

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1591564 B

(45) 授权公告日 2010. 10. 06

(21) 申请号 200410061672. X

CN 1073289 A, 1993. 06. 16, 全文.

(22) 申请日 1996. 06. 18

US 5050474 A, 1991. 09. 24, 全文.

CN 1059615 A, 1992. 03. 18, 全文.

(30) 优先权数据

173941/95 1995. 06. 19 JP

173940/95 1995. 06. 19 JP

审查员 潘景良

(62) 分案原申请数据

96102313. 9 1996. 06. 18

(73) 专利权人 雅马哈株式会社

地址 日本静冈县

(72) 发明人 铃木秀雄 田邑元一

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 朱海波

(51) Int. Cl.

G10H 7/00(2006. 01)

G10H 7/02(2006. 01)

(56) 对比文件

US 4794837 A, 全文.

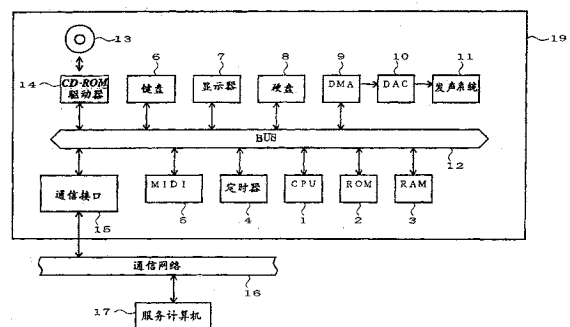
权利要求书 2 页 说明书 21 页 附图 17 页

(54) 发明名称

形成乐音波形的的方法和装置

(57) 摘要

根据所要产生的乐音的特性(诸如乐音中的谐波分量的构成),使每单位时间的波形取样的数目即波形取样分辨率得到可变的设定。对于包含较多高次谐波分量的乐音或乐音部分,增加每单位时间的波形取样数目。相反地,对于包含较少高次谐波分量的乐音或乐音部分,减少每单位时间的波形取样数目。通过如此变化地设定波形取样分辨率,可以在不产生显著浪费的情况下进行用算术方法形成波形取样数据的处理。



1. 一种用于同时产生至少两个乐音的乐音发生方法,包括:

第一形成步骤,用于以每单位时间 N 个样本的形成速率形成包含大量的高频分量的第一乐音波形的样本;

第二形成步骤,用于以每单位时间 M 个样本的形成速率形成包含少量的高频分量的第二乐音波形的样本,其中 M 小于 N ,并且其中包含在所述第二乐音波形中的高频分量比包含在所述第一乐音波形中的高频分量更少;

使所述第二乐音波形的 M 个样本受到插值操作以提供所述第二乐音波形的 N 个样本的步骤;

混合步骤,用于一个样本接着一个样本地将所述第一乐音波形的 N 个样本和所述第二乐音波形的 N 个样本依次相加,以提供混合乐音波形的 N 个样本;以及

根据所述混合步骤提供的混合乐音波形产生乐音的步骤。

2. 一种乐音发生方法,其中为多个乐音发生通道执行乐音形成计算以形成与这些通道对应的多个乐音的波形数据,所述方法包括:

分组步骤,用于将所述多个乐音发生通道分成第一和第二组;

第一形成步骤,用于为第一组的每一个通道每单位时间形成乐音波形的 N 个样本,并依次在通道之间将 N 个样本相加,以提供第一混合波形的 N 个样本;

第二形成步骤,用于为所述第二组的每一个通道每单位时间形成乐音波形的 M 个样本,并依次在通道之间将 M 个样本相加,以提供第二混合波形的 M 个样本,其中 M 小于 N ;

使所述第二混合波形的 M 个样本受到插值操作以提供所述第二混合波形的 N 个样本的步骤;

混合步骤,用于将所述第一混合波形的 N 个样本与所述第二混合波形的 N 个样本一个样本接着一个样本地依次相加,以提供混合乐音波形的 N 个样本;以及

根据所述混合步骤提供的混合乐音波形产生乐音的步骤。

3. 一种用于同时产生至少两个乐音的乐音发生设备,包括:

第一形成装置,用于以每单位时间 N 个样本的形成速率形成包含大量的高频分量的第一乐音波形的样本;

第二形成装置,用于以每单位时间 M 个样本的形成速率形成包含少量的高频分量的第二乐音波形的样本,其中 M 小于 N ,并且其中包含在所述第二乐音波形中的高频分量比包含在所述第一乐音波形中的高频分量更少;

使所述第二乐音波形的 M 个样本受到插值操作以提供所述第二乐音波形的 N 个样本的装置;

混合装置,用于一个样本接着一个样本地将所述第一乐音波形的 N 个样本和所述第二乐音波形的 N 个样本依次相加,以提供混合乐音波形的 N 个样本;以及

根据所述混合装置提供的混合乐音波形产生乐音的装置。

4. 一种乐音发生设备,其中为多个乐音发生通道执行乐音形成计算以形成与这些通道对应的多个乐音的波形数据,所述设备包括:

分组装置,用于将所述多个乐音发生通道分成第一和第二组;

第一形成装置,用于为第一组的每一个通道每单位时间形成乐音波形的 N 个样本,并依次在通道之间将 N 个样本相加,以提供第一混合波形的 N 个样本;

第二形成装置,用于为所述第二组的每一个通道每单位时间形成乐音波形的 M 个样本,并依次在通道之间将 M 个样本相加,以提供第二混合波形的 M 个样本,其中 M 小于 N ;

使所述第二混合波形的 M 个样本受到插值操作以提供所述第二混合波形的 N 个样本的装置;

混合装置,用于将所述第一混合波形的 N 个样本与所述第二混合波形的 N 个样本一个样本接着一个样本地依次相加,以提供混合乐音波形的 N 个样本;以及

根据所述混合装置提供的混合乐音波形产生乐音的装置。

形成乐音波形的方法和装置

[0001] 本申请是在 1996 年 6 月 18 日提交的申请号为 96102313.9, 名称为“形成乐音波形的的方法和装置”的专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及用于根据借助算术处理方法装置进行的波形形成计算而形成乐音波形取样的方法。

[0003] 本发明还涉及用于压缩波形数据的方法, 该数据将被存储在电子乐器的存储器或带有基于波形存储器的乐音发生器的其他乐音再现装置中。

背景技术

[0004] 在传统的能够同时在多个通道中产生乐音的乐音发生器中, 乐音波形取样是通过采用算术处理装置而借助算术方法产生的, 且在各个乐音发生通道中每一个预定单位时间里借助算术方法形成的波形取样的数目(以下称为“波形取样形成分辨率”)对于每一个通道都是保持固定的。另外, 波形取样形成分辨率从每个乐音的开始至结束都是保持固定的, 且传统的已知乐音发生器都不允许在乐音的算法形成期间改变波形取样形成分辨率。

[0005] 术语“波形取样形成分辨率”在这里被作为描述本发明的特征概念中的一个基本量度, 且每预定单位时间里借助于算术方法所形成的波形取样的数目的改变将导致由所产生的乐音覆盖的频带的上限频率的改变。

[0006] 如果用每秒所要形成的取样的数目(等价取样频率)来表示波形取样形成分辨率, 根据已知的取样理论, 该上限频率将大约等于取样频率的 1/2。例如, 如果每 1/375 秒的单位时间算法形成 128 个取样, 等价取样频率将为 $128 \times 375 = 48$ (kHz), 因而产生的乐音将包含上限至 24kHz 的频率分量。一般地, 乐音的质量取决于波形取样形成分辨率, 因为取样频率是确定数字乐音的质量的一个因素。

[0007] 波形取样形成分辨率将直接确定每单位时间的乐音波形形成计算量, 且所需的计算量将与每单位时间的取样数成正比地增大, 因为每个取样的计算对不同的取样是没有显著的不同的。即, 如果为了提高乐音的质量提高了波形取样形成分辨率, 则所需的计算量将增大, 且有时如果没有大规模的电路计算将是不可能的。因此, 波形取样形成分辨率与电路规模之间的平衡在设计乐音发生器中是一个重要的因素。

[0008] 然而, 如乐音已知的, 各个乐音发生通道中形成的乐音波形的各个频带, 通常根据所要产生的音色而有所不同。因此, 如果在这些通道中采用固定的共同波形取样形成分辨率, 将会产生一个问题, 即对于每个形成不需要宽频带的乐音波形的通道, 直到一个不需要的频带都进行了无用的计算。如果将波形取样形成分辨率设定为对应于不需要宽频带的乐音波形, 将产生另一个问题, 即不能形成需要宽频带的乐音波形取样。

[0009] 另外, 在从衰减乐音的开始至结束的波形(开始至结束波形)的情况下, 升高部分(attack portion)覆盖了包含很多谐波分量的宽频带, 而发生了相当大程度衰减的延音部分(sustain portion)只覆盖了包含很少谐波分量的较窄频带。如果在此情况下, 采用了

固定的波形取样形成分辨率以形成乐音,则对于这种不需要宽频带的部分,直到一个不需要的频带都进行了无用的计算。另外,如果将波形取样形成分辨率设定为对应于不需要宽频带的波形的部分,则将产生另一个问题,即不能为需要宽频带的另一部分形成乐音波形取样。

[0010] 另外,在采用基于波形存储器的乐音发生器(其中在波形存储器中预记录了多个乐音波形)中,如果希望高质量的乐音的话,通常需要记录很多乐音波形,从而要求大的波形存储器容量。为了克服这种不便,已经提出了各种方法,以降低存储乐音波形所需的存储器容量,一个例子是根据不同的乐音波形通常具有不同的频率分量这一事实。具体地,提出了在由低频分量组成的乐音波形的情况下,为了减少取样数据量应该在记录期间以低取样频率对乐音波形进行取样,从而减小所需的波形存储器容量。然而,记录取样频率有时对于不同的乐音波形是变化的,在此情况下,如果根据预定的、只由所要发声的音符数(note number)确定的频率数(即限定再现乐音的音高(Pitch)的数字,以下称为“F数”)来从波形存储器中读出任何一个乐音波形,则在乐音波形中取样频率与读取时序之间的关系将显著不同,从而产生不能获得具有希望的音高的乐音的问题。

[0011] 另外,借助基于波形存储器的乐音发生器—其中F数的采用使得能够对再现频率进行精细的控制,可以根据任何记录取样频率,通过只控制F数来以所希望的音高读出乐音波形,从而补偿记录取样频率的不同。

