重复。即，相比于图3的曲调结构分析单元31，图27的曲调结构分析单元31被附加地提供有拍子检测单元101。

拍子检测单元101从曲调波形中检测拍子数据。例如，拍子检测单元101从根据MP3系统、AAC系统等等音频压缩得到的音频信号中再现的曲调波形中检测拍子数据，例如节奏、节拍或小节的顶部。

接下来，参考图28，现在描述以下从曲调波形中检测每个拍子位置的拍子检测单元101。在图28中，对应于数字“1:1、1:2、1:3、1:4、2:1、2:2、2:3、2:4、3:1、3:2、3:3、3:4等等”（这些数字，例如“1:1”，表述在图的左下所示的“小节：拍子”）的垂直线指示曲调波形中的拍子的顶部的位置。图28，由对应于各个数字的任何垂直线指示的位置和由下一条垂直线指示的位置之间的范围表示曲调波形中的拍子的范围。

两条相邻的垂直线之间的空隙的宽度表示，例如，四分音符的持续时间，并对应于节奏。由对应于数字“1:1”、“2:1”、“3:1”等等的垂直线指示的位置指示小节的顶部。

换句话说，拍子检测单元101从图28所示的音频信号中得到的曲调波形中检测，如拍子数据，由图中的垂直线指示的每个拍子的顶部或每个小节的顶部、或节奏（即，图中两条相邻垂直线之间的空隙的宽度）。

图29是图示拍子检测单元101的示例结构的方框图。拍子检测单元101指示打击信息提取部分111、基本拍子周期检测部分112、节奏确定部分113、曲调特征提取部分114、节奏校正部分115、拍子特征提取部分116、节拍确定部分117，和小节顶部确定部分118。

打击信息提取部分 111 从表示曲调波形的音频信号中提取时序的打击信息。这里，时序的打击信息是表示随时间音量的改变的数据，这允许人们感知拍子。如图 30 所示，打击信息由所感知的音量，即由人们随时间所感知的音量来表示。

例如，打击信息提取部分 111 从音频信号中提取表示之间中的每个点上的声音的级别的打击信息，该声音基于音频信号。

可替换地，例如，如图 31 所示，打击信息提取部分 111 将基于音频信号的声音划分为多个八度音阶分量，并确定在根据十二-音调相等平均律的每个八度音阶中的具有各个音调的十二个音调的能量以基于十二-音调分析获得时间-音调数据。时间-音调数据表示在每个八度音阶中的十二个音调的每个的能量。关于时间中的每个点，打击信息提取部分 111 相加关于十二个音调和多个八度音阶的声音的能量，并将相加的结果当作打击信息。

可替换地，例如，打击信息提取部分 111 将基于音频信号的声音划分为多个八度音阶分量，并检测在具有根据十二个音调的相等的平均律的各个音调的每个八度音阶中的十二个音调的每个开始发声。例如，在每个音调的能量随时间的差异大于预定门限的情况下，打击信息提取部分 111 将那个时刻当作该曲调开始发声的时间点。

然后，将每个曲调开始发生的时间点当作“1”，其他时间点当作“0”，打击信息提取部分 111 相加关于这些每个八度音阶中的十二个音调的每个值，并将相加的结果当作打击信息。

在图 31 中，圆圈指示曲调开始发声的位置。在曲调开始发声的时间点被当作“1”且其他时间点被当作“0”的情况下，这些值被相加以获得打击信息，在打击信息中，多个八度音阶中的许多十二个音调开始发声的时间点具有大值，而多个八度音阶中的少量十二个音调开始发声的时间点具有较小值。

另外，例如，打击信息提取部分 111 将基于音频信号的声音划分为多个八度音阶分量，并确定在具有根据十二-音调相等平均律的各个音调的每个八度音阶中的十二个音调的每个的能量中的变化。例如按照随时间的音调的能量的差异，计算每个音调的能量中的变化。打击信息提取部分 111 相加关于时间中的每个点的每个八度音阶中的十二个音调的能量中的变化，并将相加的结果当作打击信息。

返回图 29，打击信息提取部分 111 向基本拍子周期检测部分 112、节奏

校正部分 115、和节拍确定部分 117 供应打击信息。

基本拍子周期检测部分 112 检测关于将被检测的和音的曲调中的最基本的声音的持续时间。曲调中的最基本声音是，例如，由四分音符、八分音符、十六分音符表示的声音。

在下文中，曲调中的最基本声音的持续时间被称为“基本拍子周期”。

基本拍子周期检测部分 112 通过进行关于打击信息的基本曲调检测来确定即时序信息的基本拍子周期，作为普通波形。

例如，如图 32 所示，基本拍子周期检测部分 112 对即时序信息的打击信息施加短时傅立叶变换 (STFT)。对打击信息施加短时傅立叶变换使得表示能量强度的时序数据处于不同的频率。

具体地，当关于打击信息一点一点地滑动相比于打击信息的时间长度来说在周期上足够短的窗口的位置时，基本拍子周期检测部分 112 对窗口中的部分打击信息施加傅立叶变换，并以时间顺序排列傅立叶变换的结果，从而获得表示每个频率的能量的强度的时序数据。

作为短时傅立叶变换的结果，具有相比于其他频率的能量的强烈的能量的频率被检测作为基本拍子周期的候选的周期。在图 32 的下部，深度指示能量的强度。

基本拍子周期检测部分 112 将作为打击信息的短时傅立叶变换的结果的所检测的最主导的一个周期作为基本拍子周期。

具体地，当比较基本拍子的相似性即先前准备的权重时，参考打击信息的短时傅立叶变换的结果，基本拍子周期检测部分 112 从作为打击信息的短时傅立叶变换的结果的所检测的周期中确定具有高基本拍子相似性的一个周期作为基本拍子周期。

更具体地，使用即在频率方向上延展的先前准备的权重的基本拍子相似性，基本拍子周期检测部分 112 加权作为打击信息的短时傅立叶变换的结果而获得的每个频率的能量，并确定具有作为加权的的结果的最高的所获值的周期作为基本拍子周期。

使用即在频率方向上延展的权重的基本拍子相似性预防即永远不可能成为基本拍子周期的周期的极低频率的周期或极高频率的周期被确定作为基本拍子周期。

返回图 29，基本拍子周期检测部分 112 向节奏确定部分 113 供应如此提

取的基本拍子周期。

通过对音频信号进行预定的信号处理，曲调特征提取部分 114 从曲调中提取预定数量的特征（在下文章被称为“曲调特征”）。例如，曲调特征提取部分 114 将音频信号划分为多个八度音阶分量，然后获得具有根据十二-曲调相等平均律的各个音调的每个八度音阶中的十二个曲调的信号，然后对每个八度音阶中的十二个曲调的信号进行预定的信号处理来提取曲调特征。

例如，曲调特征提取部分 114 获得在每个八度音阶中的十二个曲调的信号的单位之间中的峰值数量作为曲调特征。

另外，例如，曲调特征提取部分 114 获得每个八度音阶中的十二个曲调的信号的音调方向中的能量分散作为曲调特征。

还另外，例如，曲调特征提取部分 114 从每个八度音阶中的十二个曲调的信息中获得在低范围、中等范围、高范围能量之间的平滑作为曲调特征。

还另外，例如，曲调特征提取部分 114 从每个八度音阶中的十二个曲调的信号中获得立体声音频信号的左和右声道的信号之间的相关度作为曲调特征。

曲调特征提取部分 114 向节奏确定部分 113 供应如此提取的曲调特征。

通过学习使用曲调特征和节奏而先前构造的节奏确定部分 113 基于从曲调特征提取部分 114 供应的曲调特征来评估节奏。在下文中，所评估的节奏将被称为所评估的节奏。

基于所评估的节奏和从基本拍子周期检测部分 112 供应的基本拍子周期，节奏确定部分 113 确定乘以 2 的 X 次幂（例如 1/8、1/4、1/2、1、2、4、8 等等）的基本拍子周期作为节奏。例如，用由曲调的特征的衰退分析获得的所评估的节奏，确定通过将基本拍子周期乘以 2 或 1/2 获得的、且在所评估的节奏 $\times 2^{1/2}$ 和所评估的节奏 $\div 2^{1/2}$ 的值。

例如，如图 33 所示，在从基本拍子周期检测部分 112 供应的基本拍子周期（即，由图 33 的上部的白圆圈所表示的基本拍子周期）长于通过对所评估的节奏除以 $2^{1/2}$ 所获得的周期的情况下，节奏确定部分 113 对基本拍子周期乘以 1/2。

在从基本拍子周期检测部分 112 供应的基本拍子周期（即，由图 33 的上部的白圆圈所表示的基本拍子周期）短于通过对所评估的节奏乘以 $2^{1/2}$ 所获得的周期的情况下，节奏确定部分 113 对基本拍子周期乘以 2。

节奏确定部分 113 确定乘以 $1/2$ 或 2 或重复乘以 $1/2$ 或 2 的基本拍子周期 (即, 由图 33 中的黑圆圈表示的基本拍子周期), 以便落入作为节奏的所评估的节奏 $\times 2^{1/2}$ 和所评估的节奏 $\div 2^{1/2}$ 之间的范围。

注意, 在基本拍子周期落入所评估的节奏 $\times 2^{1/2}$ 和所评估的节奏 $\div 2^{1/2}$ 之间的范围的情况下, 节奏确定部分 113 确定该基本拍子周期作为节奏。

返回图 29, 节奏确定部分 113 向节奏校正部分 115 供应如此确定的节奏。

基于从打击信息提取部分 111 供应的打击信息, 节奏校正部分 115 对在节奏确定部分 113 中确定的节奏进行精细的校正。

首先, 节奏校正部分 115 校正拍子的相位。

具体地, 如图 34 所示, 在关于贯穿整个曲调的打击信息所确定的节奏的间隔, 节奏校正部分 115 相加每个都来自于每个拍子范围的打击信息分量。

例如, 节奏校正部分 115 相加贯穿整个曲调的第一到最后拍子的每个的第一打击信息采样, 与基于节奏的间隔所确定的每个拍子范围, 然后节奏校正部分 115 将相加的结果作为拍子范围中的第一部分的总和。接下来, 节奏校正部分 115 相加贯穿整个曲调的第一到最后拍子的每个的第二打击信息采样, 与基于节奏的间隔所确定的每个拍子范围, 然后节奏校正部分 115 将相加的结果作为拍子范围中的第二部分的总和。

类似地, 节奏校正部分 115 分别相加贯穿整个曲调的第一到最后拍子的每个的第三到最后打击信息采样, 与基于节奏的间隔所确定的每个拍子范围, 然后节奏校正部分 115 将相加的结果作为拍子范围中的第一到最后部分的总和。

然后, 移位关于打击信息的节奏间隔侧道 (sideways) 的相位, 类似地, 节奏校正部分 115 相加贯穿整个曲调的每个都来自于每个拍子范围的打击信息分量。

节奏校正部分 115 校正关于打击信息的节奏间隔的相位, 成为总和具有通过移位关于打击信息的节奏间隔侧道的相位所获得的所有总和的最大值的相位。即, 节奏校正部分 115 校正拍子的位置以便对应于关于已经获得了最大总和的打击信息的节奏间隔的位置。

另外, 节奏校正部分 115 校正节奏。

具体地, 如图 35 所示, 节奏校正部分 115 通过相比于间隔的长度来说足够短的预定长度来缩短或延长节奏间隔, 并用所缩短或延长的节奏间隔, 节

奏校正部分 115 在贯穿整个曲调的节奏的间隔相加打击信息分量。

在这种情况下，节奏校正部分 115 分别相加贯穿整个曲调以顺序的次序的第一到最后拍子范围的每个的第一到最后打击信息采样，与基于节奏的间隔所确定的每个拍子范围，然后节奏校正部分 115 将相加的结果当作拍子范围的第一到最后部分的总和。

节奏校正部分 115 通过预定长度来缩短或延长节奏间隔，并相加在贯穿整个曲调的缩短或延长的节奏的间隔的打击信息分量，来获得拍子范围的第一到最后部分的总和。

节奏校正部分 115 校正节奏间隔以便具有已经获得最大总和的原始的、缩短的和延长的节奏间隔之一的长度。

节奏校正部分 115 重复拍子相位的上述校正和节奏的上述校正，以便确定最终的节奏。例如，节奏校正部分 115 重复拍子相位的校正和节奏的校正预定的次数，例如两者两次，来确定最终的节奏。

返回图 29，节奏校正部分 115 向拍子特征提取部分 116 和小节顶部确定部分 118 供应表示最后确定的节奏的节奏数据。

基于从节奏校正部分 115 供应的节奏数据，拍子特征提取部分 116 从每个片段（即每个拍子）中提取诸如音乐特征或和音的曲调特征。

例如，从如图 36 所示的曲调波形中，拍子特征提取部分 116 从被图中的垂线分离的每个拍子（如图 36 所示的示例中，曲调波形被分离为十二个部分）中提取曲调特征。

注意，例如，通过对十二-曲调分析的结果所获得的信号进行预定的信号处理来提取由拍子特征提取部分 116 提取的曲调特征，如用由曲调特征提取部分 114 提取的上述曲调特征。

返回图 29，拍子特征提取部分 116 向小节顶部确定部分 118 供应从每个拍子提取的曲调特征。

例如，基于从打击信息提取部分 111 供应的打击信息，节拍确定部分 117 确定诸如 4/4 拍、3/4 拍、6/8 拍的节拍。

这里，至于用于确定节拍的方法，例如，可以使用施加了短时傅立叶变换的打击信息的谐波（harmonic）结构来确定节拍。例如，参考图 37，由于已经结束了基本拍子周期检测部分 117，节拍确定部分 117 对即时序信息的打击信息施加短时傅立叶变换。结果，获得了表示部分频率中的能量的强度的

时序数据。

即，如图 37 的示例所示，由于通过对打击信息施加短时傅立叶变换所获得的结果允许出现峰值的频率的检测，该频率被用于确定节拍。例如，在图的左手边所示的 4/4 拍中，八分音符、四分音符、二分音符和全音符之间的关系如下：如图的圆圈所示，四分音符的频率是八分音符的一半；如图的三角所示，二分音符的频率是四分音符的频率的一半；如图的叉所示，全音符的频率是二分音符的频率的一半。换句话说，四分音符的周期是八分音符的两倍，二分音符的周期是四分音符的两倍，全音符的周期是二分音符的两倍。

另外，类似地，例如，在图中间所示的 3/4 节拍中，四分音符、一小节和两小节之间的关系如下：如图的圆圈所示，一小节的频率是四分音符的 1/3；如图的叉所示，两小节的频率是一小节的频率的一半。

还另外，类似地，在如图右边所示的 6/8 拍中，八分音符、四分音符、附点四分音符和一小节之间的关系如下：如图的圆圈所示，四分音符的频率是八分音符的频率的一半；如图的叉所示，附点四分音符的频率是四分音符的频率的 2/3，一小节的频率是四分音符的频率的 1/3。

即，节拍确定部分 117 基于在出现峰值的频率上能量间隔的样式即施加了短时傅立叶变换的打击信息的谐波结构来确定节拍。

图 38 是用于说明由节拍确定部分 117 进行的确定节拍的方法的具体示例。

图 38 显示了三个图：如图的左手边显示的其中水平轴表示时间而垂直轴表示频率的图（在下文中被称为“时间对频率图”）；如时间对频率图的右边显示的其中水平轴表示能量而垂直轴表示频率的图（在下文中被称为“能量对频率图”）；如能量对频率图的右边显示的其中水平轴表示能量而垂直轴表示 log-频率的图（在下文中被称为“能量对 log-频率图”）。

首先参考图 38，节拍确定部分 117 以时间方向相加通过对打击信息施加短时傅立叶变换获得的在时间对频率图的频率，来获得能量对频率图。接下来，节拍确定部分 117 将能量对频率图中的频率轴转换成 log-频率轴以获得能量对 log-频率图。

然后，节拍确定部分 117 比较通过即通过对能量对 log-频率图所示的每个 log-频率的能量施加快速傅立叶变换 (FFT) 而获得的幂分量的特征与先前准备的节拍样式来确定节拍。

返回图 29，节拍确定部分 117 向小节顶部确定部分 118 供应如此确定的节拍。

小节顶部确定部分 118 从节奏校正部分 115 中接收节奏数据，从拍子特征提取部分 116 中接收对于每个拍子的曲调特征，从节拍确定部分 117 中接收节拍。基于节奏数据、对于每个拍子的特征，和节拍，小节顶部确定部分 118 确定小节的顶部。

这里，关于用于确定小节的顶部的方法，例如，小节的顶部相比于小节的其他段来说具有下列特性：和音更可能改变；音乐稳定的和音（例如，所谓的三个和音）很可能出现；音调明显且稳定；存在按照音量的重音。

使用小节的顶部的这些特性，小节顶部确定部分 118 确定每个拍子的小节顶部相似性。注意，例如，小节顶部确定部分 118 是通过学习使用和音和每个拍子的特征等等而先前构造的，并基于节奏数据、每个拍子的曲调特征，和节拍来评估小节顶部相似性。

接下来，如图 39 的示例所示，小节顶部确定部分 118 相加贯穿整个曲调或贯穿具体范围（例如，4/4 拍中的四、3/4 拍中的三、6/8 拍中的六等等）的节拍的一个小节中的每个码号的所评估的小节顶部相似性。即，在节拍是 4/4 拍的图 39 的示例的情况下，每个第四拍子的小节顶部相似性被相加。更具体地，第一拍子、第五拍子、第九拍子等等（在下文中被称为“第 1/4 拍子”）的小节顶部相似性被相加；第二拍子、第六拍子、第十拍子等等（在下文中被称为“第 2/4 拍子”）的小节顶部相似性被相加；第三拍子、第七拍子、第十一拍子等等（在下文中被称为“第 3/4 拍子”）的小节顶部相似性被相加；第四拍子、第八拍子、第十二拍子等等（在下文中被称为“第 4/4 拍子”）的小节顶部相似性被相加。

然后，如图 40 的示例所示，在节拍是 4/4 的情况下，小节顶部确定部分 118 比较每个第四拍子的小节顶部相似性的总和与另一个，并确定具有最高小节顶部相似性的拍子作为小节的顶部。更具体地，在图 40 的示例的情况下，第 1/4 拍子的小节顶部相似性的值的总和是 35.6，第 2/4 拍子的小节顶部相似性的值的总和是 12.6，第 3/4 拍子的小节顶部相似性的值的总和是 21.5，第 4/4 拍子的小节顶部相似性的值的总和是 13.3。即，第 1/4 拍子的顶部相似性的值的总和是所有的最高的。因此，小节顶部确定部分 118 确定第 1/4 拍子作为小节的顶部。

如上所述，拍子检测单元 101 从曲调波形（即，音频信号）中检测拍子数据，诸如节奏、节拍和小节的顶部，并输出拍子数据。即，由于拍子检测单元 101 能够通过检测拍子的处理（即图 4 中的步骤 S1 的处理）中的上述方法来获得拍子数据，例如，拍子检测单元 101 能够更精确地检测拍子。因此，例如，精确的分节在分节处理（即图 4 中的步骤 S5 的处理）中变得可能，反过来允许和音识别处理（即，图 4 中的步骤 S7 的处理）中的和音部分的更精确的识别。

这里，当通过相关技术和本发明的技术进行包含调制的曲调波形的分析时，现在将相互比较操作量（即乘法和加法的数量）。为了当比较它们时使条件相等，假设，例如，曲调的长度是五分钟，节奏是 120，用于校正技术的拍子的数量是八个拍子，比较其操作量。

首先，在通过现有技术进行包含调制的曲调波形的分析的情况下，当计算用于计算相关性的平均值和范数时，操作量 a1 如下：

操作量 $a1 = (\text{拍子的数量}) \times (8 \text{ 拍子}) \times (12 \text{ 个曲调}) \times (2(\text{平均值和范数})) = 5 \times 120 \times 8 \times 12 \times 2 = 115,200(\text{操作量})$

另外，当计算相关性时操作量 a2 如下：

操作量 $a2 = (\text{拍子的数量}/2 + 1) \times (8 \text{ 拍子}) \times (12 \text{ 个曲调}) \times (12 \text{ 次移位}) = 5 \times 120 \times 299 \times 8 \times 12 \times 12 = 206,668,800(\text{操作量})$

相应地，在相关技术的情况下操作量 A 如下：

操作量 $A = \text{操作量 } a1 + \text{操作量 } a2 = 115,200 + 206,668,800 = 206,784,000(\text{操作量})$

接下来，在通过本发明的技术进行包含调制的曲调波形的分析的情况下，当通过离散傅立叶变换消除相位分量并计算用于计算相关性的平均值和范数时，操作量 b1 如下：

操作量 $b1 = (\text{拍子数量}) \times ((8 \text{ 个拍子}) \times (12 \text{ 曲调}))^2 (\text{历史傅立叶变换的计算}) + (\text{拍子的数量}) \times (\text{离散傅立叶变换后的特征}) \times 2(\text{平均值和范数}) = 5 \times 120 \times (8 \times 12)^2 + 5 \times 120 \times 47 \times 2 = 5 \times 120 \times (8 \times 12)^2 + 5 \times 120 \times 47 \times 2 = 5,529,600 + 56,400 = 5,586,000(\text{操作量})$

另外，当计算相关性时的操作量如下：

操作量 $b2 = (\text{拍子数量}) \times (\text{拍子数量}/2 + 1) \times (\text{离散傅立叶变换后的特征}) = 5 \times 120 \times 299 \times 47 = 8,431,800(\text{操作量})$

相应地，在本发明的技术的情况下，操作量 B 如下：

操作量 B=操作量 b1+操作量 b2=5,586,000+8,431,800=14,017,800 (操作量)

如上所述，在相关技术的情况下的操作量 A 和在本发明的情况下的操作量 B 分别是 206,784,000 (操作量) 和 14,017,800 (操作量)。即，本发明的情况下的操作量 B 是小于在相关技术的情况下的操作量 A 的 1/14 的操作量(即，乘法和加法的数量)。实际中，使用对于离散傅立叶变换的快速算法使得能够用乘法和加法的数量 N² 或更少来实现计算，因此，计算的数量被进一步减少以实现自相关映射的更快速生成。因此，例如，可以更快地进行用于识别曲调结构或和音的处理。

如上所述，本发明可能能够用减少的操作量来分析包含调制的曲调波形。

另外，本发明使得可能基于包含调制的曲调波形，用减少的操作量来识别曲调的结构。

可以通过硬件或软件来实现处理的上述序列。例如，在通过软件实现处理的序列的情况下，组成软件的并被存储在存储介质的程序被安装到当其上安装了各种程序时变得能够进行各种功能的专用计算机或通用个人计算机中。

该存储介质可以是图 2 中的与计算机分离地分布的用于向用户提供程序并具有其上记录的程序的可移动介质 21，诸如磁盘(例如，软盘)、光盘(例如，CD-ROM(紧密盘-只读存储器)或 DVD(数字通用盘))、磁光盘(例如，MD(微型盘)(注册商标))、或半导体存储器。可替换地，上述存储介质可以是原始地包含在计算机中并因此而被提供给用户并具有其中存储的程序的图 2 中的 ROM 12 或记录部分 18。