[0012] 以上述方式,可以在减小所需的波形存储器容量方面进行努力。另外,由于这样的事实,尽管在衰减乐音的波形的升高部分中包含诸如基波的谐波分量的高频分量,但延音部分使这些谐波分量几乎完全衰减了,在延音部分中没有被衰减的几乎只有基波,因而维持部分的频率分量低于升高部分。另外,在能够延音逐渐增大的亮度的音色的情况下,波形的频率分量变得更高,虽然它在开始发出相应的乐音时不一定具有那样高的频率分量。

[0013] 然而,在过去,在记录乐音的开始至结束波形中所用的取样频率是固定在这样的频率上的,即能够在不涉及不希望的混淆噪声的情况下进行适当的最高频分量的取样,虽然对于不同的乐音波形取样频率是变化的。借助这种固定的记录取样频率,甚至可能将不需要频带的波形数据无用地记录在波形存储器中,其结果是不能对波形存储器进行有效的利用。

发明内容

[0014] 因此,本发明的第一个目的是,提供一个乐音发生方法,用于根据借助算法处理装置进行的波形形成计算来形成乐音波形取样,该方法能够在不涉及无用计算的情况下有效地形成宽频带的乐音波形取样。

[0015] 本发明的第二个目的是,提供一种波形数据压缩方法,该方法可应用于带有基于波形存储器的乐音发生器或其他乐音再现装置的电子乐器中,该方法能够对将要记录到波形存储器中的波形数据进行有效的压缩。

[0016] 为了实现第一个目的,本发明提供了一种乐音发生方法,该方法用于根据借助算法处理装置的波形形成计算来形成乐音波形取样,其特征在于对于多个乐音发生通道中的每一个通道,波形形成计算的分辨率是根据在该通道中所要形成的波形的特性和该通道相对于其他通道的重要性,而独立地确定的。

[0017] 本发明还提供了一种乐音发生方法,用于根据借助算法处理装置的波形形成计算来形成乐音波形取样,其特征在于波形形成计算的分辨率在计算期间是根据乐音中的谐波成分的随时间变化的比值而变化的。

[0018] 本发明还提供了一种乐音发生方法,其中为多个乐音发生信道进行乐音形成计算,以形成对应于这些信道的多个乐音的波形数据,且该方法包括:产生第一控制数据的乐音控制步骤,该第一控制数据用于为每一个乐音发生通道指定将要在通道中形成的波形数据的一个乐音特性;计算控制步骤,用于产生第二控制数据,该第二控制数据用于为每一个乐音发生通道指定将要在该通道中每单位时间里形成的乐音取样的具体数目;乐音形成步骤,用于根据第一控制数据指定的乐音特性并以第二控制数据指定的取样形成速率,为每一个乐音发生通道,以算术方法形成相应于该通道的乐音波形数据;以及,根据在乐音形成步骤中形成的波形数据为多个乐音发生通过产生乐音的步骤。

[0019] 在上述乐音发生方法中,计算控制步骤产生与各个通道中所要形成的波形数据的随时间变化的乐音特性相应的第二控制数据。该计算控制步骤与在各个乐音发生通道中所要形成的波形数据的乐音特性的时间变化相对应地改变所要产生的第二控制数据。另外,第一控制数据包括指定在各个乐音发生通道中所要产生的乐音的音高的音高信息,且乐音形成步骤根据第二控制数据指定的取样形成速率,将各个通道的音高信息转换成所要产生的乐音的相位变化速率。

[0020] 本发明还提供了用于同时产生至少两个乐音的乐音发生方法,它包括:第一形成步骤,用于以每单位时间 N 个取样的形成速率形成包含大量高频分量的第一乐音波形的取样;第二形成步骤,用于以每单位时间 M (M 小于 N) 个取样的形成速率形成包含少量高频分量的第二乐音波形的取样;使第二乐音波形的 M 个取样受到插值操作以提供第二乐音波形的 N 个取样的步骤;混合步骤,用于将第一第二乐音波形的 N 个取样和第二第二乐音波形的 N 个取样一个取样一个取样地依次加起来,以提供混合乐音波形的 N 个取样;以及,根据混合步骤提供的混合乐音波形产生乐音的步骤。

[0021] 本发明还提供了一种乐音发生方法,其中对多个乐音发生通道进行了乐音形成计算,以形成与这些通道对应的多个乐音的波形数据,且它包括:分割步骤,用于将多个乐音发生通道分成第一和第二组;第一形成步骤,用于对于第一组的各个通道每单位时间形成 N 个乐音波形取样并将通道之间的 N 个取样依次加起来,以提供第一混合波形的 N 个取样;第二形成步骤,用于对于第二组中的各个信道每单位时间形成 M 个乐音波形取样,并将通道之间的 M 个取样依次相加以提供第二混合波形的 M 个取样(其中 M 小于 N);使第二乐音波形的 M 个取样受到插值操作以提供第二乐音波形的 N 个取样的步骤,混合步骤,用于将第一第二乐音波形的 N 个取样和第二第二乐音波形的 N 个取样一个取样一个取样地依次相加,以提供混合乐音波形的 N 个取样;以及,根据混合步骤提供的混合乐音波形产生乐音的步骤。

[0022] 由于对于各个乐音发生通道,都能够根据所要发出的乐音波形是否具有宽频带,或者根据相应乐音的相对重要性,来确定波形取样形成分辨率,因而本发明能够以算法的方式形成乐音波形取样,而不论所要发出的乐音波形是具有宽频带还是窄频带,而不包含无用计算。另外,由于对于衰减乐音的升高部分波形取样形成分辨率得到提高以形成较多的波形取样,且对于延音部分波形取样形成分辨率得到降低以形成较少的波形取样,可

以避免无用计算,因而能够在没有无用计算的情况下有效地形成从开始至结束的波形取样。通过对于具体的乐音发生通道节约无用计算,可以增大另一个乐音发生通道的波形计算量,从而提高该通道中产生的乐音的质量,并能够增大可以同时产生乐音的通道的数目。另外,由于本发明能够对于各个通道独立地控制每单位时间所要形成的乐音波形取样的数目,所以能够在这些通道中产生具有不同质量的乐音。另外,即使具体通道中产生的乐音的质量较低,也能够降低其中没有显著效果的计算量。

[0023] 另外,为了实现第二个目的,本发明提供了一种波形数据压缩方法,它包括:输入步骤,用于输入持续预定时期的波形;控制步骤,用于在该预定时期中改变记录取样频率;取样步骤,用于利用记录取样频率对波形进行取样,以获得波形数据;以及,写入步骤,用于将取样步骤获得的波形数据依次写入到存储器中。

[0024] 在上述波形数据压缩方法中,记录取样频率在预定时期中以预定的时序逐阶地变化。或者,记录取样频率在预定时期中以预定的时序逐渐地变化。

[0025] 本发明还提供了一种波形数据压缩方法,它包括:输入步骤,用于输入持续预定时期的波形;控制步骤,用于在预定时期中改变记录取样频率;取样步骤,用于利用该记录取样频率对波形进行取样,以获得波形数据;记录步骤,用于将取样步骤获得的波形数据依次记录到一个波形存储器中;指定步骤,用于指定再现速率;产生步骤,用于产生对应于一个音高变化的变化数据,该音高变化是由于控制步骤造成的记录取样频率的变化而出现在记录在波形存储器中的波形数据中的,修正步骤,用该变化数据对指定步骤指定的再现速率进行修正;以及,再现步骤,用于以对应于修正步骤修正的再现速率的速率,对波形存储器进行读出。

[0026] 在上述波形数据压缩方法中,如果以固定速率读出波形数据,变化数据是表示该波形数据代表的对数区中的频率的数据。修正步骤进行再现速率与变化数据之间的相加或相减。

[0027] 根据以上述方式设置的波形数据压缩方法,在所要记录的乐音的、其中波形数据包含有高频分量的升高部分中,取样频率得到提高,而在其中波形数据包含不那样高的频率分量的延音部分中,取样频率得到降低,因而所要记录在波形存储器中的波形取样数据的量得到了有效的减小,且该波形取样数据得到了较大的压缩。因此,本发明减小了所需的波形存储器存储容量,并使存储器的利用效率得到了提高。

[0028] 为了更好地理解本发明的上述和其他特征,下面结合附图对本发明的最佳实施例进行描述。

附图说明

[0029] 在附图中:

[0030] 图 1 是框图,显示了实施本发明的乐音发生方法所用的乐音发生装置的结构例子;

[0031] 图 2 显示了图 1 的 RAM 提供的音色数据和波形数据区;

[0032] 图 3 显示了图 1 的 RAM 提供的输入缓存区;

[0033] 图 4 显示了图 1 的 RAM 提供的乐音发生器寄存器区;

[0034] 图 5A 至 5F 显示了图 1 的 RAM 提供的各种输出缓存区的结构和操作;

- [0035] 图 6 显示了从乐音的开始至结束的波形数据的一个例子；
- [0036] 图 7A 至 7D 显示了图 6 的波形数据的各个点处的频谱；
- [0037] 图 8 显示了在乐音的开始至结束中原有的音高的时间变化的一个例子；
- [0038] 图 9 显示了在乐音的算法形成期间波形取样形成分辨率相对于时间的变化的一个例子；
- [0039] 图 10 显示了在乐音的算法形成期间再现频率数随时间变化的一个例子；
- [0040] 图 11 是时序图,显示了图 1 的 CPU 进行的用于形成乐音波形的乐音发生器处理；
- [0041] 图 12 是在实施本发明的乐音发生方法的软件乐音发生器中,由图 1 的 CPU 所执行有主程序的流程图；
- [0042] 图 13 是该 CPU 进行的 MIDI 接收中断处理的流程图；
- [0043] 图 14 是对部分 1 进行的音色选择事件处理的流程图,该处理是主程序中面板开关事件处理的一个例子；
- [0044] 图 15A 是流程图,显示了主程序中的接收数据处理中进行的音符关断处理的细节的一个例子；
- [0045] 图 15B 是流程图,显示了在主程序中的接收数据处理中进行的音符关断处理的细节的一个例子；
- [0046] 图 16 是流程图,显示了主程序中执行的乐音发生器处理的细节；
- [0047] 图 17 是流程图,显示了在乐音发生器处理中执行的通道控制处理的一个细节；
- [0048] 图 18 是流程图,显示了波形计算处理的细节；
- [0049] 图 19 显示了当覆盖单个乐音的开始至结束的时间串行波形数据得到记录时根据本发明的波形数据压缩方法改变记录取样频率的方式的一个例子；
- [0050] 图 20 显示了根据本发明的波形数据压缩方法改变原有音高的方式的一个例子；
- [0051] 图 21 显示了根据本发明的波形数据压缩方法改变记录取样频率的方式的另一个例子；
- [0052] 图 22 是框图,显示了实现波形预处理以根据本发明的波形数据压缩方法将波形取样数据记录到波形存储器中的设置的一个例子；
- [0053] 图 23 是框图,显示了包括波形存储器的电子乐器的一般结构,在该波形存储器中根据本发明的波形数据压缩方法的压缩形式记录有波形数据；
- [0054] 图 24 显示了根据本发明的波形数据压缩方法改变记录取样频率的方式的又一个例子；
- [0055] 图 25 显示了根据本发明的波形数据压缩方法改变原有音高的一种方式。