另外，用于执行上述处理序列的程序可以经由诸如局域网、因特网或数字卫星广播的有线或无线通信介质通过诸如必要的路由器或调制解调器的接口而被安装在计算机中。

注意，通过存储在存储介质中的程序实现的并在本说明书中描述的步骤可以自然地以说明书的时间顺序进行，但不是一定要以时间顺序进行。某些步骤可以并行或独立地进行。

还要注意，本发明的实施例不局限于上述实施例。应该理解，可以在不脱离本发明的范围的情况下设计各种修改。

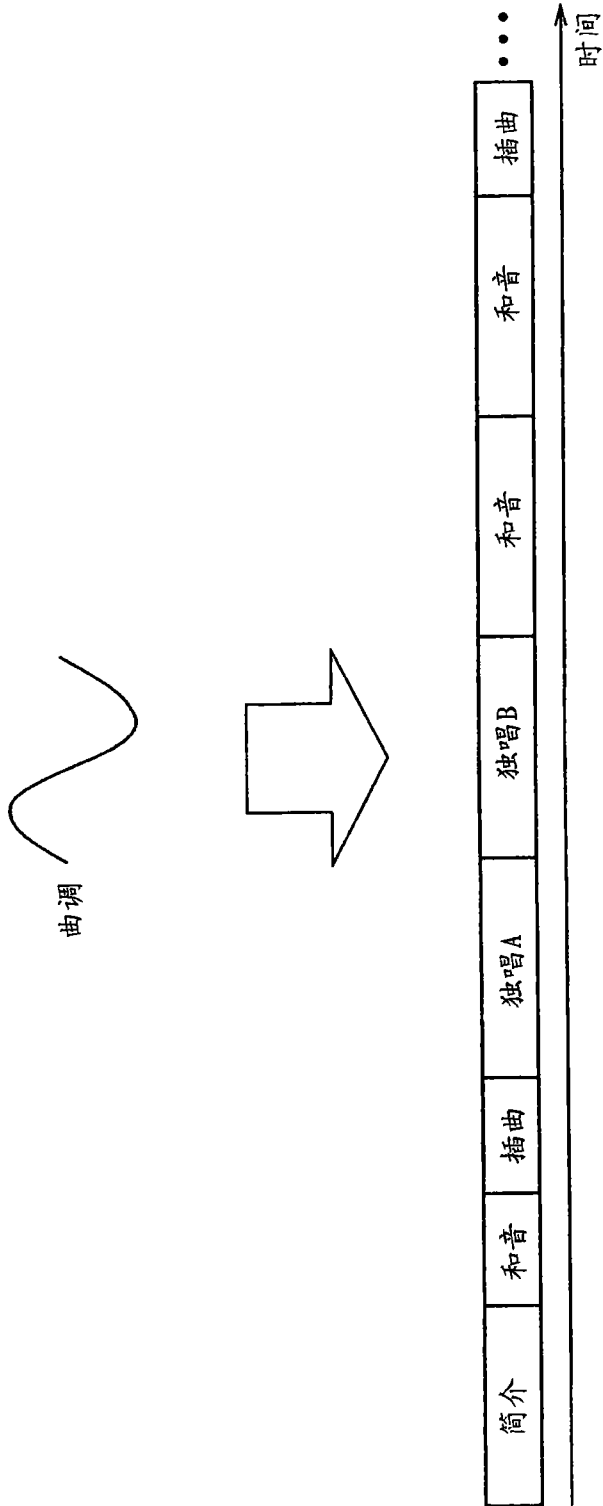


图 1

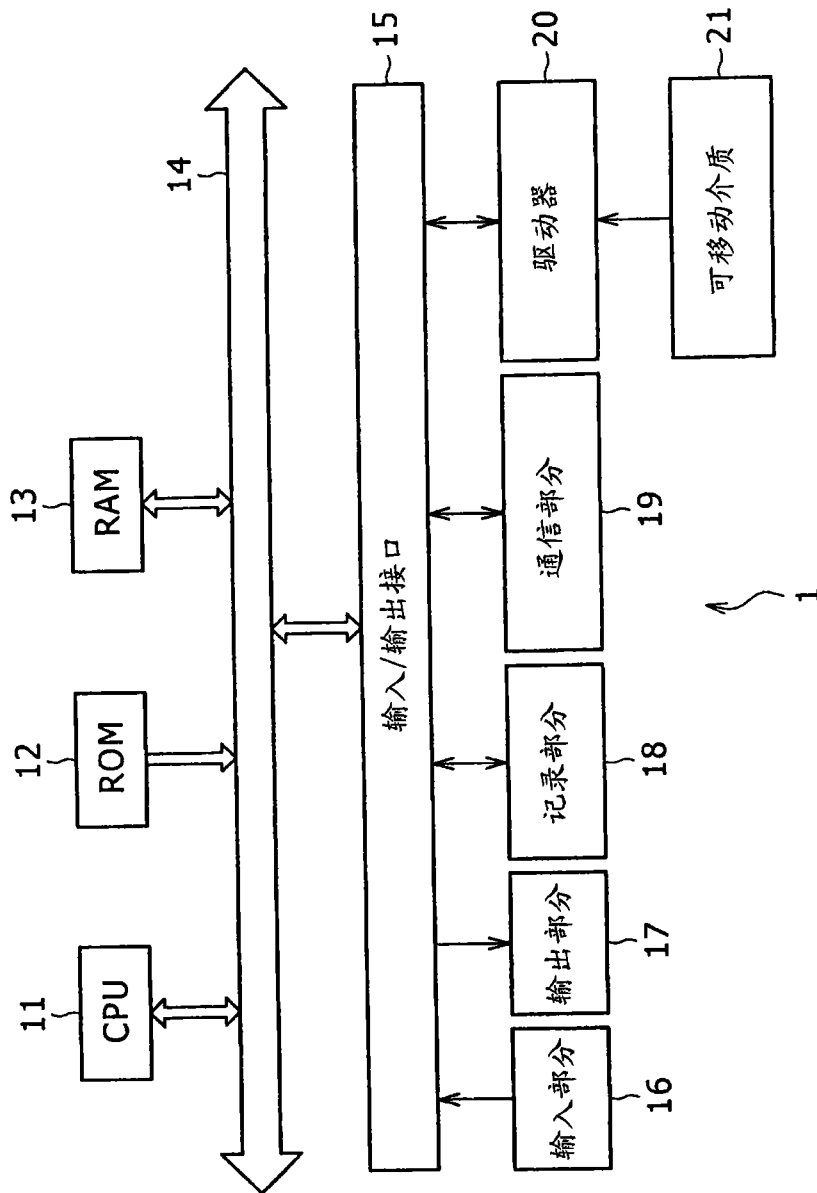


图 2

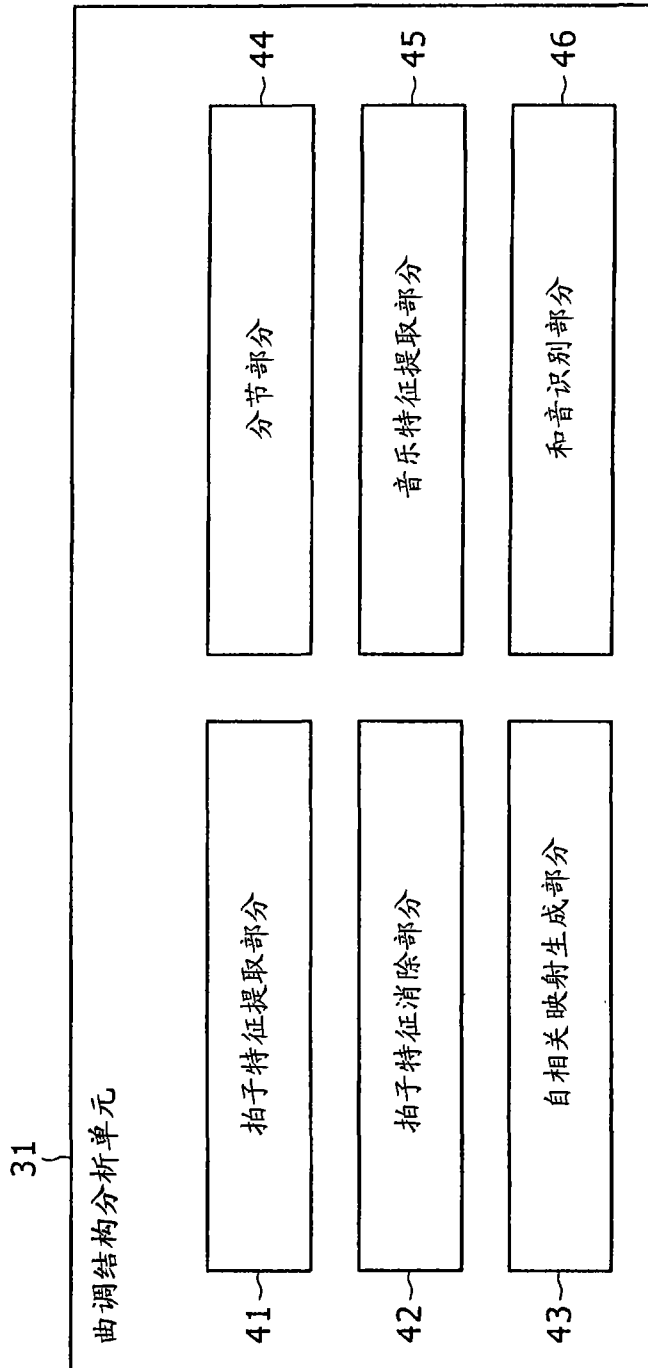


图 3