具体实施方式

[0056] 图 1 是框图,显示了用于实施本发明的乐音发生方法的乐音发生装置 19 的结构的一个例子。

[0057] 图 1 的乐音发生装置 19 包括:算法处理单元 (CPU) 1,它执行应用程序等等,以执行各种控制、乐音波形取样的算法形成等等;只读存储器 (ROM) 2,其中存储有 CPU1 的运行程序、预设定的音色数据等等;随机访问存储器 (RAM) 3,它具有用于 CPU1 的工作存储区和用于音色数据的存储区等等,定时器 4,用于保持时间并向 CPU1 表示定时器中断时序;MIDI

接口 5, 通过它将一个 MIDI 事件输入到装置 19 并将产生的 MIDI 事件从装置 19 输出; 以及, 键盘 6, 它与通常的个人计算机键盘类似, 具有英语和日语字母、数字、符号等等键。如现有技术中已知的, “MIDI” 是乐器数字接口的缩写。

[0058] 乐音发生装置 19 进一步包括: 显示器 (监视器) 7, 通过它用户可以与装置 19 进行对话; 硬盘 (HDD) 8, 其中有应用程序, 诸如用于产生乐音的程序, 并且其中记录有用于以算法的方式形成乐音波形取样的乐音波形数据; 再现部分 (DMA: 直接存储器存取) 9, 它在没有 CPU1 干预的情况下, 允许乐音波形取样数据从和至 RAM3 由 CPU1 指定的一个 RAM3 区的直接传送; 数字至模拟 (D/A) 转换器 (DAC) 10, 用于将乐音波形取样数据转换成模拟乐音信号; 以及, 发声系统 11, 它包括放大器和扬声器, 用于对来自 D/A 转换器 10 的模拟乐音信号进行声频再现或发声。

[0059] 在硬盘 8 中, 可以存储各种其他的数据, 诸如自动演奏数据、和弦数据以及上述运行程序。通过将运行程序预先存储在硬盘 8 而不是 ROM2 中, 并将运行程序装载到 RAM3 中, CPU1 能够与将运行程序存储在 ROM2 中完全一样地进行操作。这大大地便利了运行程序的升级、运行程序的加入等等。可以用一个 CD-ROM13 作为可拆下的外部记录介质, 用于记录各种数据, 诸如自动演奏数据、和弦数据及乐音波形数据和可选的运行程序。存储在 CD-ROM13 中的这种运行程序和数据可以由一个 CD-ROM 驱动器 14 读出, 以传送到硬盘 8 进行存储。这便利了运行程序的安装和升级。可拆下地安装的外部记录介质可以是 CD-ROM 以外的, 诸如软盘和磁光盘 (MO)。

[0060] 一个通信接口 15 可以与总线 12 相连, 从而使装置 19 经过接口 15 而与诸如 LAN (局域网)、互连网络和电话线的通信网络 16 相连, 且可以经过通信网络 16 而与适当的服务计算机 17 相连。因此, 当硬盘 8 中没有包含运行程序和各种数据时, 可以从服务计算机 17 接收这些运行程序和数据并装载到硬盘 8 中。在这种情况下, 乐音发生装置 19 即“客户”, 将送出一个指令, 请求服务计算机 17 通过通信接口 15 和通信网络 16 下载运行程序和各种数据。响应于该指令, 服务计算机 17 经过通信网络 16 将所请求的运行程序和数据传送到乐音发生装置 19。该乐音发生装置 19 经过通信网 16 接收该运行程序和数据而完成所需的下装, 并将它们存储到硬盘 8 中。

[0061] 应该注意的是, 乐音发生装置 19 可以通过将对应于本发明的运行程序和各种数据装入到可商业获得的个人计算机中, 而得到实施。在这种情况下, 可以以能够被个人计算机所读取的记录介质 (诸如 CD-ROM 或软盘) 上的记录形式, 将对应于本发明的运行程序和各种数据提供给用户。在个人计算机与诸如 LAN 的通信网络相连的情况下, 运行程序和各种数据可以经过通信网络而以与上述方式类似的方式提供给个人计算机。

[0062] 图 2 至 5 显示了提供在 RAM3 中的各种寄存区, 其中图 2 显示了存储各种数据和波形数据的区域, 图 3 显示了其中存储经过 MIDI 接口 5 输入的 MIDI 消息的输入缓存区, 且图 4 显示了乐音发生器寄存区 - 其中存储有产生多个通道的乐音波形取样所需的各种参数。在图 2 的区域中, 存储有 16 种音色数据 “PDI、PD2、……、PDI6” 和 n 种波形数据 “WDI、WD2、……、WDn”。后面将要描述的 OPEG (原有音高包络线, original pitch envelope) 波形与波形数据 “WDI、WD2、……、WDn” 一起以与其对应的关系而得到存储。

[0063] 各个音色数据都由以下数据组成: 指定给定音高范围的波形数据 (音高范围波形指定数据); 用于控制所要用于产生在振动效果等的低频振荡 (LFO) 数据 (LFO 控制数据 OD);

用于控制滤波器包络线的产生以随时间改变音色滤波器特性的数据 (FEG 控制数据 OD) ;用于控制乐音音量包络线以控制乐音音量变化特性的数据 (AEG 控制数据 OD) ;用于根据检测到的触键速度来改变乐音的上升速度等的接触控制数据 (接触控制数据 OD) ;以及包括波形取样形成分辨率控制数据的其他数据 (其他数据 OD)。上述各个数据的末端的“OD”表示受到诸如调制的控制之前的“原始数据”。

[0064] 在图 3 的输入缓存区中,表示诸如音符接通和音符关断事件的各种经过 MIDI 接口 5 而输入的 MIDI 事件数据 ID1、ID2、ID3、.....,被依次写入。通过读出这些 MIDI 事件数据 ID1、ID2、ID3、.....,在乐音发生装置中进行事件处理,以形成与读取的 MIDI 事件数据对应的乐音波形取样。各个 MIDI 事件数据 ID1、ID2、ID3.....,都包括表示 MIDI 事件的内容和事件数据出现的时间(数据出现时间或事件发生时间)的数据。数据出现时间可以在接收到 MIDI 事件时通过读出定时器 4 保持的现行时间来确定。

[0065] 图 4 所示的区域,被用作乐音发生器寄存器区,该区包括为多个乐音发生通道(在此例中为 32 个通道 CH1 至 CH32)设置的寄存器,且各个寄存器中已经存储有各种乐音参数,用于控制将要在相应的乐音发生通道中形成的乐音波形取样。在各个寄存器(通道寄存器)中,存储有在相应通道中所要形成的乐音的音符数、指定存储在 RAM3 中的任何波形数据的数据(波形指定数据 D)、LFO 控制数据 D、滤波器包络线控制数据(FEG 控制数据 D)、乐音音量包络线控制数据(AEG 控制数据 D)、音符接通数据和其他数据 D。各个信道寄存器还包括一个工作区,该工作区将要在在相应乐音发生通道中以算法的方式形成乐音取样期间采用。在上述各个数据末端的“D”是数据的缩写并表示已经分配了通道以发出乐音声音的数据,与上述的原始数据(OD)相区别。

[0066] 各个乐音发生通道的波形指定数据 D、LFO 控制数据 D、FEG 控制数据 D 和 AEG 控制数据 D,是通过根据 MIDI 事件的内容,对音色数据 PD1、PD2、PD3、.....PD16 中的任何一个进行处理而获得的乐音形成数据。

[0067] 图 5 显示了 RAM3 中设置的输出缓存区。由于在本发明的乐音发生方法中,借助波形取样形成分辨率 CC(其概念已经在本说明书的开始讨论过了)的改变而使在各个计算时间到来时欲用算术方法一起形成的乐音波形取样的数目发生改变,因而提供了与多个波形取样形成分辨率 CC 有对应关系的多个输出缓存器。即,在本发明的最佳实施例中,如图 5A 至 5C 所示,采用了三个不同的波形取样形成分辨率,并提供了三个输出缓存器:输出缓存器 B0,用于基本波形取样形成分辨率(CC = 0;等价取样频率为 48kHz);输出缓存器 B1,用于基本波形取样形成分辨率的 1/2(CC = 1;等价取样频率为 24kHz);输出缓存器 B2,用于基本波形取样形成分辨率的 1/4(CC = 2;等价取样频率为 12kHz)。因此,输出缓存器 B1 存储取样的容量为输出缓存器 B0 的 1/2,且输出缓存器 B2 的取样存储容量为输出缓存器 B0 的 1/4。

[0068] 波形取样形成分辨率 CC 是为每一个乐音发生通道和每一个所要发声的乐音波形指定的,且波形取样形成分辨率 CC 规定了在相应信道中所要用算术方法形成的乐音波形取样的数目。因此,波形取样形成分辨率 CC 可以用与所要形成的乐音波形取样的数目相对应的等价取样频率来表示。根据所要形成的乐音波形取样所覆盖的频带,来选择这三种波形取样形成分辨率 CC 之一。

[0069] 当所要形成的乐音波形取样具有宽频带时,采用图 5A 所示的输出缓存器 B0,且它

存储在各个预定计算时刻形成的 128 个乐音波形取样 (SD1、SD2、SD3、..... SD128)。当所要形成的乐音波形取样具有不那样宽的频带时,采用图 5B 所示的输出缓存器 B1,且它存储在各个预定的计算时刻形成的 64 个乐音波形取样 (SD1、SD2、SD3、..... SD64)。当所要形成的乐音波形取样具有窄频带时,采用图 5C 中所示的输出缓存器 B2,且它存储在各个预定计算时刻形成的 32 个乐音波形取样 (SD1、SD2、SD3、..... SD32)。

[0070] 在这些缓存器 B0 至 B2 的每一个中,都还存储有各个通道的乐音波形取样,这些取样是以相同的波形取样形成分辨率 CC(即以覆盖基本上相同的频带的方式)形成的,而不是以一个通道一个通道的方式存储的。即,每一个新形成的乐音波形取样,都被加到输出缓存器之一中已经存储的乐音波形取样中,并随后被存储在缓存器的相同的存储单元中。

[0071] 一旦对所有的乐音发生通道都完成了乐音波形取样形成,这些波形取样被累积起来并被传送到再现部分 9 以进行声频再现。然而,由于在输出缓存器 B0、输出缓存器 B1 和输出缓存器 B2 中存储有不同数目的乐音波形取样,不能以简单的方式汇集这些取样。

[0072] 即,在存储在缓存器 B1 中的 64 个乐音波形取样的每一个相邻取样之间,进行内插,以提供 128 个乐音波形取样,然后将这些取样存储在图 5D 所示的缓存器 B1' 中,且类似地在存储在缓存器 B2 中的 32 个乐音波形取样的每一个相邻取样之间进行内插,以提供将要存储在图 5E 的缓存器 B2' 中的 128 个乐音波形取样。在此情况下,缓存器 B1' 中每隔一个乐音波形取样,将具有与缓存器 B1 中的相应位置上的 64 个乐音波形取样之一相同的值,且缓存器 B2' 中每隔三个的乐音波形取样,将具有与缓存器 B2 中相应位置处的 32 个乐音波形取样之一相同的值。

[0073] 此时,在现在包含 128 个取样的缓存器 B0、缓存器 B1' 和缓存器 B2' 的各个相应位置处的乐音波形取样,被积累起来并被存储到例如缓存器 B0 的相应位置。在此之后,积累在缓存器 B0 中的波形取样被保留以进行再现,以使这些取样随后被再现部分 9 所读取,以通过发声系统进行声频再现。所有通道的乐音波形取样不一定要存储在缓存器 B0 中,而是可以存储在具有 128 个取样的存储区的其他任何输出缓存器中。

[0074] 结合图 6 至 11,将描述本发明的乐音发生方法,它通过采用上述的输出缓存器而在图 1 的乐音发生装置中得到了实施。在此最佳实施例中,乐音发生装置 19 采用了根据已知的波形存储方法的乐音发生器(基于波形存储的乐音发生器)。图 6 显示了存储在缓存器中的乐音从开始至结束波形数据(即用于完成(从开始至结束)乐音的发声的一组波形数据)的一个例子;图 7A 至 7D 显示了在图 6 的波形数据的各个时刻提取的频谱;图 8 显示了当以固定的再现速率再现用算术方法形成的乐音波形取样时乐音从开始至结束的波形中的音高随时间改变的一个例子;图 9 显示了波形取样形成分辨率 CC 的变化与取样计算时间的关系的一个例子;图 10 显示了 F 数随时间变化的方式的一个例子,以用算术方法形成波形取样;且图 11 是时序图,显示了形成乐音波形的乐音发生器处理。

[0075] 根据本发明的乐音发生方法,如图 11 的 (a) 所示,每当计算时刻 T1、T2、T3、T4..... 到来时,为预定单位的部分用算术方法形成乐音波形取样,该部分将被从再现部分 9 读出。在如图 11 的 (b) 所示的计算时刻之间接收新的音符接通和 / 或音符关断事件,且在图 11 所示的时序一起以算术方法形成与这些事件对应的多个乐音波形取样。

[0076] 因此,借助再现部分 9,读出存储在输出缓存器 B0 中的所有乐音发生通道的以算术方法形成的乐音波形取样,以作为单位部分的波形取样,从而使它们能够以恒定的再现

速率（即以固定的再现取样频率）而得到再现。

[0077] 如在之前结合输出缓存器描述的，当在本发明中以算术方法形成用于单个单位部分的多个乐音波形取样时，系统中的波形取样形成分辨率 CC 被改变到与所要形成的乐音波形的频带相对应的波形取样形成分辨率，如前面所述。

[0078] 图 6 中水平拉长的频带代表衰减乐音中包含的一组多个波形数据，而水平轴代表时间，且为了说明起见，在时刻 a、b、c 和 d 处的波形数据被抽取出来并在图中用影线进行了强调。在图 7A 至 7D 中，显示了在这些时刻 a、b、c 和 d 处包含在波形数据中的基波和谐波的频谱分布。更具体地说，在时刻 a 的部分是升高部分，其具有代表性的波形在图 6 中得到了详细描述，且它包含大量的谐波频谱分量，如图 7A 所示。在时刻 b 的部分是高频谐波频谱分量已经略微衰减的部分，如图 7B 所示。

[0079] 在时刻 c 的部分，是延音部分，其中发生了进一步的衰减，如与图 6 所示的其代表波形对比可见。如图 7c 所示，在时刻 c 处的波形是简单的波形，它与基波类似，其中高频谐波分量得到了进一步的衰减。最后，在时刻 d 的部分是高频谐波频谱分量已经几乎完全衰减至零的部分，只剩下了基波。

[0080] 由于产生的乐音的波形数据的频带随时间改变，因而产生了一个问题，即只要采用能够形成具有最宽的乐音频带的固定波形取样形成分辨率，则对不需要的频带也进行了波形数据的算术形成。

[0081] 为了避免这种不便，本发明的乐音发生方法的特征在于，通过在如图 9 所示的乐音的算法形成期间根据时间的推移，改变波形取样形成分辨率 CC。在所示的例子中，波形取样形成分辨率 CC 在开始时被设定为 48kHz 的基本值并直到时刻 t₂，随后在时刻 t₂ 和 t₄ 之间被设定为 24kHz 即基本值的一半，然后在时刻 t₄ 之后被设定为 12kHz 即第二个值的一半。波形取样形成分辨率 CC 的这种变化，只在图 11 的各个单位部分开始时进行一次，而在单位部分的中间则不发生波形取样形成分辨率变化。

[0082] 通过根据随时间改变的频带而采用不同的波形取样形成分辨率 CC，本发明有效地防止了对无用的频带进行波形数据形成，从而避免了无用计算。将节约下来的计算时间分配给其他的乐音发生通道，能够提高该通道中产生的乐音的质量，并能够增大可以同时产生乐音的通道的数目。

[0083] 根据本发明的一种修正，在单位部分的中间，可以对各个乐音发生通道中的波形取样形成分辨率进行改变。在此情况下，该通道中的波形数据的算术形成，响应于变化的波形取样形成分辨率 CC 而得到改变，且用于积累该通道的输出数据的输出缓存器在单位部分中间得到了改变。

[0084] 另外，如前面所述，在相应乐音的形成期间，由于存储在图 2 所示的 RAM3 中的波形数据 WD1、WD2、……WDn 的频带的改变，本发明响应于该频带的改变而改变对波形数据进行取样以进行存储的记录取样频率，从而减小了所要存储的波形数据量。在此方面，在现有技术中，通常的作法是使取样频率在升高部分很高并根据波形数据的衰减而逐渐降低。如果以固定的速率从 RAM3 读出以上述方式在相应乐音的形成期间以相继变化的取样频率存储的波形数据，波形数据将根据取样频率而引起音高的变化。

[0085] 在图 6 的时刻 a 和 c 处的各个一周期波形中，由于所产生的乐音中的上述取样频率变化，在时刻 c 处的波形宽度（沿着水平轴）减小到时刻 a 处的一半。即，虽然时刻 a 和

c 处的波形原来有相同的音高,由于时刻 c 处记录波形的取样频率为时刻 a 处的大约一半,波形存储器中存储时刻 c 处的一周期波形的地址区的长度,约为时刻 a 处的一半。

[0086] 图 8 中的波形的例子 (OPEG) 显示了在乐音形成期间,当采用基本的波形取样形成分辨率 (在图 9 的例子中为 48kHz) 读出波形数据时原有音高 (OP) 的变化。在图 8 所示的例子中,音符数 C2 的原有音高 OP 从时刻 t1 至时刻 t3 线性地改变至音符数 C3 的音高,而音符数 C3 比 C2 高一个八度;纵轴代表音分 (cent) 标度。因此,当这种波形数据被读出以形成乐音取样时,需要以这样的方式控制读出速率 (F 数,即所要形成的乐音的每个取样期间读取地址在波形存储器中行进的速度),即在乐音产生期间没有音高变化。OP 表示原有音高,且 OPEG 表示原有音高包络。

[0087] 这里,用于对波形数据进行取样以将其存储在波形存储器中的取样频率,具有与上述 OPEG 波形正好相反的 (沿着音分标度) 变化,且用于控制 OPEG 波形的形状的 OPEG 控制数据是根据控制记录期间的取样频率变化的数据而产生的。

[0088] 为了产生指定音高的乐音,只要根据指定音高和 OPEG 波形产生一个 F 数,作为移动原有音高 (用 OPEG 波形的值表示) 的音高变化量。具体地,指定的发声音高与原有音高之差是以音分计算的。随后,计算出的差从音分表示被转换成 Hz 表示,以确定 F 数。在此情况下,一旦 OPEG 变化,F 数随着 OPEG 变化,即使指定的发声音高没有变化也是如此。

[0089] 在各个计算时刻,以算术方法形成由波形取样形成分辨率 CC 指定的预定数目的波形取样,作为用于单个单位部分的取样。然而,当在乐音的形成期间波形取样形成分辨率 CC 如图 9 所示地变化时,需要同时改变所形成的每个取样期间读取波形数据的读出速率 (F 数)。如果例如将 48kHz 的基本波形取样形成分辨率 (CC = 0) 减半至 24kHz (CC = 1),则每个取样的波形读出速率需要增大到原来的两倍;且如果它降低到 12kHz (CC = 2),每个取样的波形读出速率需要增大到原来的四倍。

[0090] 因此,本发明得到适当设置,以在波形取样形成分辨率改变的同时,改变 F 数,即用于读出算法形成时指定的波形数据的地址计数器的每个取样的增值。对于每一个乐音发生通道,都设定波形取样形成分辨率,以尽量减小该通道的无用波形计算量。