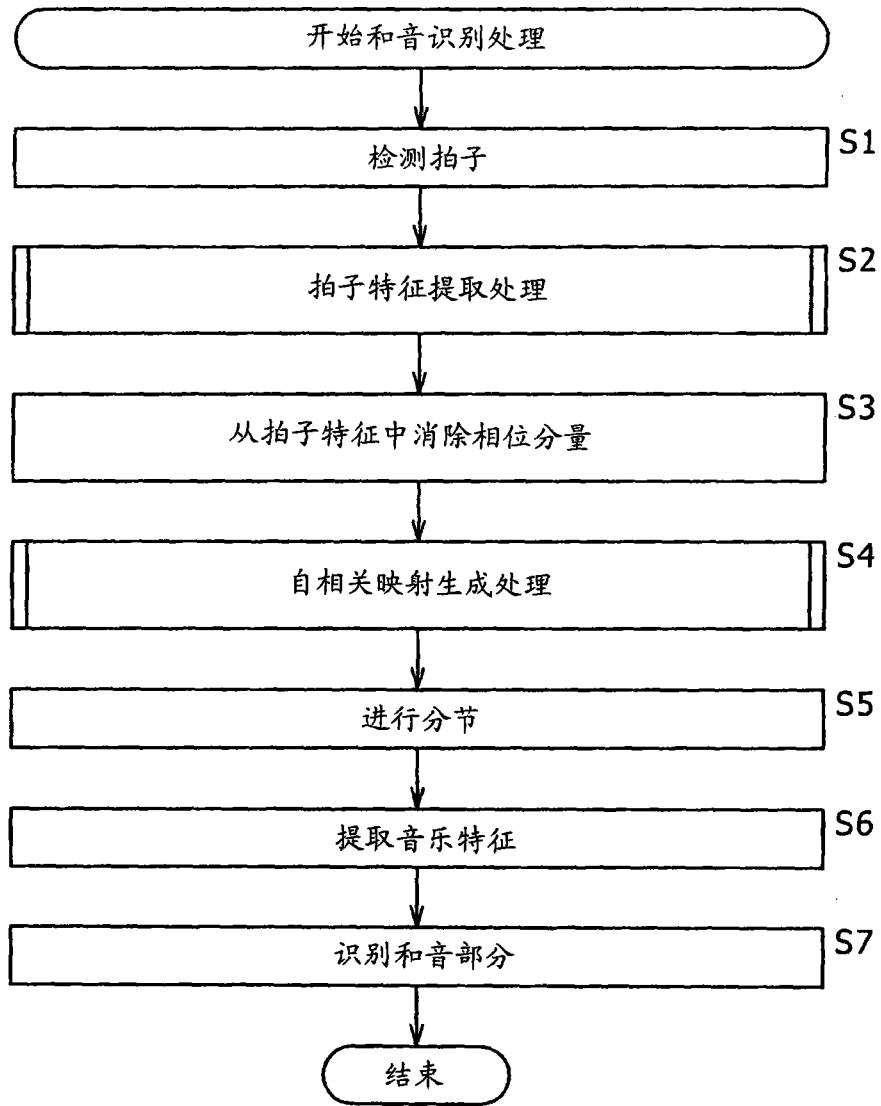


图 4

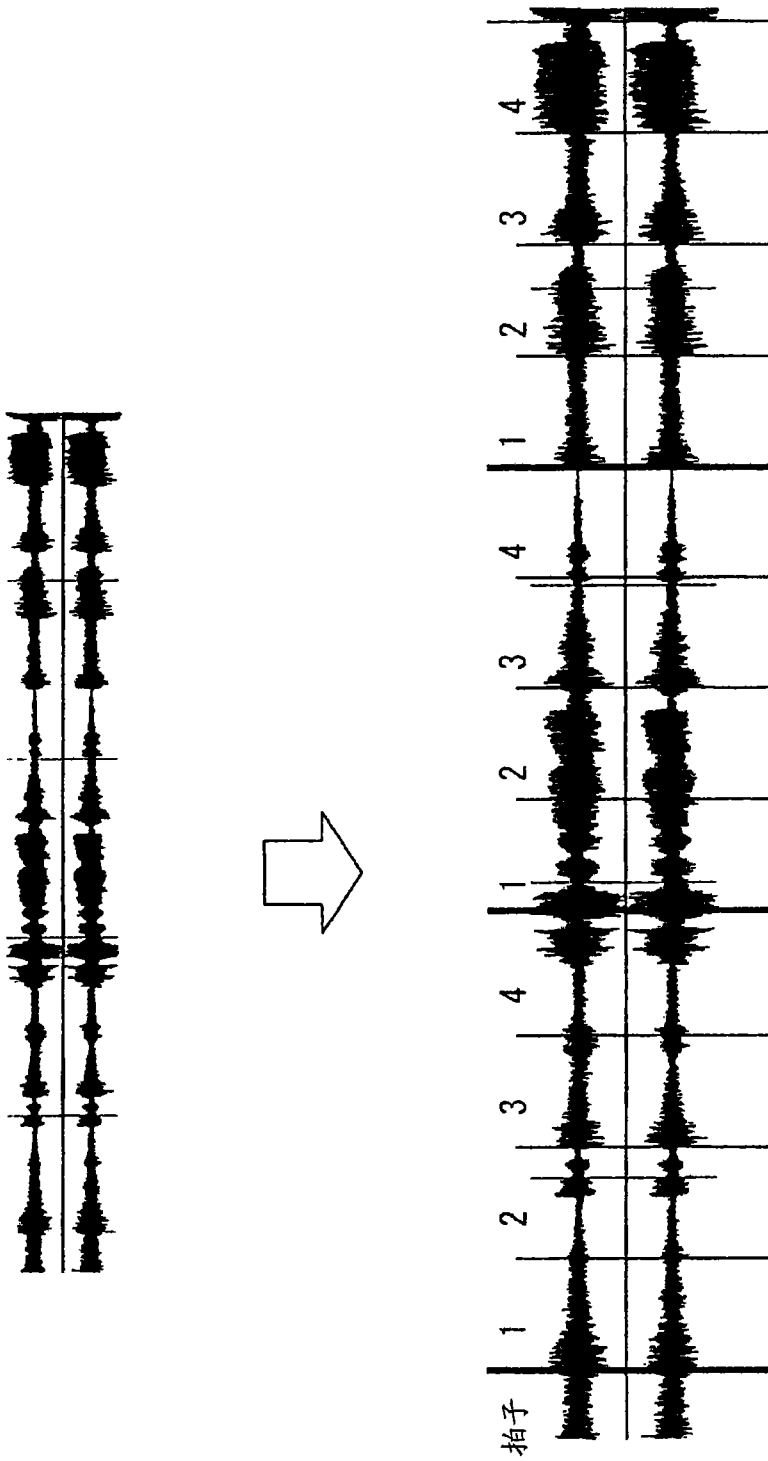


图 5

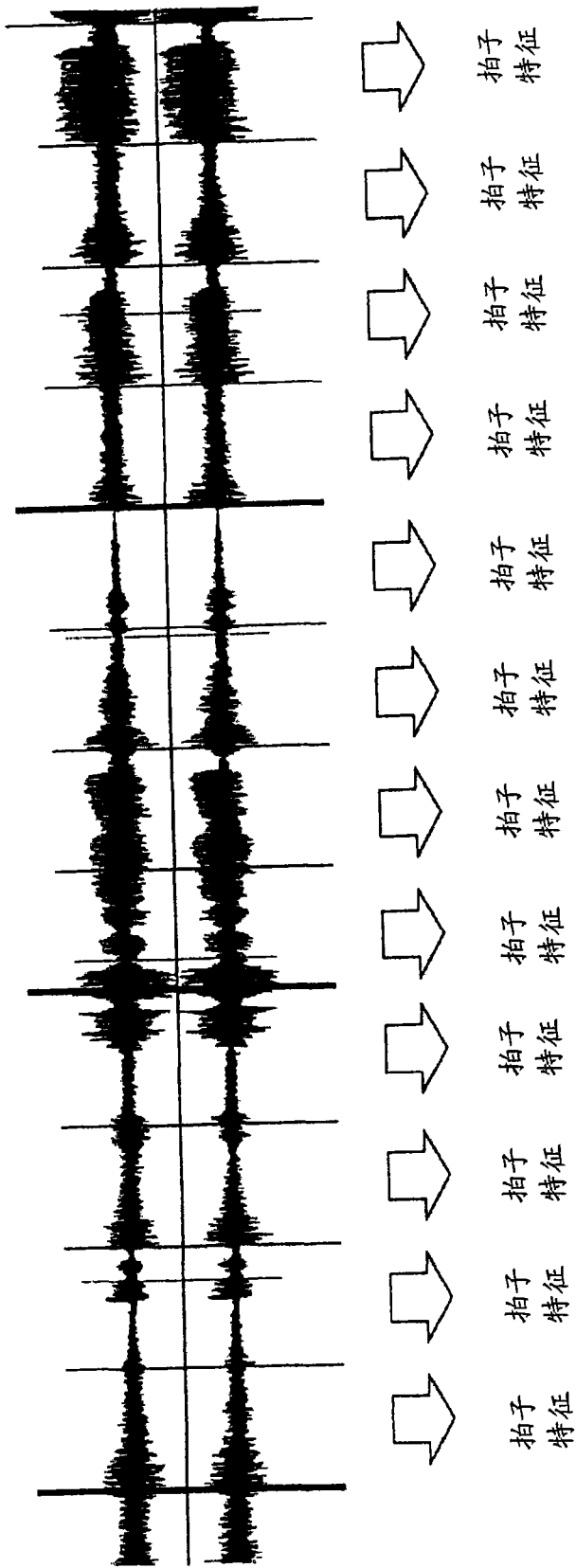


图 6

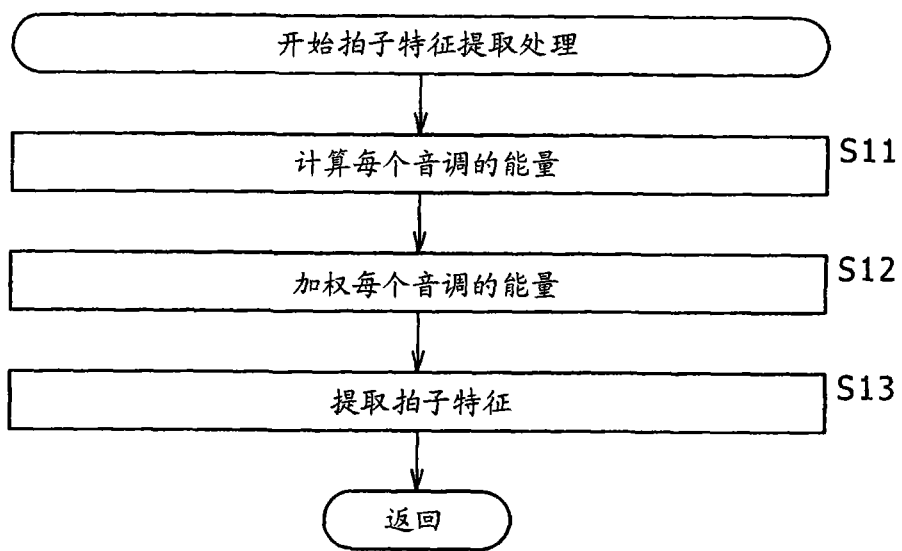


图 7

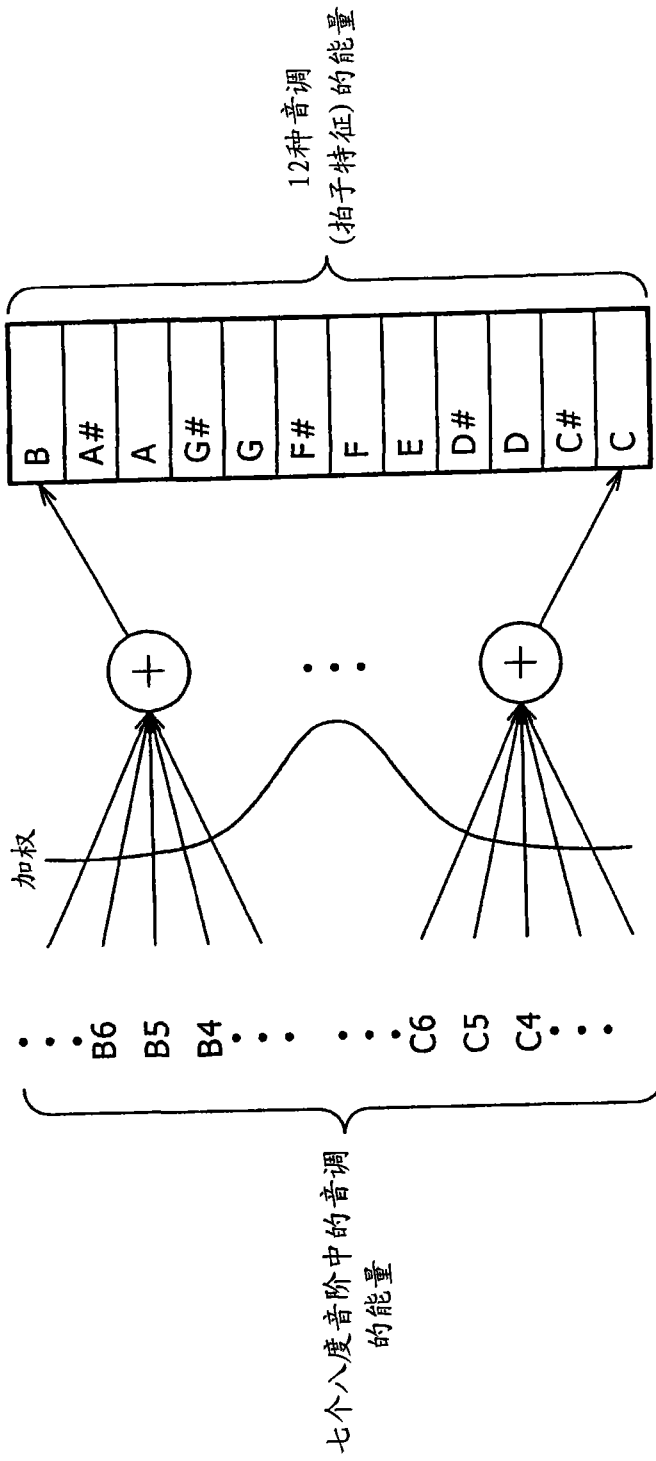


图 8

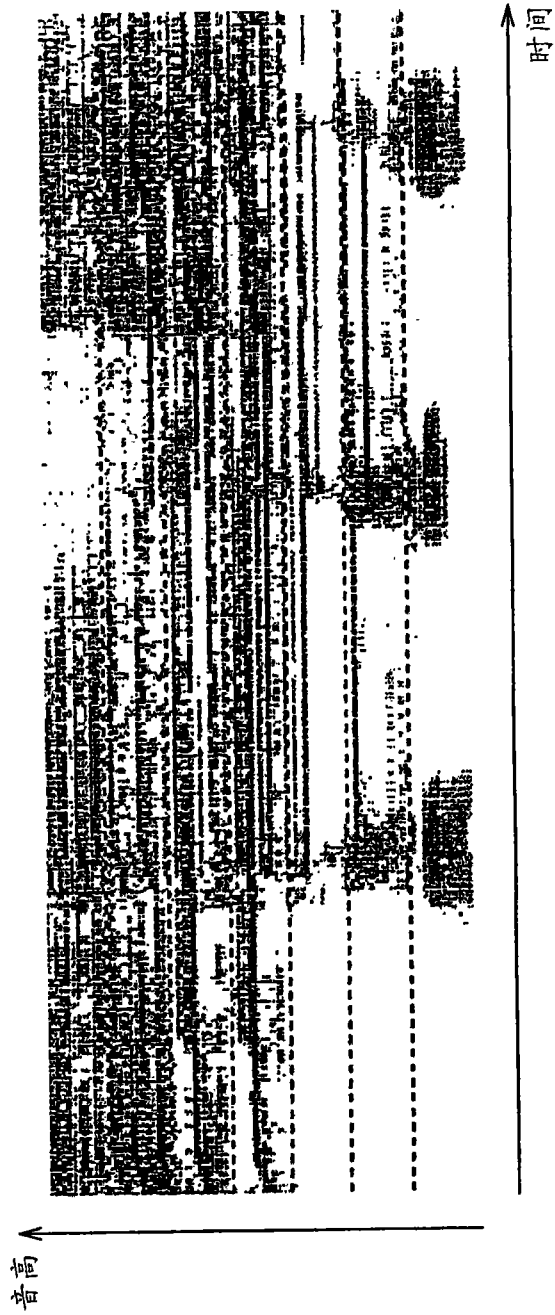


图 9

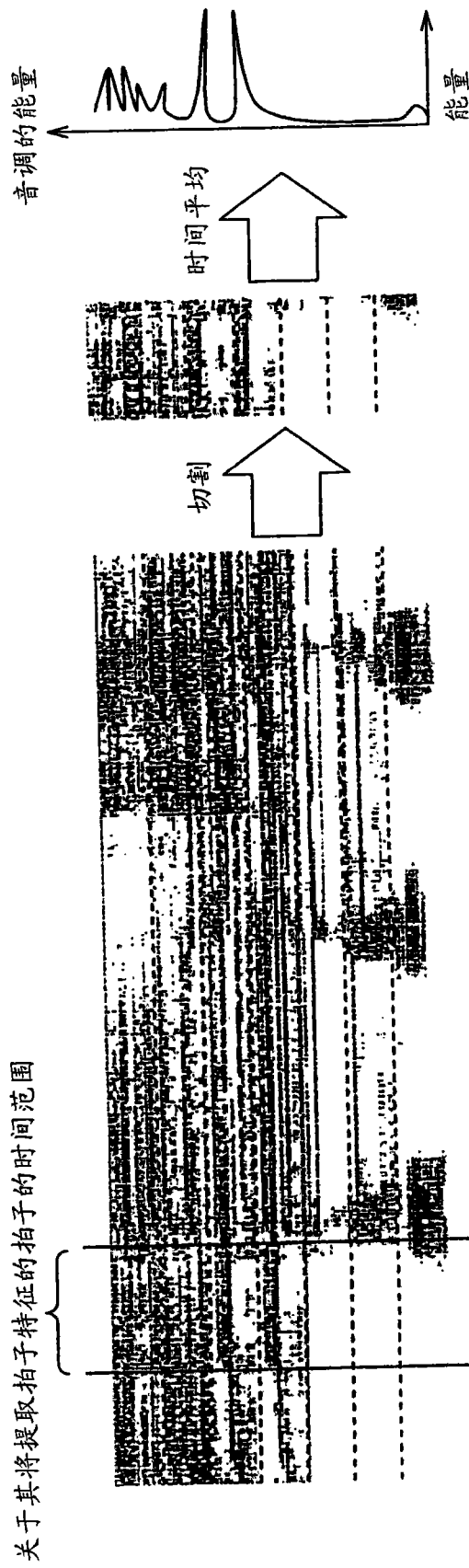


图 10

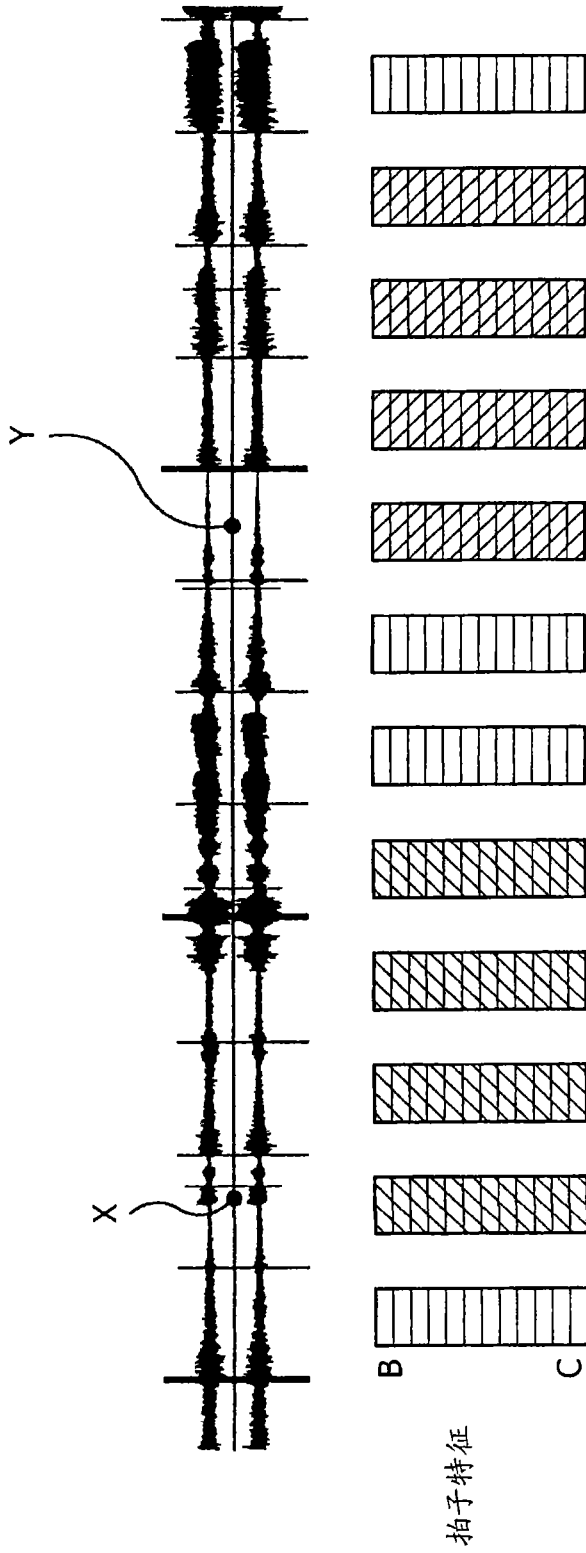