[0091] 本发明既通过波形数据取样频率的改变 (图 8 所示 OPEG 波形的变化) 而实施了波形压缩,又通过波形取样形成分辨率 CC 的变化 (图 9 所示的波形取样形成分辨率 CC 的变化) 而节省了波形计算,其结果,F 数在乐音产生期间以图 10 所示的方式变化。如图 10 所示,具有初始值 FN0 的 F 数,从时刻 t1 至时刻 t2 响应于 OPEG 波形变化而沿着弧形曲线减小。F 数在时刻 t2 处响应于已经减半至 24kHz 的波形取样形成分辨率 CC 而加倍,并随后从时刻 t2 至时刻 t3 响应于 OPEG 波形变化而再次沿着弧形曲线减小。从时刻 t3 至时刻 t4,F 数被延音在值 FN0 (即通过使 OPEG 波形加倍并使波形取样形成分辨率 CC 减半从而使它们彼此抵消,而使原有的 F 数得到了恢复),并随后在时刻 t4 响应于已经减小至原来的 1/4 的波形取样形成分辨率 CC 而进一步得到加倍。在时刻 t4 之后,F 数被保持在值 2FN0。

[0092] 用于计算 F 数的公式是;

$$[0093] \quad F \text{ 数} = 2^{(SP-OP)/1200} \times 2^{CC} \quad \text{公式 (1)}$$

[0094] 其中 SP 表示所要发出的音符数的音高,OP 表示原有音高,且 CC 表示相对于基本波形取样形成分辨率 (48kHz) 的比值。当采用基本波形取样形成分辨率时,CC = 0;当波形取样形成分辨率被减半时,CC = 1;且当波形取样形成分辨率被降低至 1/4 时,CC = 2。

[0095] 图 12 是在采用本发明的乐音发生方法的软件乐音发生器中,由图 1 的 CPU1 所执行的主程序的流程图。在该主程序开始时,在步骤 S10 进行初始化,其中所有的乐音发生通道都得到清除且进行音色数据、波形数据等等的初始准备。

[0096] 在下一个步骤 S20,通过确定是否有 MIDI 接收数据已经被存储在图 3 的上述输入缓存器中,而判定是否有接收数据。如果没有接收数据被记录在输入缓存器中,CPU 进行到步骤 S40,但如果有接收数据被记录在输入缓存器中,CPU 进行到步骤 S30,在那里借助与接收的 MIDI 事件相对应的操作(音符接通处理、音符关断处理等等)和其他所需的操作,执行对接收数据的处理。

[0097] 在步骤 S40,检查是否有任何开关得到激活。如果在步骤 S40 的答案是否定的,CPU1 进行到步骤 S60;如果已经有开关被激活,则判定有开关事件,从而在步骤 S50 进行面板开关事件处理,以按照激活的开关的指令设定多个演奏部分之一的音色。

[0098] 随后,在步骤 S60 执行乐音发生器处理,以在各个计算时刻到来时一起用算术方法形成乐音波形取样。当在步骤 S70 进行了其他必要的处理之后,CPU1 回到步骤 S20 以重复步骤 S20 至 S70 的操作(正则环,regular loop)。如果再现部分 9 包括根据可选择的算法的专用乐音发生器或 DSP 乐音发生器,则可以省略步骤 S60 处的乐音发生器处理。

[0099] 图 13 是 CPU1 执行的 MIDI 接收中断处理的流程图。该 MIDI 接收中断处理是当 MIDI 接口 5 接收到来自外部的 MIDI 事件时而激活的,且相优先于其他处理。在 MIDI 接收中断处理开始时,在步骤 S80 装载接收数据,且在步骤 S90 将其与其接收时间数据(表示接收数据的接收时间)一起,以图 3 所示的形式,写入输入缓存器。在步骤 S90 之后,CPU1 返回到在中断处理之前进行的处理。通过这些操作,MIDI 数据与相应的接收时间数据一起被依次写入到输入缓存器中。

[0100] 图 14 是部分 1 的音色选择事件处理的流程图,该处理是作为主秩序在步骤 S50 进行的面板开关事件处理的一个例子而执行的,其中对于各个演奏部分,在步骤 S100,通过激活预定的开关而选定的乐音数被存储在音色寄存器 TC 中。在对于所有演奏部分完成了步骤 S100 的操作之后,乐音设定处理结束。

[0101] 在图 15A 和 15B 中,分别显示了音符接通处理和音符关断处理的细节,这些处理是在主程序的步骤 S30 处的接收数据处理中进行的。

[0102] 当接收数据是音符接通事件数据时,如图 15A 所示地执行音符接通处理,其中在步骤 S110 存储在输入缓存器中的音符接通事件数据的音符数、速度和部分指定的音色分别装载到相应的寄存器 NN、VEL 和 TC 中,且音符接通事件的发生时间也被装载到相应的寄存器 TM。在下一个步骤 S120,进行通道分配处理,以将装载的音符数 NN 分配到通道中的一个并将分配的通道的号 i 存储在寄存器中。

[0103] 随后,在步骤 S130,根据音符数 NN 和速度 VEL,对现在为各个演奏部分设定的音色 TC 的音色数据 TP(TC) 进行处理。这里,音色数据是从图 2 所示的音色数据 PDI 至 PD16 中选出的一个。在下一个步骤 S140,处理过的、包括所要产生的乐音的音高 SP 的音色数据,与音符接通事件的发生时间 TM 一起,被写入到图 4 的通道号 i 的乐音发生器寄存器中。另外,将要写入该乐音发生器寄存器的波形指定数据 D,通过采用指示图 2 所示的音色数据的音高范围波形指定数据的音符数 NN,而得到确定,且波形数据 WDI 至 WDn 中的任何一个被指定为将要用于产生与音符数 NN 对应的乐音的波形。

[0104] 随后,在步骤 S150,将用于改变通道 i 的波形取样形成分辨率的时序和指定波形取样形成分辨率值的形成分辨率控制数据,设定到 i 通道的乐音发生器寄存器中。这种形成分辨率控制数据的设定,是根据包含在为 i 通道选出的音色数据中的形成分辨率控制数据而进行的。由于改变波形取样形成分辨率的时序是对于每一个单位部分指定一次的(在该单位部分每个计算时刻都进行计算),波形取样形成分辨率的变化可以通过检测计算时刻的到达数目而实现。随后,在步骤 S160,将从波形数据区读出的 OPEG 控制数据设定到 i 通道乐音发生器寄存器中。所读出的 OPEG 控制数据是用于控制 OPEG 波形的形状的数据,该 OPEG 波形代表了图 8 所示的乐音的产生期间原有音高的变化方式。

[0105] 在下一个步骤 S170,将音符接通数据写入 i 通道的乐音发生器寄存器,且随后音符接通事件处理结束。

[0106] 当接收数据是音符关断事件数据时,如图 15B 所示地进行音符关断处理,其中在步骤 S180,将存储在输入缓存器中的音符关断事件数据的音符数、速度和部分指定音色分别装载到相应的寄存器 NN、VEL 和 TC 中,且音符关断事件的发生时间也被装载到相应的寄存器 TM 中。随后,在步骤 S190,标明产生具有音色 TC 和音符数 NN 的乐音的一个乐音发生通道,且标明的通道号 i 被存储在寄存器中。

[0107] 在步骤 S200,发生时间 TM 和音符关断数据被写入 i 通道乐音发生器寄存器,且随后音符关断处理结束。

[0108] 现在,结合图 16,对主程序的正则环中在步骤 S60 执行的乐音发生器处理进行详细描述。

[0109] 首先,在步骤 S210,检查乐音发生器寄存器以判定其中是否已经写入了新的数据。如果没有新数据已经被写入,CPU1 直接进行到步骤 S250;如果有新数据已经被写入,CPU1 进行到步骤 S230,在那里写入的数据被转换成用于控制波形形成的控制数据。

[0110] 随后,在步骤 S240,根据转换的控制数据,进行用于计算的预定准备,诸如乐音发生器控制准备,例如关于音符接通/音符关断、音高带、EXP、底壳(pan)和其他数据的准备以及控制时间和控制数据组的产生。即,每次有新数据写入时,都在步骤 S230 和步骤 S240 对随后在步骤 S270 和步骤 S290 进行的乐音形成计算进行预定的准备。

[0111] 在下一个步骤 S250,以不中断再现部分 9 中的波形数据读出的方式,进行计算时间管理处理,以在现行的波形数据再现结束之前指定预定的时刻。更具体地说,在图 11(a)所示的各个计算时刻对应于图 11(c)所示的单个单位部分的多个乐音波形取样的算术形成中,进行计算时间管理处理,以在考虑到算法形成所需的时间的情况下设定计算时刻,从而防止对再现部分 9 进行的波形取样读出造成不希望的中断。

[0112] 随后,在步骤 S260,判定经过上述计算时间管理处理而设定的计算时刻是否已经到达。如果步骤 S260 处的答案是否定的,CPU1 结束乐音发生器处理而不进行其他的处理。如果在乐音发生器寄存器中没有写入新的数据且还没有到计算时刻,则在乐音发生器处理中不进行具体的操作。一旦在执行了主程序的正则环几次之后设定的计算时刻已经来到,在步骤 S270 和其之后,进行处理以用算术方法法形成对应于单个单位部分的多个乐音波形取样。

[0113] 即,在步骤 S270,根据在各个通道中所要产生的乐音,进行各种通道控制处理,诸如:形成分辨率改变处理,用于指定所要形成的一组具体的乐音波形取样;计算顺序确定

处理,用于以这样的方式确定通道之间的计算顺序,即按照从发出最重要的乐音的通道至发出最不重要的乐音的通道的顺序,进行所需的计算;以及,乐音消音通道确定处理,用于确定计算顺序中的最后一个通道,作为其中现行发声的乐音应该得到消音的通道。

[0114] 在随后的步骤 S280,进行控制数据展开处理,其中在上述步骤 S240 准备的数据沿着时间轴被展开,以为计算作准备。在此之后,进行波形形成计算处理,其中在步骤 S290 根据展开的数据,计算单个单位部分的再现波形数据(乐音波形取样)。另外,如结合图 5 所述的,以这样的方式使具有不同波形取样形成分辨率的再现波形数据受到内插处理,即使其数目与以基本波形取样形成分辨率形成的那些的数目相同;且随后所有通道的再现的波形数据都被积累起来,以存储在例如缓存器 B0 中。随后,在步骤 S300,对于存储来自所有通道的积累的再现波形数据的缓存器 B0,进行再现保留,以使再现部分 9 随后读取再现的波形数据。

[0115] 如上所述,本发明能够对于每一个乐音发生通道并在通道中的乐音的产生中的任何中间点,单独地改变波形取样形成分辨率。图 17 是流程图,显示了在乐音发生器处理的步骤 S270 执行的通道控制处理的细节。