图 11

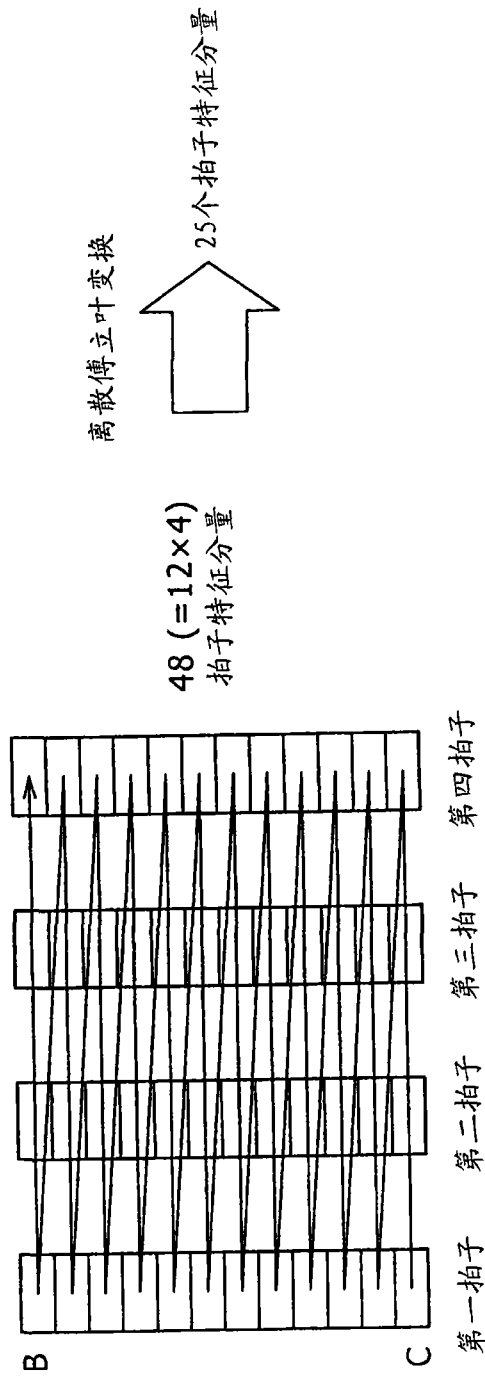


图 12

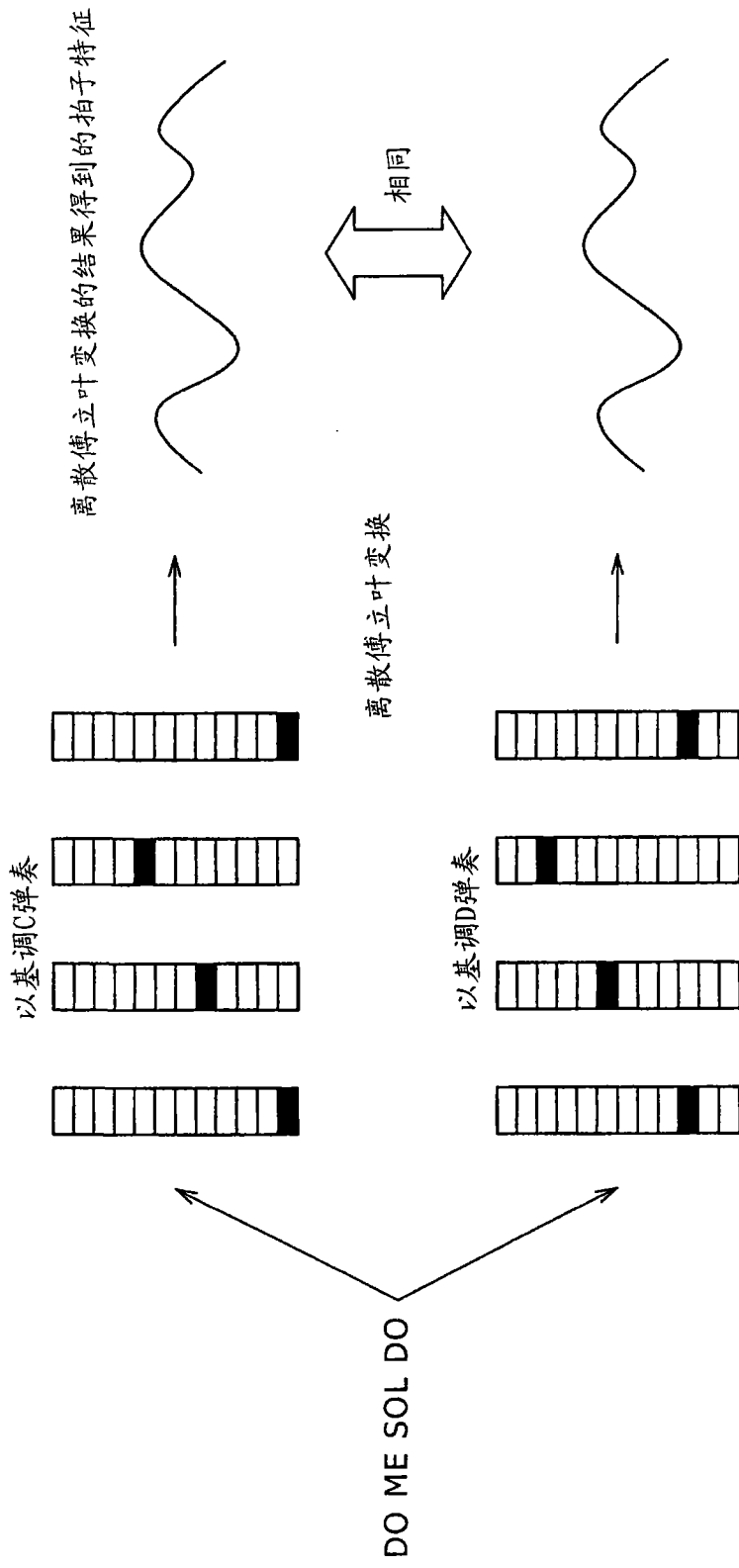


图 13

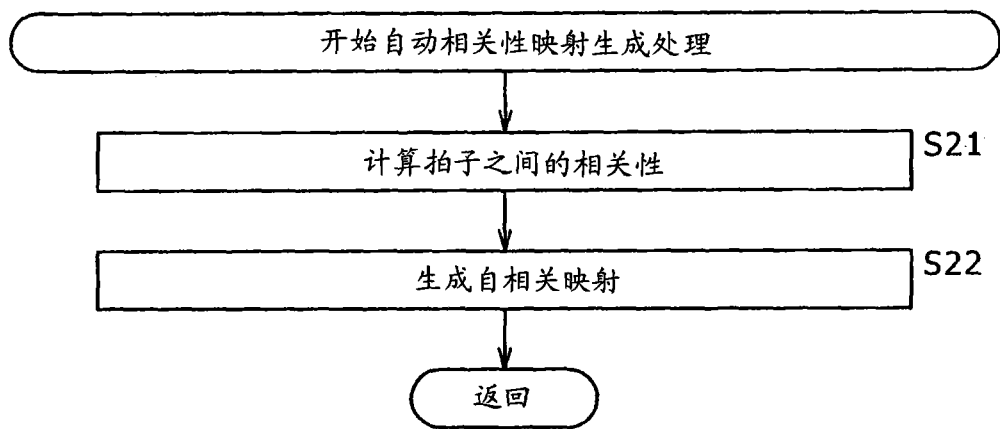


图 14

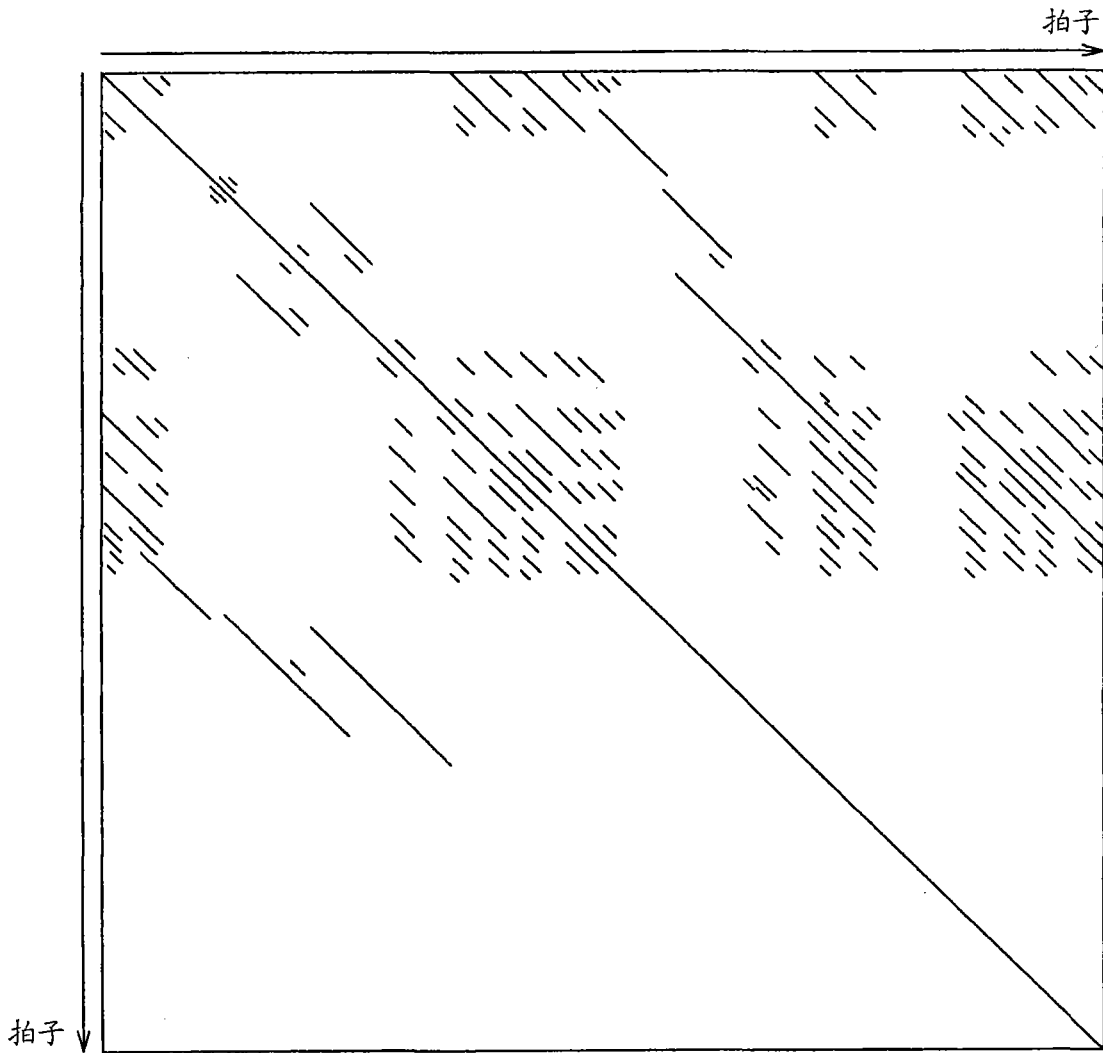


图 15

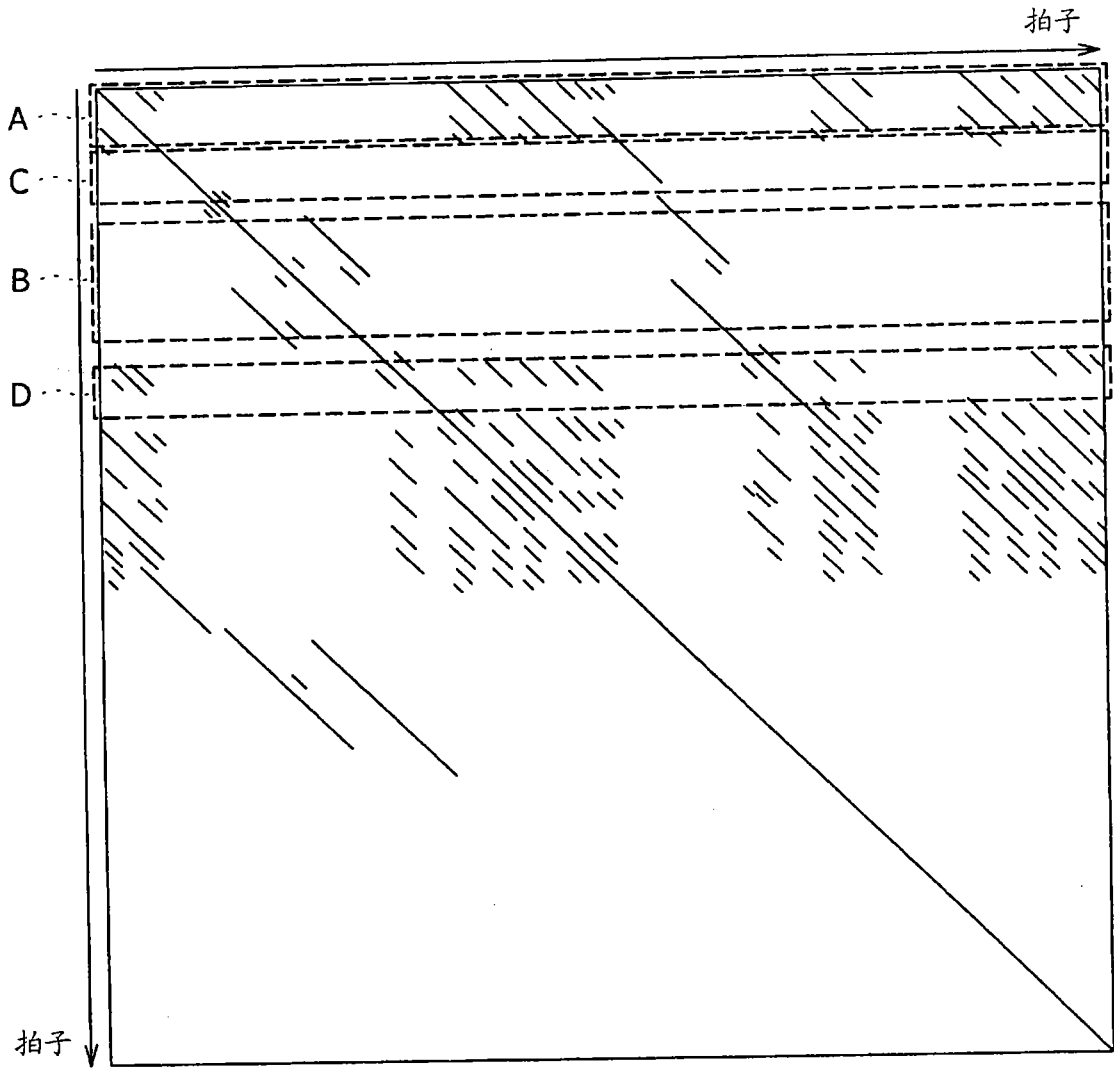


图 16

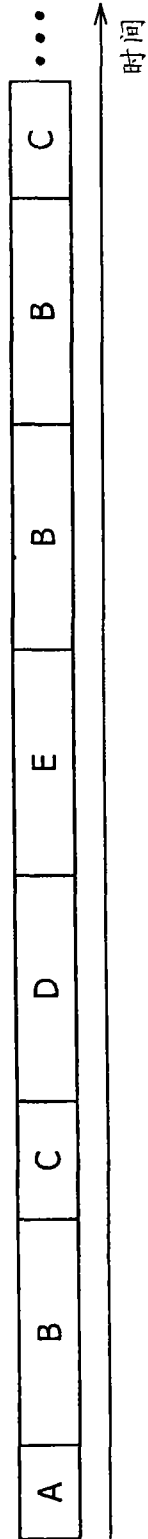


图 17

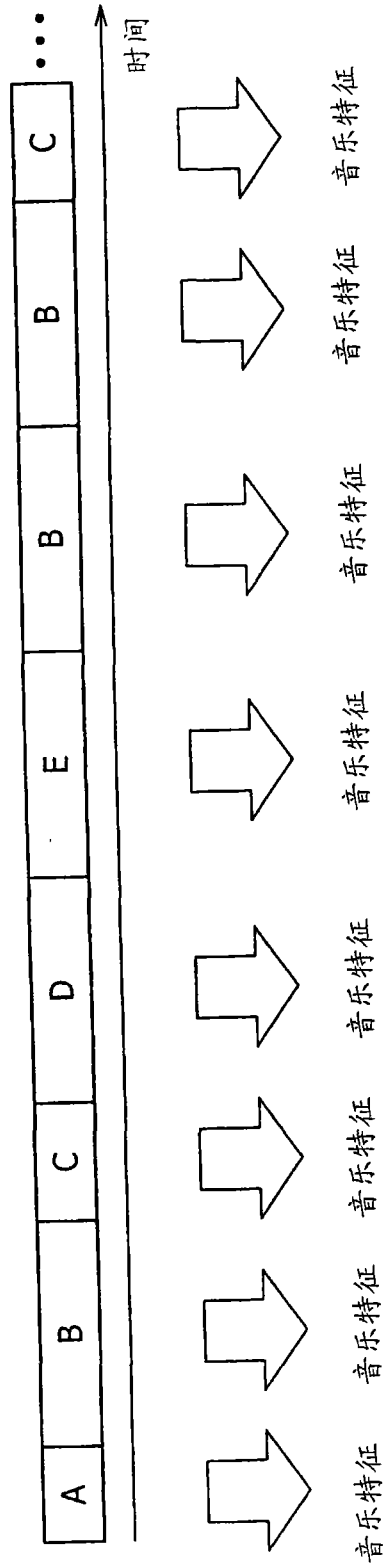


图 18

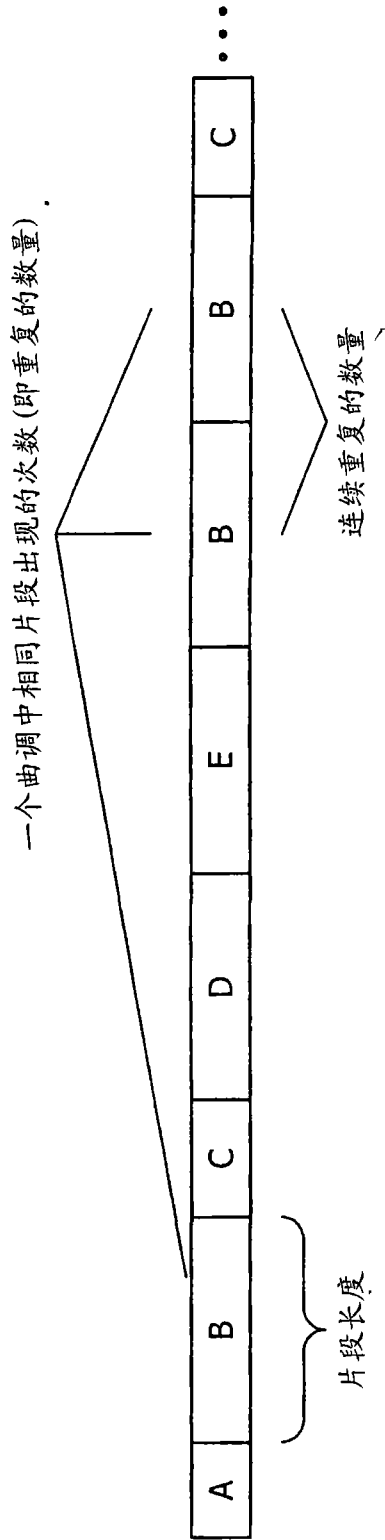


图 19

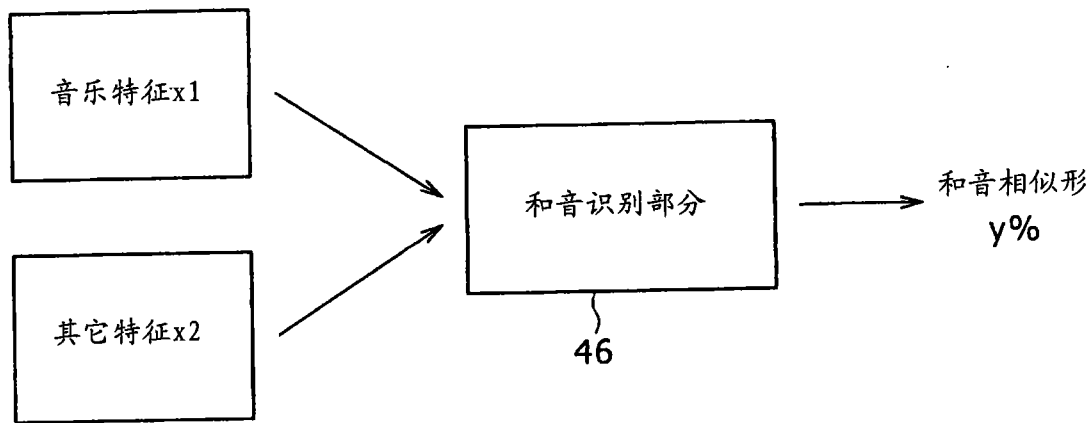


图 20

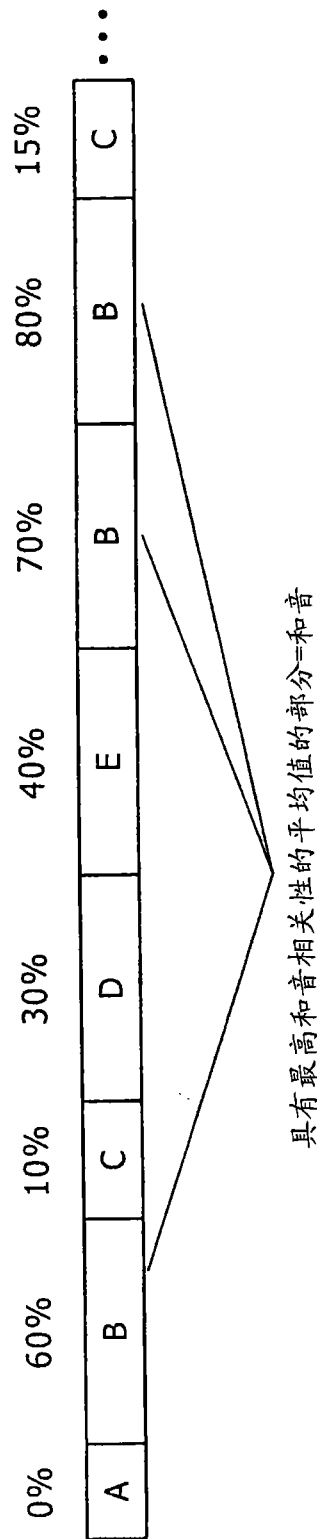


图 21

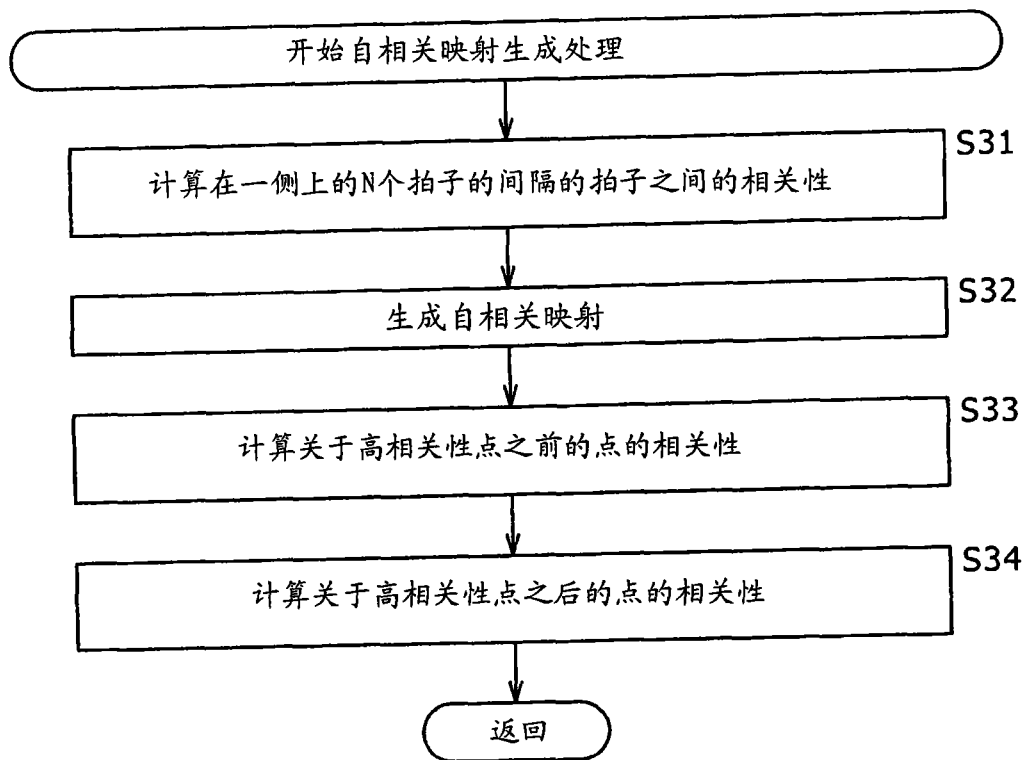


图 22

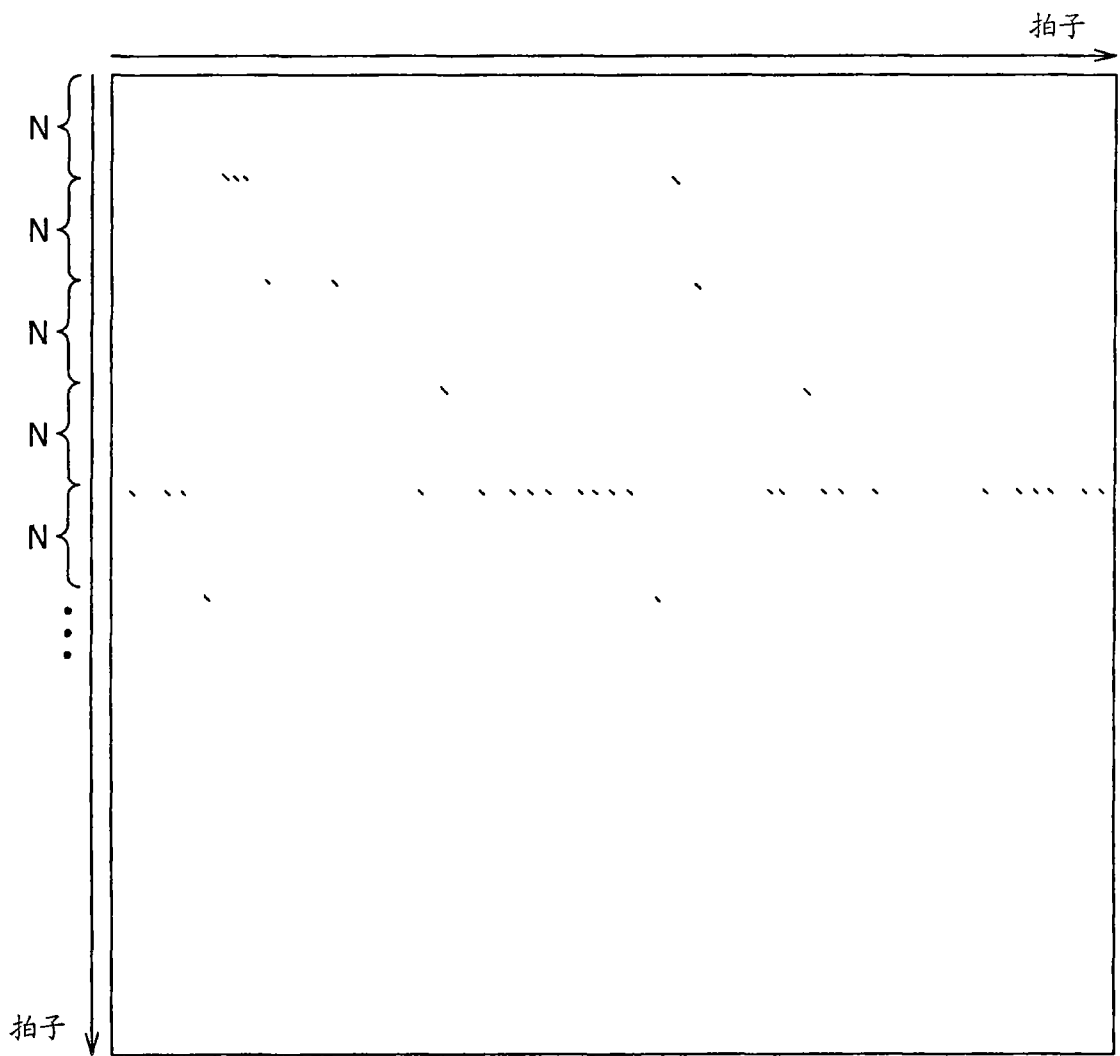


图 23

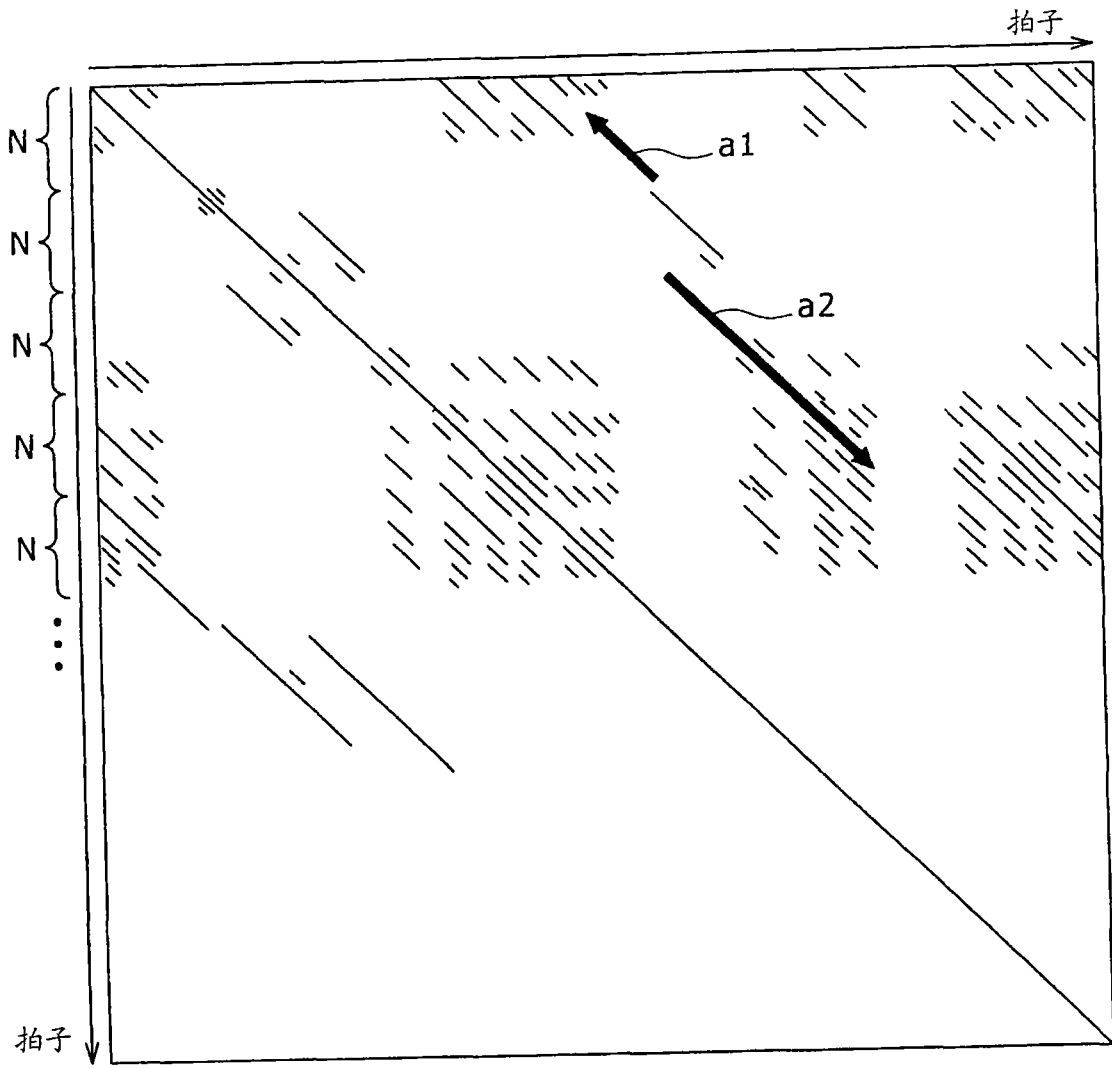


图 24

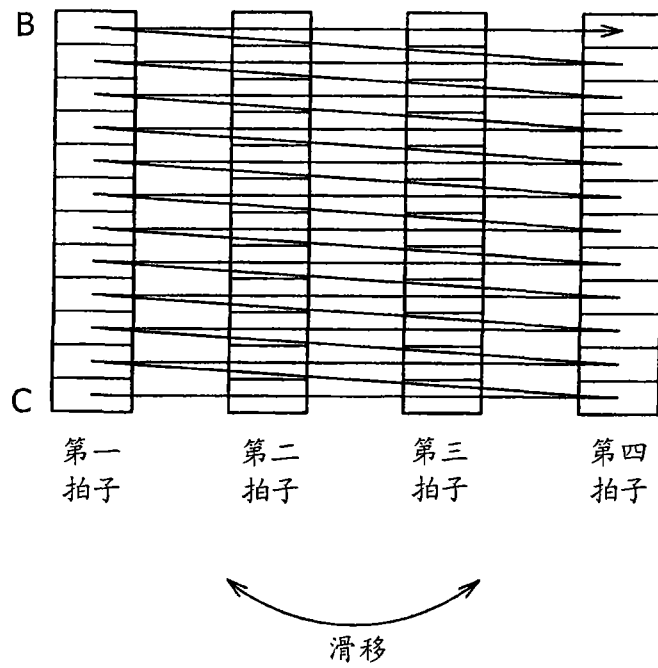


图 25