[0116] 在该通道控制处理中,波形取样形成分辨率改变处理是在步骤 S310 进行的,以根据提供给各个通道的形成分辨率控制数据,在乐音产生期间改变波形取样形成分辨率。在此控制处理中,对经历的时间进行计数,以对波形取样形成分辨率的改变时序进行管理。如果目前不需要改变波形取样形成分辨率,CPU1 直接进行到步骤 S340;然而,如果有需要改变波形取样形成分辨率的通道(即当通道的形成分辨率控制数据指定的改变时序到来时),步骤 S320 产生肯定的判定结果,因而在步骤 S330 通道的波形取样形成分辨率 CC 被改变到一个新的值(一个由控制数据指定的值)。

[0117] 在步骤 S340,执行计算顺序确定处理,以便以这样的方式确定通道之间的计算顺序,即使得发出重要乐音或不应该消音的乐音的通道所需的计算优先于其他的通道。这里,目前不发出乐音的通道不需要计算,因而不需要将其包括在计算顺序中。随后,在步骤 S350,汇集所有通道的计算量,以确定总计算量。在此情况下,由于不同的通道有不同的波形取样形成分辨率,且如果这些信道中采用了不同的乐音发生方法则乐音发生方法也不同,因而各个通道的相应计算量是不同的。在随后的步骤 S360,判定总计算量是否超过了预定的范围。如果总计算量处于预定范围之内,CPU1 终止通道控制处理而不进行任何其他的操作,以执行波形计算处理,如下面描述的。

[0118] 如果在步骤 S360 判定总计算量超过了预定范围,这意味着在再现部分 9 的预定读出时序之前将不能完成所需的计算,且再现的波形数据将有中断。因此,在计算顺序的预定位置之后的各个通道的波形取样形成分辨率 CC 将减小 1,以减小所要形成的取样的数目;即,波形取样形成分辨率 $CC = 0$ 被改变成波形取样形成分辨率 $CC = 1$,且波形取样形成分辨率 $CC = 1$ 被改变成波形取样形成分辨率 $CC = 2$ 。

[0119] 在此之后,在步骤 S380,判定总计算量现在是否处于预定范围。如果在步骤 S380 判定总计算量处于预定范围之内,通道控制处理结束;然而,如果总计算量仍然超过预定范围,则计算顺序中最后位置处或之后的一或多个通道被确定为乐音消音通道,且随后所确定的通道中目前正在发出的乐音被消音。

[0120] 如果所要产生的乐音的数目太多,传统的乐音发生器控制技术的通常作法是进行

所谓的“切去”处理,以强行使正在产生的所有乐音消音。与此相反,本发明的最佳实施例,即使当在步骤 S360 判定总计算量超过了预定范围的情况下,仍然首先通过步骤 S370 至步骤 S390 的操作以降低波形取样形成分辨率,而试图避免这种传统的乐音消音。由于只对重要性较低的一或多个乐音进行了波形取样形成分辨率降低,不会产生显著的音乐效果。然而,当仅通过降低形成分辨率不能适当地应付超过的计算量时,最佳实施例依赖于传统的乐音消音处理。

[0121] 一旦以上述方式完成了通道控制处理,以下面描述的方式进行波形计算处理。

[0122] 图 18 是流程图,显示了波形计算处理的细节。首先,在步骤 S400,对于处于计算顺序中第一位的乐音发生通道,进行必要的准备,且在计算之前对图 5 的所有输出缓存器进行消除。在随后的步骤 S410,根据所要产生的乐音的音高 SP、波形取样形成分辨率 CC 和原有音高 OP,利用上述公式 (1),产生 F 数。由于各个通道的 F 数是在步骤 S410 的各次执行中产生的,所以在乐音产生过程的中间,F 数能够响应于波形取样形成分辨率 CC 和原有音高 OP 的变化而迅速地改变。F 数也能够响应于音高带、振动或其他效应造成的音高 SP 的变化,而在乐音产生期间改变。

[0123] 通常不需要在单个单位部分的乐音波形取样形成计算的中间改变 F 数,因为计算时刻一般是以约几毫秒的间隔出现。

[0124] 随后,在步骤 S420,产生一个读出地址,以根据产生的读出地址的整数部分读出波形数据,且在两个相继读出的波形数据之间根据读出地址的小数部分进行内插。在随后的步骤 S420,上述每个取样的读出地址的产生和随后的内插被重复与形成分辨率 CC 对应的预定次数,以形成对应于形成分辨率 CC 的预定数目的内插取样。各个内插取样的读出地址,是通过将 F 数加到最后的内插取样的读出地址上而获得的。因此,对于每一个内插取样,读出地址都以与 F 数对应的速率增值,且读出的波形的音高根据地址的增值速率而得到控制。

[0125] 随后,在步骤 S430,在前一步骤产生的内插取样受到根据乐音音量包络线波形的乐音音量控制,并随后被加到与当前波形取样形成分辨率 CC 相应的缓存器 B0 和 B2 中的一个中。乐音音量包络波形是用于控制从乐音的上升至衰减的乐音音量包络线变化的波形,且是根据存储在各个通道的乐音发生器寄存器区中的 AEG 控制数据 D 而与各个内插取样相对应地、以算术方法形成的。如前所述,所要形的内插取样的数目和所要存储在输出缓存器中选定的一个之中的取样的数目,都受到形成分辨率 CC 的控制,因而是相同的。因此,步骤 S430 的操作,与上述的步骤 S420 一样,是一个取样一个取样地进行的。即,根据乐音音量包络波形的乐音音量控制以及至输出缓存器的加入,都是一个取样一个取样地进行的。

[0126] 通过上述顺序执行各种处理,可以尽量减小 CPU 写入和读取计算寄存器的次数,从而增大总体的处理速度。

[0127] 以此方式,采用基本波形取样形成分辨率在通道中计算的乐音波形取样,被存储到缓存器 B0 中;在采用基本波形取样形成分辨率的 1/2 的通道中计算出的乐音波形取样被存储到缓存器 B1 中;且在采用基本波形取样形成分辨率的 1/4 的通道中计算出的乐音波形取样,被存储到缓存器 B2 中。

[0128] 随后,在步骤 S440,判定计算是否对于需要这种计算的所有乐音发生通道都已经完成。如果还有需要计算的乐音发生通道留下(即仍然发出一个乐音),步骤 S440 的判定

结果就是否定的,因而 CPU1 进行到步骤 S480,以进行上述的为下一个乐音发生通道的准备,并随后返回到步骤 S410。因此,步骤 S410 至步骤 S480 的操作得到重复,直到对于所有的乐音发生通道都完成了计算。

[0129] 当 CPU1 与本发明的程序平行地运行另一个软件程序时,由于在软件处理上花费了太多的时间,所需的计算可能被延迟。在此情况下,为了避免对再现部分 9 的再现产生不希望的打断,即使仍然有需要计算的乐音发生通道,也可以在步骤 S440 确定对所有乐音发生通道的计算都已经完成。

[0130] 作为上述操作的结果,根据波形取样形成分辨率 CC 计算出的多个乐音发生通道的内插取样,被累加存储到缓存器 B0、B1 和 B2 中,如图 5 所示。

[0131] 一旦对需要这种计算的所有乐音发生通道都完成了计算,在步骤 S450 对存储在缓存器 B1 中的波形取样进行内插操作(双重再取样),以使内插取样的数目与用基本波形取样形成分辨率计算的取样的数目相同,并随后被存储到具有与缓存器 B0 相同的结构的缓存器 Bi' 中(参见图 5D)。然后在步骤 S460 对存储在缓存器 B2 中的波形取样进行插值操作以使插值取样的数目与用基本波形取样分辨率计算的相同,然后存储到与缓存器 B0(见图 5E)具有相同结构的缓存器 B2' 中去。

[0132] 随后,通过将缓存器 B1' 和缓存器 B2' 中的波形取样加到缓存器 B0 中,将所有通道的波形取样都存储到缓存器 B0 中(见图 5F)。这终止了波形计算处理,且存储在缓存器 B0 中的波形取样随后将被保留起来,以便由再现部分 9 读出以进行音频再现。

[0133] 上述的本发明的乐音发生方法,是作为由图 1 的乐音发生装置执行的程序来描述的,但它可以作为由诸如“Windows”(美国的微软公司生产的用于个人计算机的操作系统)的各种操作系统运行的通用计算机上的单个应用程序而得到执行。

[0134] 虽然以上还没有对预定单位时间中共同形成多个波形取样的计算过程进行详细描述,计算过程可以不仅是如上述实施例中那样的波形存储器读出操作,诸如已知的 FM 同步操作、AM 合成操作或付里叶合成操作。

[0135] 借助上述设置,本发明能够对各个乐音发生通道,根据所要发声的乐音波形是否具有宽频带或者根据乐音的重要性,确定波形取样形成分辨率。本发明还能够在不进行无用计算的情况下,以用算术方法形成乐音波形取样,而不论所要发生的乐音波形是具有宽频带还是窄频带。

[0136] 另外,由于提高了衰减乐音的升高部分的波形取样形成分辨率以形成大量的波形取样,且降低了延音部分的波形取样形成分辨率以形成较少的波形取样,所以能够避免无用计算,从而从乐音的开始至结束都能够有效地形成波形取样,而不出现无用计算。

[0137] 通过如此地节约对于具体的乐音发生通道的波形计算,可以增大对于其他乐音发生通道的波形计算量,从而提高该通道中产生的乐音的质量,且能够增大可同时产生乐音的通道的数目。

[0138] 另外,由于本发明能够对于各个通道独立地控制每单位时间中形成的乐音波形取样的数目,各个通道可以以不同的质量产生乐音。另外,还允许对于没有显著影响的具体通道减小计算量,即使其中产生的乐音是低质量的。

[0139] 下面结合图 6、7A 至 7D 和 19 至 25,描述根据本发明的另一个方面的波形数据压缩方法。

[0140] 如前所述,图 6 示意显示了存储在缓存器中以用于完成单个乐音的发声(从开始至结束)的波形数据组,图 7A 至 7D 显示了图 6 的波形数据在各个点 a, b, c 和 d 处提取的频谱,且图 19 显示了当用于完成单个乐音的发声的时间串行波形数据得到取样和存储时取样频率 F_s 的变化方式的一个例子。

[0141] 首先,结合图 6、7A 至 7D 和 19,描述取样频率 F_s 是如何设定的。

[0142] 如图 7A 中所示,图 6 的点 a 处的升高部分的波形数据具有较宽的频带并具有谐波分量众多且直到高频 F_1 的频谱分布。在对具有图 7A 所示的频谱分布的升高部分波形数据进行取样的取样频率 F_s ,必须至少高于频率 $2f_1$ 。

[0143] 图 6 的点 b 处的、略微衰减的波形数据的频谱分布具有直到频率 f_2 的频率分量,如图 7B 所示。即,较高次的谐波分量衰减得较快,留下了比升高部分的频带窄的频带。在对具有图 7B 所示的频谱分布的波形数据进行取样时的取样频率 F_s ,必须至少高于频率 $2f_2$ 。

[0144] 另外,谐波分量已经进一步衰减的点 c 处的延音部分的波形数据的频谱分布,具有只到频率 f_3 的分量,并具有窄得多的频带,如图 7C 所示。对具有图 7C 所示的频率分布的波形数据进行取样时的取样频率 F_s ,必须至少高于 $2f_3$;这意味着取样频率 F_s 可以大大低于用于升高部分的上述取样频率 $2f_1$ 。

[0145] 另外,如图 7D 所示,在图 6 的点 d 处的、得到进一步衰减的波形数据,只包含低次的谐波,其频谱分布只有直到接近于基波的频率 f_4 分量,其频带远窄于升高部分的频带。对具有图 7D 所示的频谱分布的波形数据进行取样时的取样频率 F_s ,必须至少高于 $2f_4$;这意味着取样频率 F_s 可以非常低,例如比用于升高部分的上述取样频率 $2f_1$ 低好几倍。

[0146] 如所述,对应于单个乐音的完全(开始至结束)发声的波形数据所需的取样频率,随着波形数据的衰减的进行,可以很低。因此,本发明通过以上述方式在记录波形中改变取样频率 F_s ,来压缩所要记录的波形数据。

[0147] 在图 19 所示的例子中,对于直到包括当升高部分结束的的时间的时刻 t_1 的期间,将取样频率 F_s 设定在初始的最高频率 48kHz,且取样频率 F_s 在时刻 t_1 切换到较低的频率 32kHz,并随后再在时刻 t_2 切换到升高部分的频率的一半 24kHz。这里,时刻 t_1 至时刻 t_2 的单位时间波形取样数据量,是时刻 t_1 之前的初始单位时间波形取样数据量的 $2/3$;从时刻 t_2 至时刻 t_3 的单位时间波形取样数据量,是时刻 t_1 之前的初始单位时间波形取样数据量的 $1/2$;且从时刻 t_3 开始单位时间波形取样数据量是时刻 t_1 之前的初始单位时间波形取样数据量的 $1/4$ 。因此,在整体上,单个乐音的完全发声所需的波形取样量能够得到显著的减小,且当多个波形数据得到取样以进行存储时波形取样量的减小将具有更大的效果。

[0148] 如此减小的用于乐音的完全发声的波形取样数据,被直接写入到波形存储器中,因而它们将随后被从该存储器读出,以便以固定再现速率进行音频再现。固定的再现速率是 D/A 转换器的转换时序。然而,如果用于乐音的完全发声的波形取样数据是如图 19 所示地在改变取样频率 F_s 的同时被记录的,并随后以固定再现速率进行再现,则产生的再现波形取样数据的音高在乐音产生期间将自然发生改变。

[0149] 作为原有音高 OP 的变化了一个例子,图 20 显示了当从波形存储器读出波形取样数据并以每少 48k 个取样的固定再现速率再现时检测到的音高与波形存储器的读出地址之间的关系。在图 20 中,“NN0”表示在记录时发出的一个音符的音高,在地址 Ad1 之前的地址范围是用于读出图 19 的时刻 t_1 之前形成的波形取样数据的地址范围,从地址 Ad1 开

始至地址 Ad2 的地址范围是用于读出从图 19 的时刻 t1 至时刻 t2 形成的波形取样数据的地址范围,从地址 Ad2 至地址 Ad3 的地址范围是用于读出从图 19 的时刻 t2 至时刻 t3 形成的波形取样数据的地址范围,且地址 Ad3 之后的地址范围是用于读出在图 19 的时刻 t3 之后形成的波形取样数据的地址范围。

[0150] 图 20 中显示的是这样的情况下,即其中固定再现速率是与波形数据记录期间采用的最高取样频率 F_s 相等的 48kHz,且由于采用了这种固定再现速率,从地址 Ad1 之前的地址范围读出的波形取样数据的音高等于记录时发声的音符的音高 NN_0 。如果在图 6 的点 a 处的波形数据的一个周期等于 100 个取样,则该音高将为 $48\text{kHz}/100 = 48\text{Hz}$ 。从地址 Ad1 至地址 Ad2 的地址范围读出的波形取样数据的音高为音高 NN_0 的 $3/2$,因为它们是以等于记录时的速率的 $3/2$ 的固定再现速率再现的。即,其音高将为 $480\text{Hz}/(3/2) = 720\text{Hz}$ 。

[0151] 另外,从自地址 Ad2 至地址 Ad3 的地址范围读出的波形取样数据的音高,将等于 960Hz,这是音高 NN_0 的两倍,因为它们是以两倍于记录时使用的速率的固定再现速率再现的。即,从自地址 Ad2 至地址 Ad3 的地址范围读出的波形取样数据的音高比音高 NN_0 高一个八度 (NN_0+1 八度)。类似地,从地址 Ad3 之后的地址范围读出的波形取样数据的音高,将是 1,920Hz,这是音高 NN_0 的 2^2 部,因为它们是以记录时采用的速率的 2^2 倍的固定再现速率再现的。即,从地址 Ad3 之后的地址范围读出的波形取样数据的音高,比音高 NN_0 高两个八度 (NN_0+2 八度)。

[0152] 如果以在如图 19 所示的乐音的中间处改变的取样频率 F_s ,记录波形取样数据,且如此记录的波形取样数据以固定再现速率得到再现,则再现的波形取样数据的音高在乐音的发声期间将如图 20 所示地出现不利的变化。因此,需要对从波形存储器的取样数据读出进行控制,以防止再现波形取样数据的音高变化。

[0153] 为此,在波形数据的记录期间,输出如图 20 所示的音高变化速率,以作为用于产生 F 数的原有音高变化控制数据,且该原有音高变化控制数据被存储在电子乐器的控制部分中,如下面所要描述的。如果在此情况下,原有音高变化控制数据是以音分表示的数据,则所需的音高控制处理可以得到显著的简化。该原有音高变化控制数据是用于合成如图 20 所示的原有音高 OP 的变化曲线的控制数据,且在此情况下,它们指定了变化时序 Ad1、Ad2、..... 和音高值 NN_0 、 $NN(720\text{Hz})$ 、 NN_0+1 八度、.....

[0154] 图 21 显示了其中在波形数据记录期间改变取样频率 F_s 以进行单个乐音的完全发声的方式的一个例子,该音色具有产生逐渐增大的亮度的效果的乐音。

[0155] 在所示的例子中,波形数据在从时刻 t 至时刻 t3 的时期里具有最高的谐波分量,且在此时期中取样频率 F_s 被保持在最高的 48kHz。在从发声开始点至时刻 t1 的时期里,取样频率 F_s 被设定为 12kHz,随后在从时刻 t1 至时刻 t2 的时期里被设定为 24kHz,并在时刻 t3 之后被恢复到 24kHz。

[0156] 如果以在乐音的中间改变的取样频率 F_s 记录波形取样数据且如此记录的波形取样数据以固定再现速率得到再现,则再现的波形取样数据的音高将不利地不同于记录音高,如上所述。因此,在此情况下,在波形数据的记录期间,也输出形式与前述的不同的乐音的音高变化速率,以作为将要用来产生 F 数的原有音高变化控制数据,且该原有音高变化控制数据被存储在电子乐器的控制部分中。

[0157] 图 22 是框图,显示了进行波形准备工作以将在取样频率 F_s 改变的同时取样的波

形数据记录在波形存储器中的设置的一个例子。

[0158] 在所示的例子中,经过诸如麦克风的波形输入部分 20 引入的波形数据,被 A/D 转换器 21 转换成数字信号。具体地,在此例中,A/D 转换器 21 对引入的模拟波形数据以固定的最高取样频率 F_s (例如 48kHz) 进行取样并将它们转换成数字波形取样数据。由 A/D 转换器 21 以固定取样频率 F_s 转换成数字表示的原有波形取样数据,借助存储器写入电路 22,而被写入到原有波形存储器 23 中。

[0159] 随后,从原有波形存储器 23 读出原有波形取样数据并借助取样频率改变部分 24 来改变取样频率。即,在取样频率改变部分 24 中,波形取样数据以这样的方式得到再取样,即在经过低通滤波器 (LPF) 对频带进行了限制之后,取样频率 F_s 得到了降低,因而即使在频率 F_s 得到降低的情况下也避免了混淆噪声的出现。

[0160] 从乐音的开始至结束取样频率 F_s 的变化,是以图 19 至 21 所示的模式下在取样频率改变部分 24 中实现的,且取样频率 F_s 的变化的模式,即波形数据和取样频率应该如何和在什么时序改变,是由变化模式指定部分 26 指定的。已经被取样频率改变部分 24 改变到变化模式指定部分 26 指定的取样频率的波形取样数据,被写入到波形存储器 25 中,它根据本实施例可以被直接地用于电子乐器中。

[0161] 如果如此写入的波形取样数据被以固定再现速率再现,则在乐音的发声期间再现的波形取样数据的音高将产生不利的改变。因为如图 19 和 20 所示,音高按照变化模式指定部分 26 的指定而变化,产生了对应于由指定部分 26 指定的原有音高变化控制数据。该原有音高变化控制数据包括变化值,而该变化值以音分表示的并预先设定在从波形存储器 25 读出波形取样数据以进行再现的波形再现装置或电子乐器中。

[0162] 图 23 是框图,显示了包括波形存储器的电子乐器的一般结构,该波形存储器中以根据本发明的波形数据压缩方法的压缩方式记录有波形数据。为了简化描述,假定电子乐器在一个时刻只产生单个的乐音。

[0163] 在所示的例子中,电子乐器包括:由演奏者操作的键盘 (KB) 31;检测电路 32,用于检测音符接通事件 (NON) 和键盘 31 的操作或按下的键上音分中音符数 (NN);音高包络发生器 (音高 EG) 33,用于响应于从检测电路 32 检测到的音符接通事件 NON 的发生开始所经历的时间、产生以音分表示的音高包络波形 ΔP 以根据选定的乐音数 TC 来改变乐音的音高;以及,加法器 34,用于将来自音高包络发生器 33 的音高包络波形 ΔP 加到检测电路 32 检测到的音符数 NN 上。