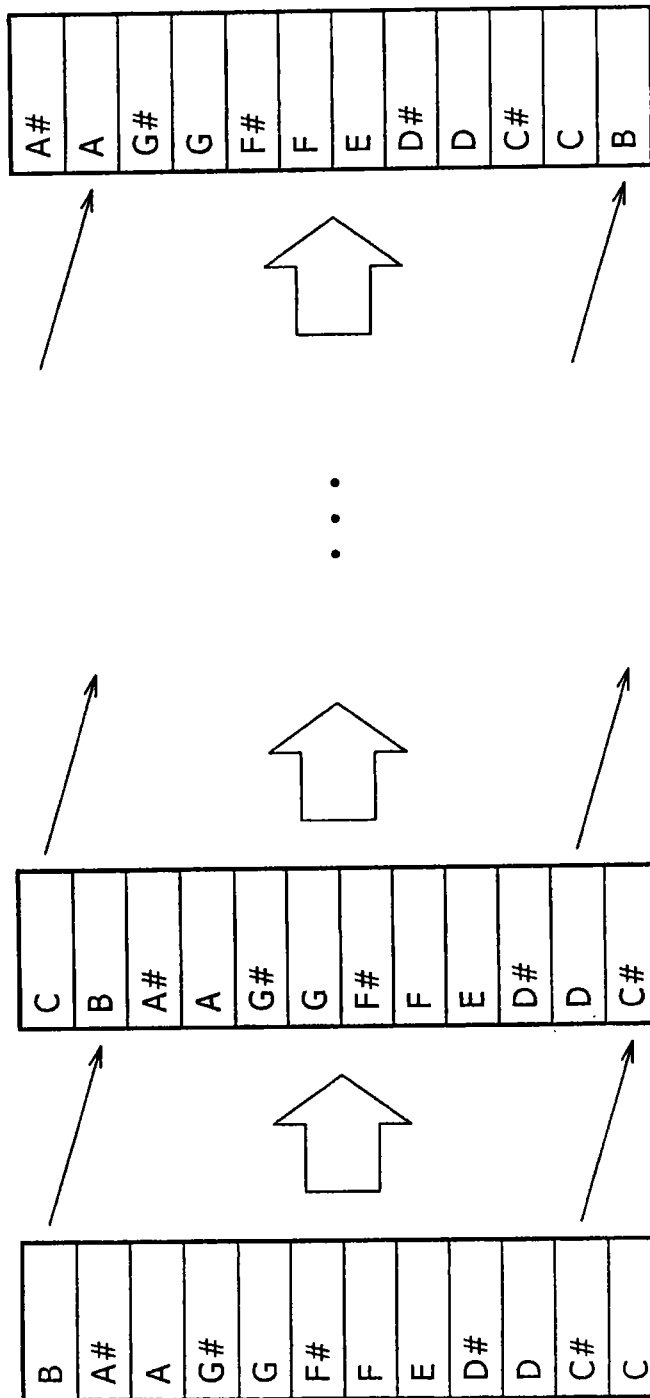


图 26

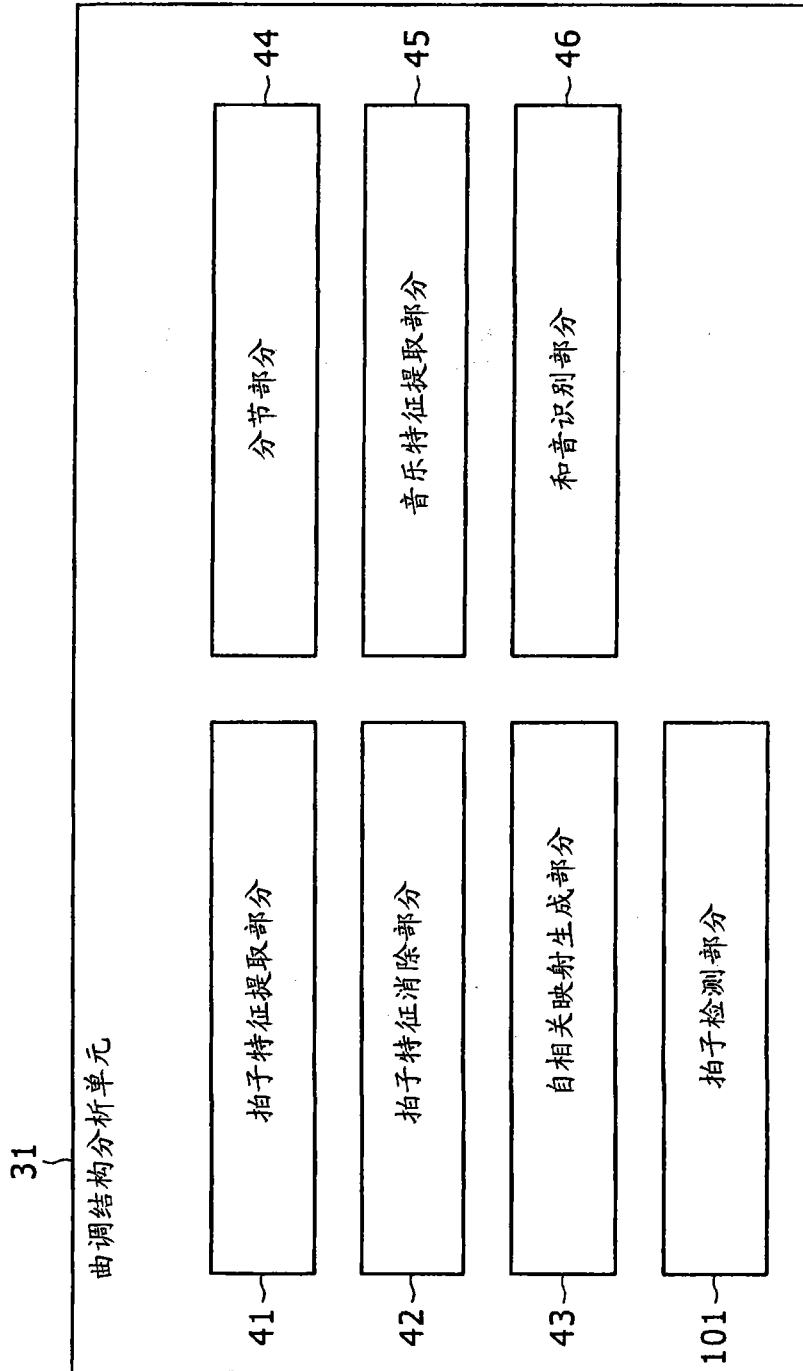


图 27

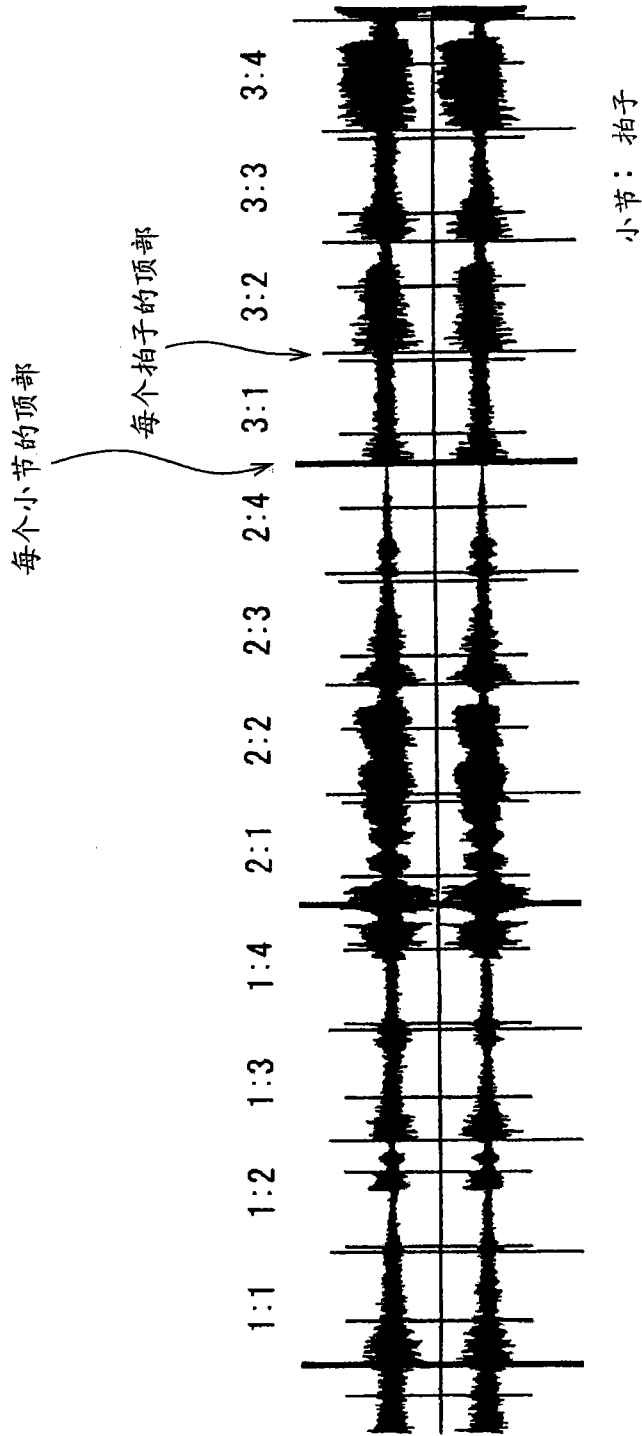


图 28

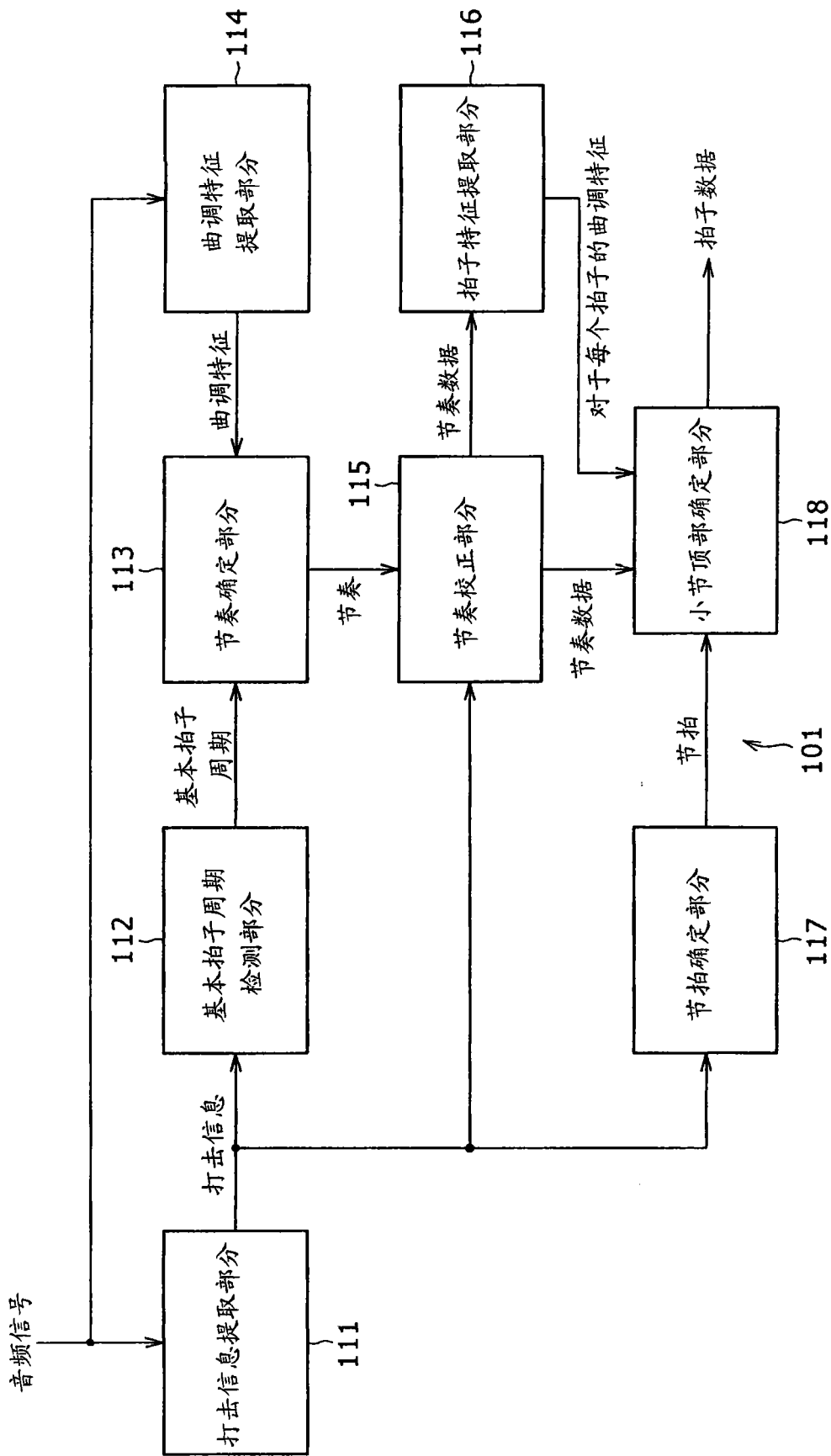


图 29

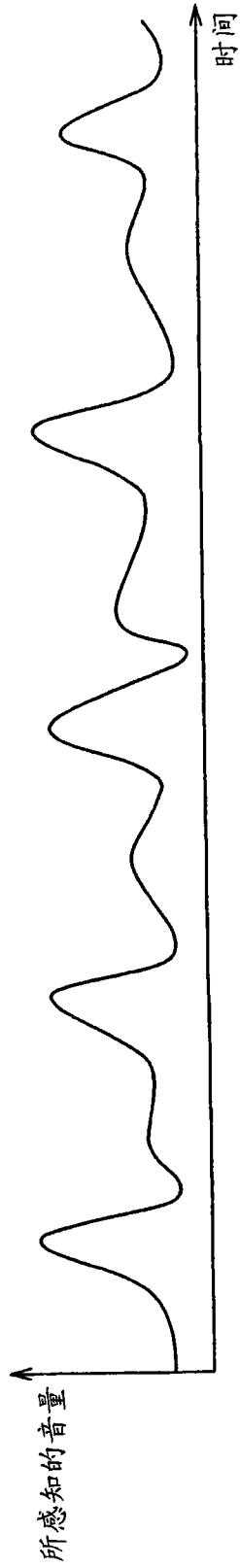


图 30

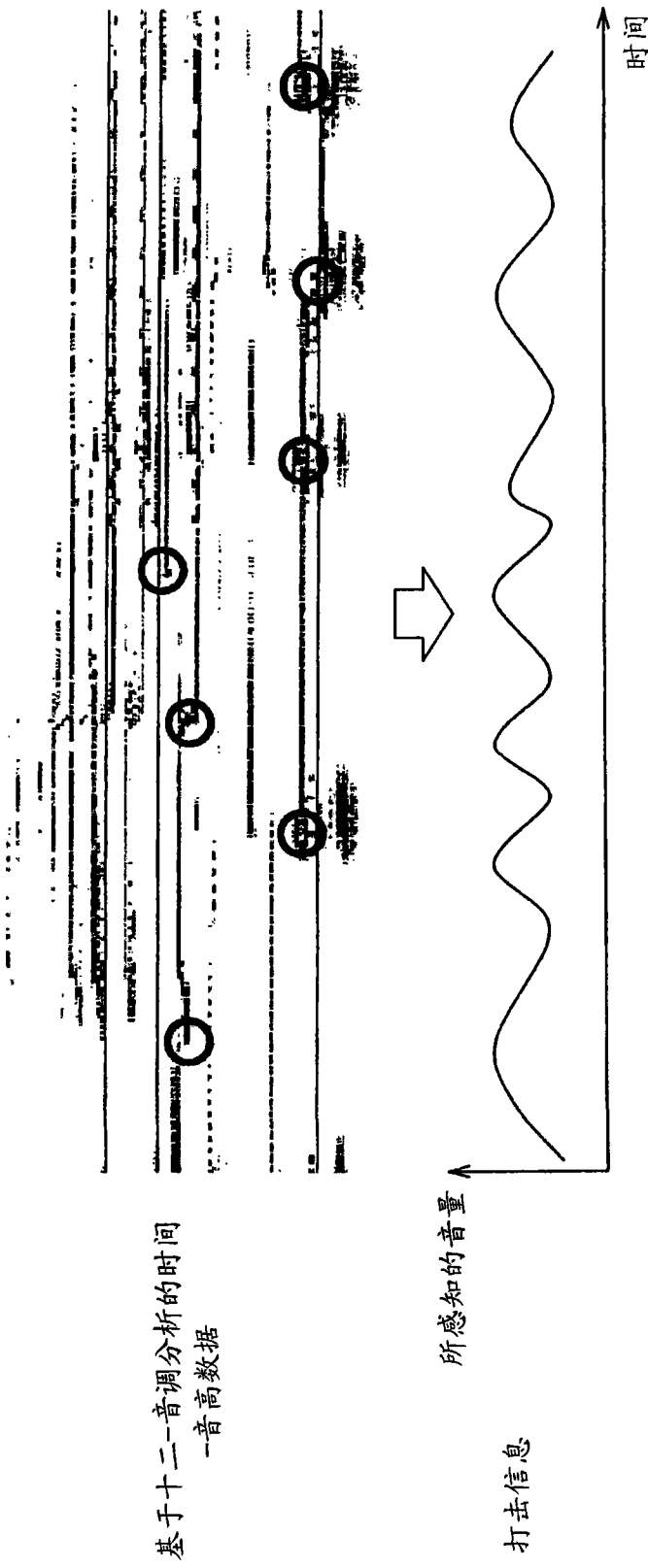


图 31

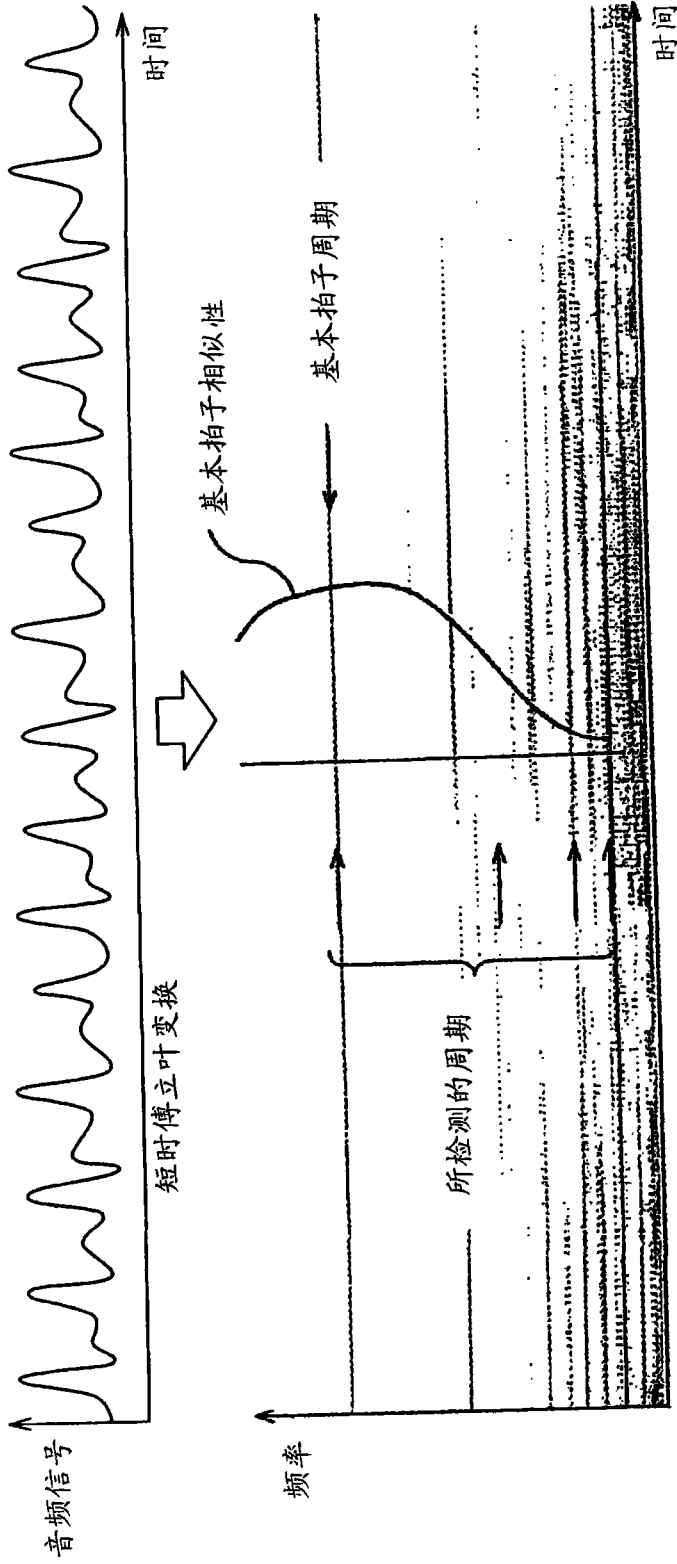


图 32

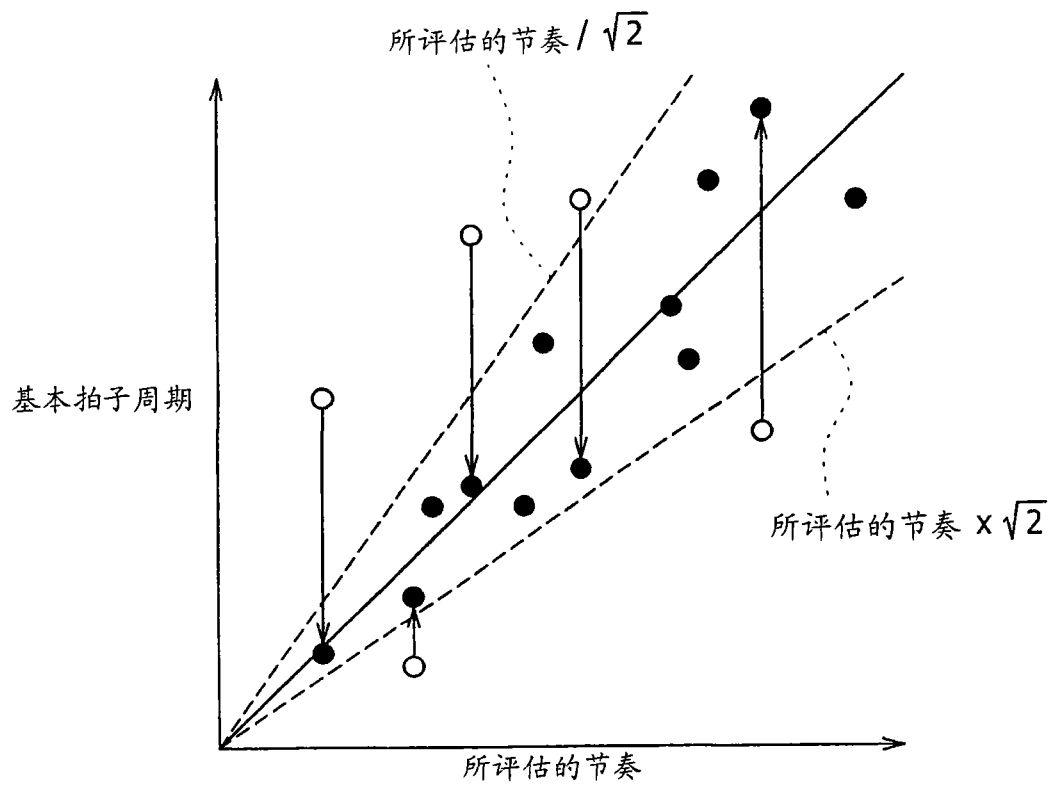


图 33

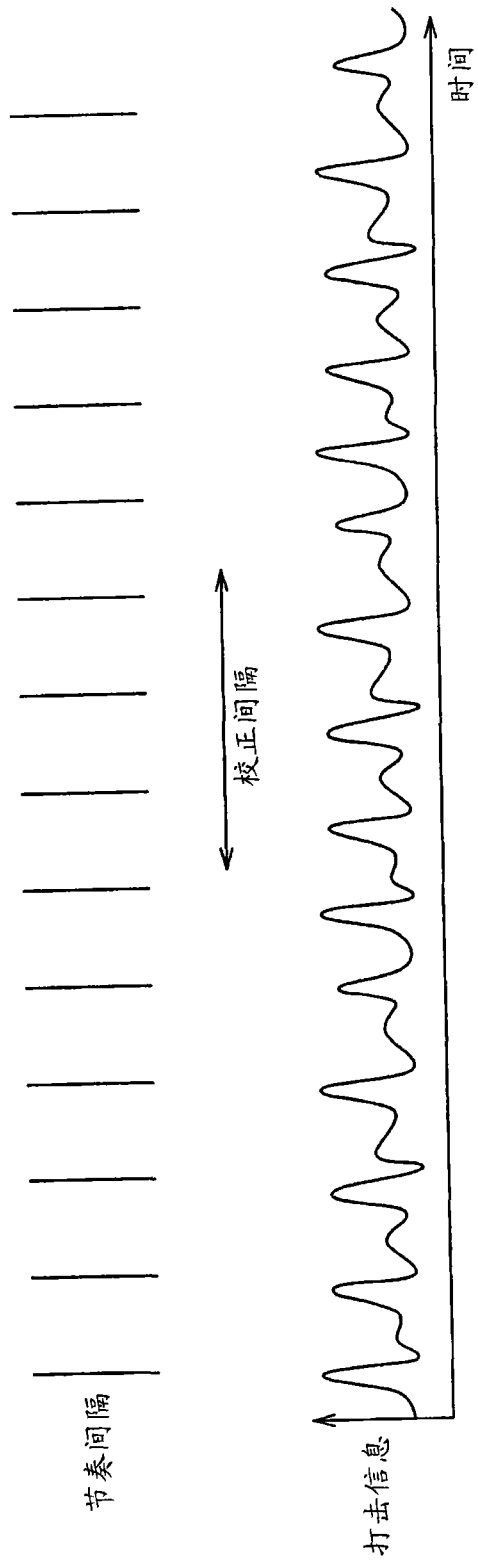


图 34

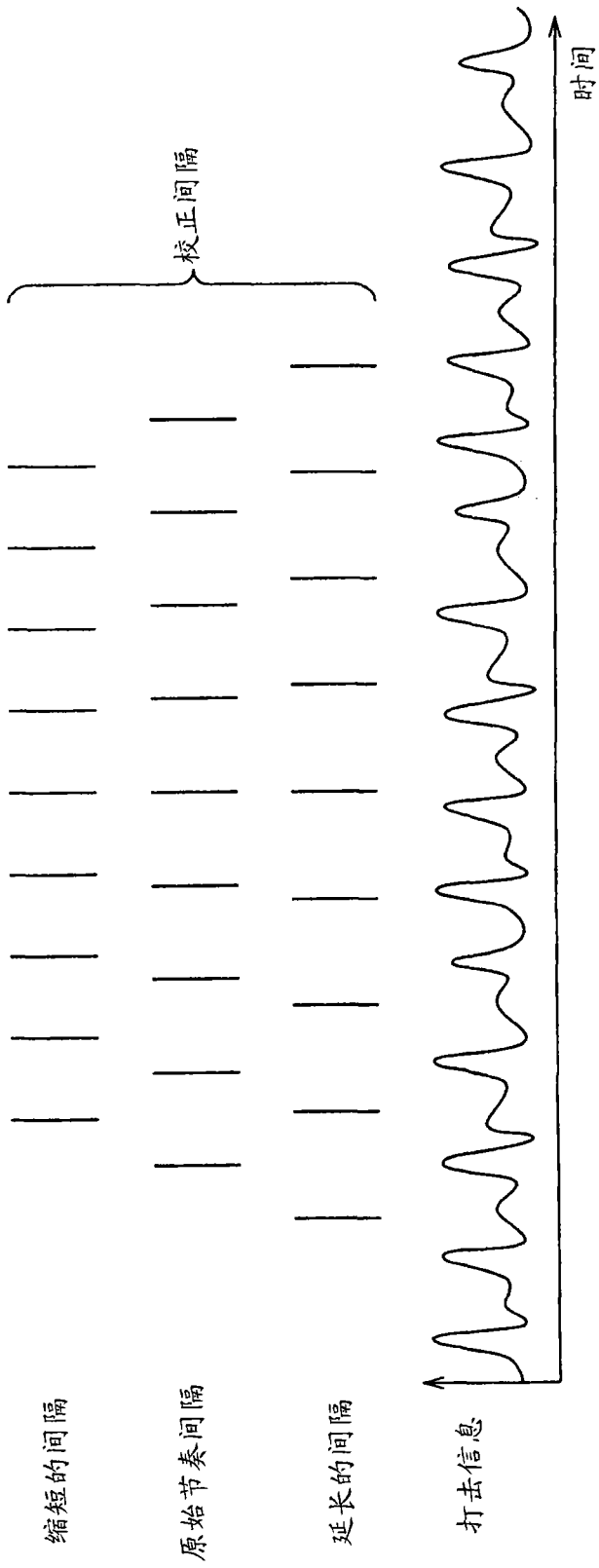


图 35

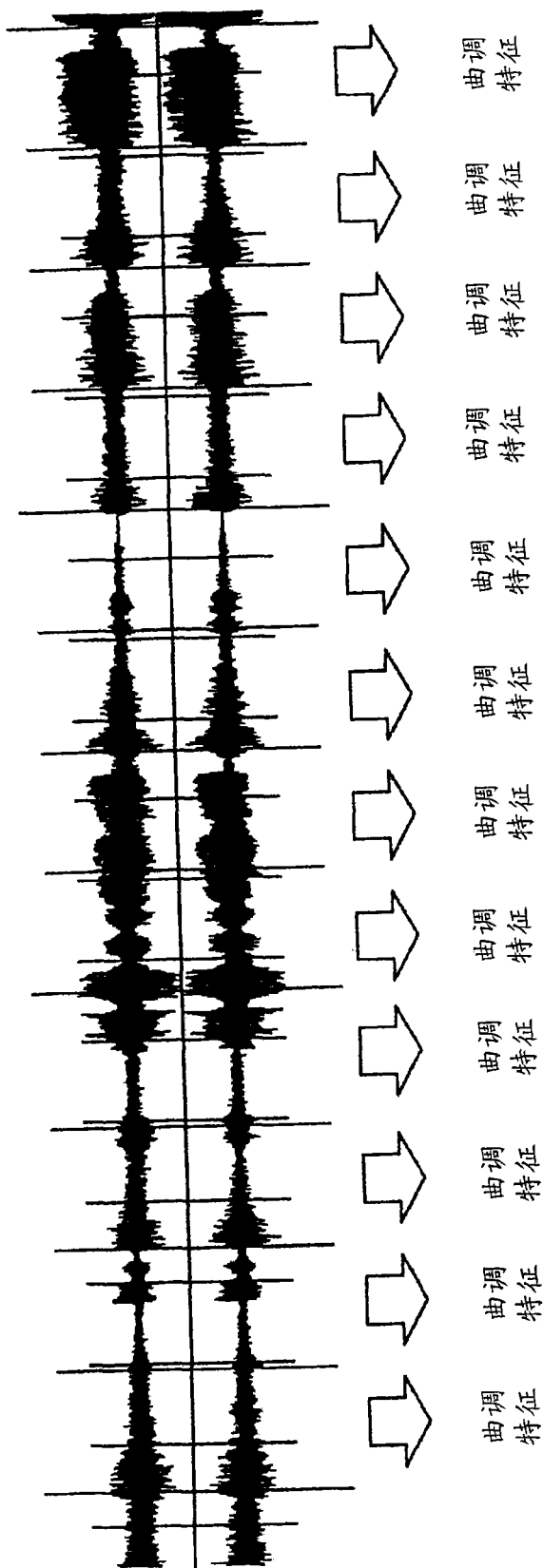


图 36

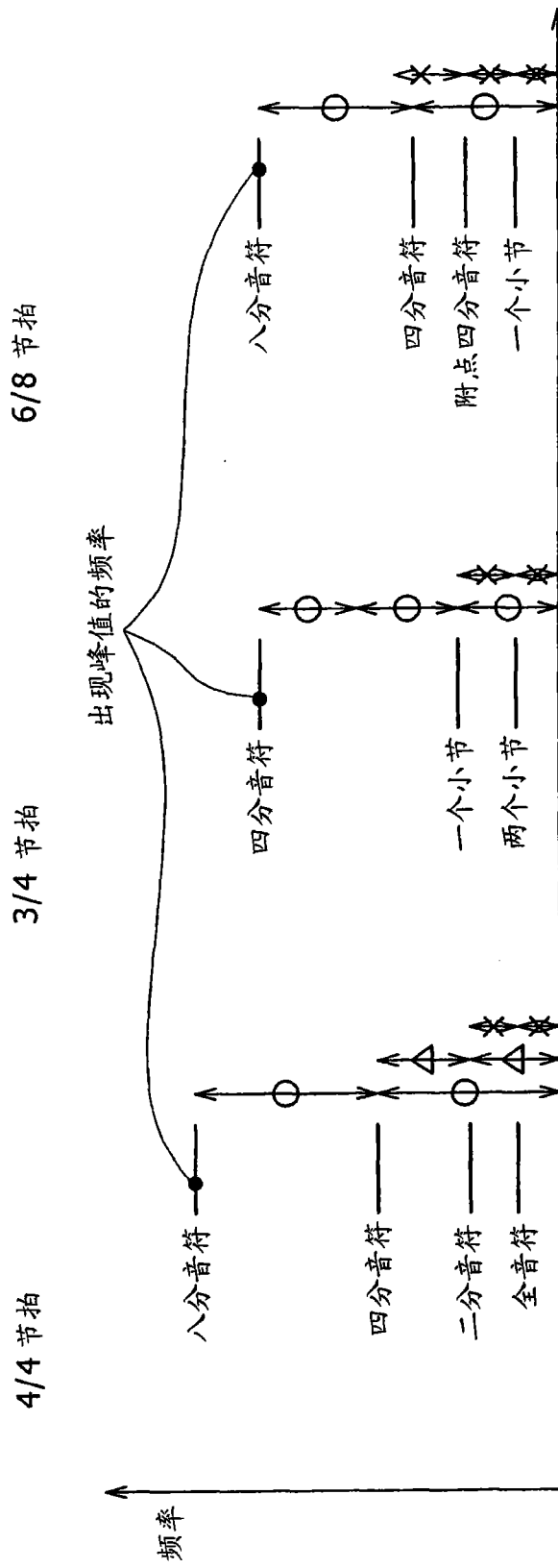


图 37

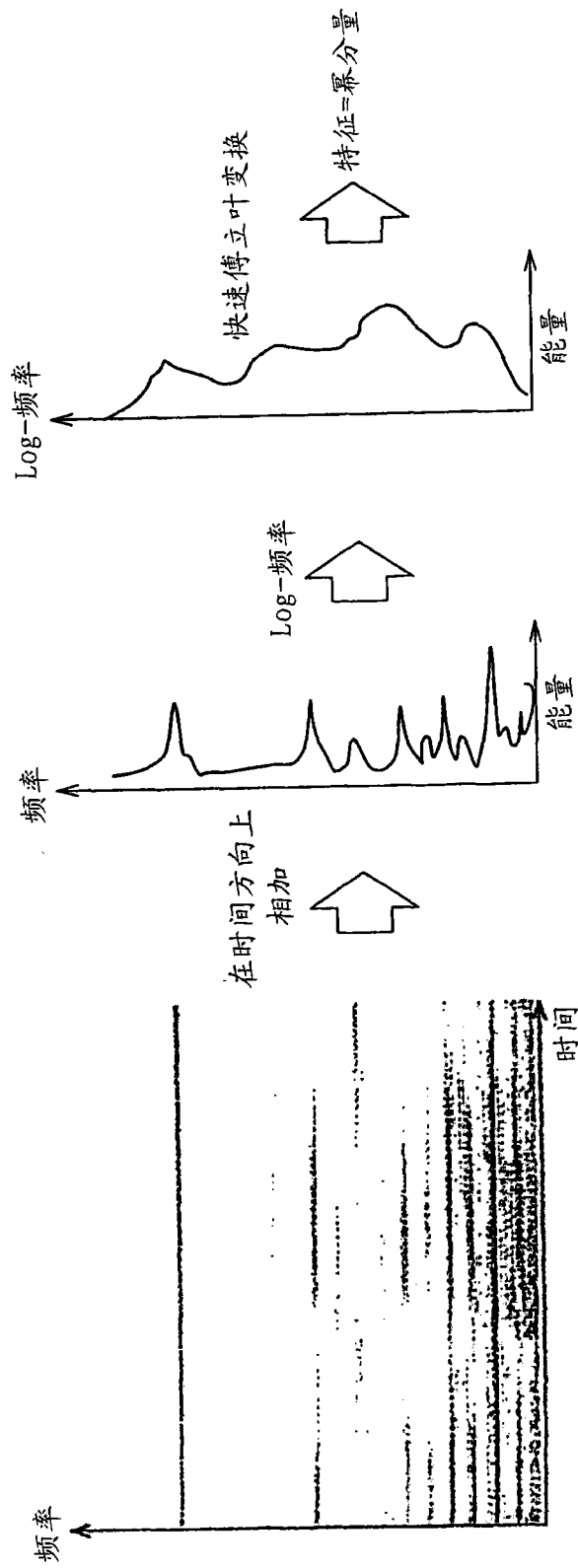


图 38

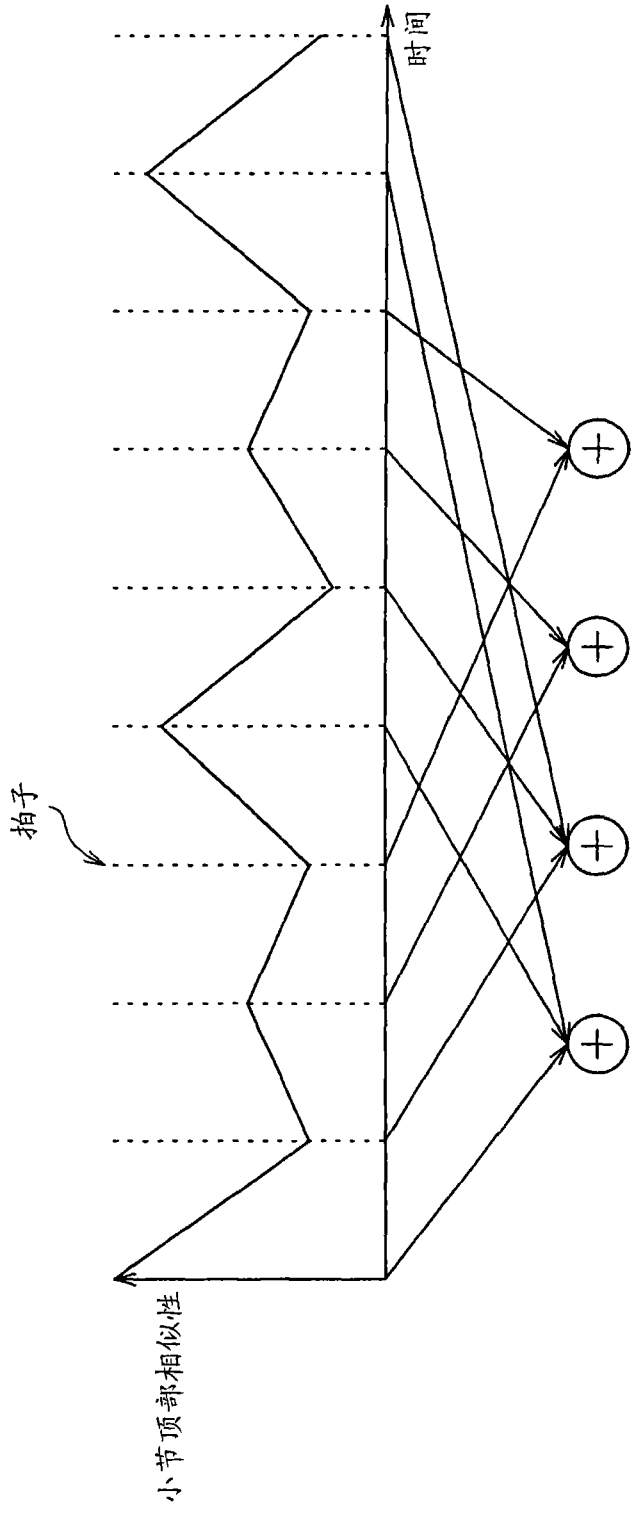


图 39

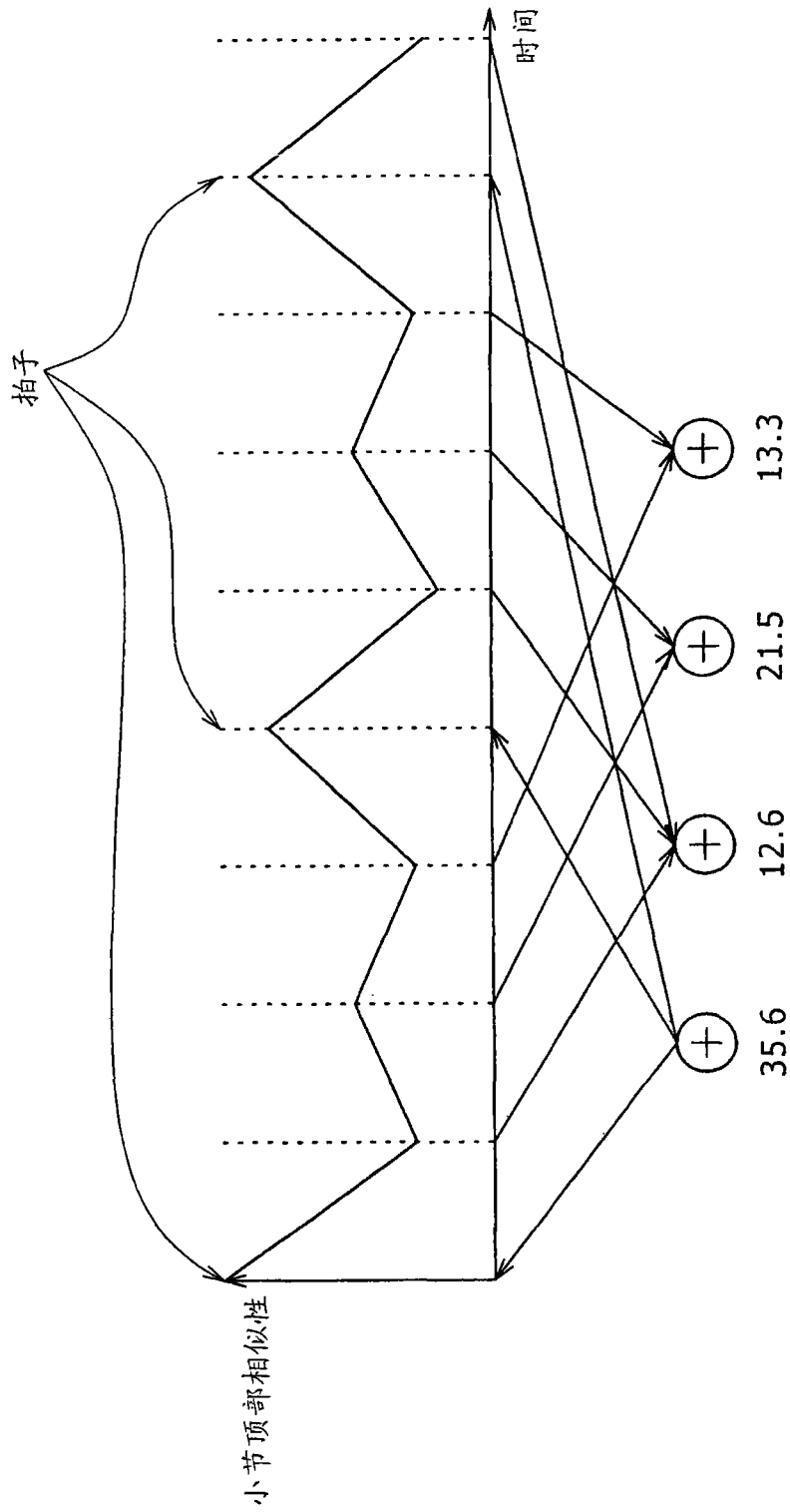


图 40