[0164] 电子乐器进一步包括:原有音高 (OP) 发生器 37,用于根据以音分表示的上述原有音高变化控制数据来产生原有音高数据 OP;减法器 35,用于从由加法器 34 输出的、已经加上了音高包络波形的音符数 (即 $NN + \Delta P$) 减去产生的原有音高数据 OP;以及,频率数 (FN) 发生器 36,用于根据来自减法器 35 的修正的音符数 (即 $NN + \Delta P - OP$),产生与所要产生的乐音的音高成正比的频率数 (FN)。原有音高发生器 37 中存储有与将要存储在波形存储器 39 中的多个波形数据对应的多个原有音高变化控制数据;且原有音高发生器 37 响应于乐音数 TC 和音符数 NN,利用与从波形存储器 39 读出的波形对应的原有音高变化控制数据,产生原有音高数据 OP。

[0165] 一个地址发生器 38,根据乐音数 TC 和音符数 NN 的键范围,从存储在波形存储器中的波形中选择波形,且它在音符接通 ON 事件的时序,作为第一读出地址而输出选定波形的

开始地址。随后,地址发生器 38 以对应于提供的 F 数的速率,对读出地址进行增值。从其中根据本发明的波形数据压缩方法而存储有压缩的波形数据的波形存储器 39,响应于地址发生器 38 产生的读出地址的整数部分,读取波形取样数据 MSD。一个内插电路 40 提供取样数据 ISD,该取样数据响应于产生的读出地址的小数部分并利用从波形存储器 39 相继读出的波形取样数据,而得到内插。另外,一个乘法器 41 用乐音音量包络波形 AEG 乘来自内插电路 40 的内插取样数据 ISD。乐音音量包络波形 AEG 表示对应于乐音数 TC 的乐音中的乐音音量变化,且是由乐音音量包络发生器 42 响应于音符接通事件 NON 的时序而产生的。

[0166] D/A 转换器 43 以固定再现速率将乘法器 41 输出的数字乐音数据(即乘了乐音音量包络波形 AEG 的内插取样数据 ISD)转换成模拟音色数据。另外,一个发声系统 44 对 D/A 转换器 43 提供的模拟乐音信号进行声频再现。乘法器 41 为当 D/A 转换器以固定再现速率(固定取样频率)实现模拟转换时的每一个时序输出数字音色数据。标号 45 表示的框表示多个音色开关(SW),其每一个都是为了让用户能够选择所要产生的音色,且标号 46 表示的框是一个检测电路,用于检测音色开关的用户操作以对应于用户选择的乐音而输出音色数 TC。

[0167] 该电子乐器以如下的方式运行。当演奏者按下键盘 31 上的任何一个键时,检测电路 32 检测按下的键以产生并向音高包络发生器 33、乐音音量包络发生器 42、原有音高发生器 37 和地址发生器 38 提供按下的键的音符数 NN 和音符接通信号 NON。响应于此,音高包络发生器 33 和乐音音量包络发生器 42 分别开始产生音高包络波形 ΔP 和乐音音量包络波形 AEG,原有音高发生器 37 产生原有音高数据 OP,且地址发生器 38 产生由整数部分 ADI 和小数部分 ADF 组成的读出地址。

[0168] 假定波形数据是以如图 19 所示的方式变化的取样频率 F_s 预先记录在波形存储器 39 中的,且演奏者已经指定了与记录的波形数据具有相同的音高的键。

[0169] 在此情况下,原有音高发生器 37 产生出由与从检测电路 32 输出的音符数 NN 相同的音分值表示的原有音高数据 OP。这里,如果忽略远小于音符数 NN 的音高包络波形 ΔP ,则从减法器 5 输出的值(即 $NN-OP$) 大约为 0 音分。当接收到该 0 音分数据时,频率数发生器 36 输出“1”作为 F 数。

[0170] 地址发生器 38 通过积累从频率数发生器 36 输出的第一个 F 数,产生由整数部分 ADI 和小数部分 ADF 组成的读出地址。如果开始地址是 SD,该读出地址的整数部分 ADI 对于 D/A 转换器从音符接通时序开始的第一个取样周期加一,如 SD、SD+1、SD+2、SD+3.....,而读出地址的小数部分 ADF 始终被保持为“0”。

[0171] 每当整数部分 ADI 被提供给波形存储器 39 时,就从波形存储器 39 读出存储的波形取样数据。由于读出地址的小数部分 ADF 是 0,读取的波形取样数据 MSD 通过内插电路 40 而到达乘法器 41,后者又用乐音音量包络波形 AEG 乘取样数据 MSD,且将所产生的相乘数据送到 D/A 转换器 43。D/A 转换器 43 以固定再现速率将波形取样数据 MSD 转换成模拟乐音信号,且该模拟乐音信号通过发声系统 44 而得到声频再现或发声。

[0172] 由于各个整数部分 ADI 被作为相继的地址产生,所有记录的波形取样数据都被从波形存储器 39 读出,且以固定再现速率再现的波形数据将具有与记录时相同的音高。

[0173] 当演奏者按下了与记录的音符名不同的音符名的键时,从检测电路 32 向频率数发生器 36 输出一个音符数 NN,该音符数 NN 对应于按下的键的音符名和八度编码(例如,

当按下比一个整乐音记录的音高高的键时,检测电路 32 输出一个增值了 200 音分的音符数 NN),频率数发生器 36 随后产生与按下的音符名和八度编码(例如高于由一个整乐音记录的音高)并将产生的 F 数传送到地址发生器 38。根据此时产生的读出地址,波形取样数据 MSD 被从波形存储器 39 读出,以受到内插处理。在此内插处理中,根据小数部分 SDF,进行相继的波形取样数据 MSD 之间的内插,诸如线性内插。

[0174] 如此内插的取样数据 ISD,借助乘法器 41,被乘以乐音包络波形,并被传送到 D/A 转换器,在那里将取样数据 ISD 以固定再现速率恢复成模拟波形数据。恢复的波形数据将提供对应于 F 数的音高(即高于由一个整乐音所记录的音高)。

[0175] 地址发生器 31 向原有音高发生器 37 提供产生的读出地址,而原有音高发生器 37 根据响应于音色数 TC 和音符数 NN 而选择的原有音高控制数据,检测读出地址什么时间到达地址 Ad1、Ad2 或 Ad3。因此,借助这种检测,原有音高发生器 37 依次改变原有音高数据 OP 的值,如 $NN0 \rightarrow NN(720\text{Hz}) \rightarrow NN0+1$ 八度。

[0176] 以上述方式,如图 20 所示的原有音高数据 OP 的变化曲线响应于读出地址而得到再现。例如,在地址单元 Ad1 至 Ad2,原有音高发生器 37 将产生从最后的数据 OP 增值 700 音分和另一 500 音分的原有音高数据 OP,并将这些增值的原有音高数据 OP 送到减法器 35。在通过 Ad2 的地址单元,从加有从加法器 34 输出的音高包络波形 ΔP 的音符数,减去 1200 音分。由于 1200 音分对应于一个八度,在地址存储单元 Ad2 输出了比 Ad1 之前的点产生的 F 数低一个八度的音符数 $(NN + \Delta P - OP)$,并随后被提供给 FN 发生器 36。因此,FN 发生器 36 产生对应于一个音高的 F 数,该音高比 Ad1 之前的时刻产生的 F 数低一个八度,因而地址发生器 38 产生以对应于该 F 数的速率增值的读出地址。

[0177] 读出地址的整数部分 ADI 被提供到波形存储器 39,从而读出所记录的波形取样数据,每个读出时序一个取样数据。如果例如至地址 Ad1 的 F 数是“1”,则使来自地址 Ad2 的 F 数为 0.5,从而使从地址发生器 38 产生的读出地址的整数地址 ADI 以 0、1、1、2、2、..... 的方式变化,同时小数部分 ADF 以 0.5、0、0.5、0..... 的方式变化(在这里不考虑开始地址)。整数地址 ADI 被提供到波形存储器 39,以从其读出波形取样数据 MSD,且读出的取样数据 MSD 被提供到内插电路 40,以根据小数部分 ADF 进行内插。

[0178] 在地址 Ad2 处和其之后,每一个取样周期都从波形存储器 39 读出波形取样数据,且该波形取样数据由内插电路 40 根据各个小数部分 ADF 进行内插。然而,由于记录在波形存储器 39 中在地址 Ad2 处及其之后的波形取样数据的量,从开始就是直到地址 Ad1 记录的量的一半,所以每隔一个读出时序从波形存储器 39 读出记录的波表取样数据。这补偿了记录所用的减半的取样频率 F_s ,因而能够以与记录时相同的音高从波形存储器 39 读出波形取样数据。

[0179] 随后,使来自内插电路 40 的内插取样数据 ISD 借助乘法器 41 而与乐音音量包络发生器 42 产生的乐音音量包络波形 AEG 相乘并借助 D/A 转换器 43 而被转换成具有固定再现速率的模拟形式。

[0180] 应该注意的是,当压缩波形数据时,用于记录从开始至结束的波形数据的取样频率 F_s ,不仅可以如图 19 所示地以逐阶的方式变化,而且还可以如图 24 所示地以连续的方式变化。在图 24 中,取样频率 F_s 从时刻 t_4 处的 48kHz 连续降低到时刻 t_5 处的 24kHz,且这种连续变化还使得波形数据能够以压缩的方式被记录在波形存储器中。在此情况下,以

音分表示的原有音高数据 OP 得到设定,以从乐音的开始至结束线性地变化。即,当以固定再现速率再现从波形存储器读出的波形数据时,再现的波形数据的音高沿着音高轴从地址 Ad4 至地址 Ad5 线性地变化,如图 25 所示。

[0181] 因此,在以如图 25 所示的方式变化的取样频率记录波形数据时,图 23 所示的电子乐器的原有音高发生器 37 只需要输出以虚线方式变化的原有音高数据 OP,因而能够在结构上得到很大的简化。

[0182] 在根据本发明的波形数据压缩方法在波形存储器中记录波形取样数据的设置中,以及在包括其中记录有波形取样数据的这种波形存储器的电子乐器中,由框表示的功能可以用硬件部件实施,但也可以用 MPU(微处理单元)或 DSP(数字信号处理器)实施。

[0183] 根据以上描述的本发明,在所要记录的乐音的、其中波形数据包含高频分量的升高部分,取样频率得到提高,且在其中波形数据包含不那样高的频率分量的延音部分取样频率被降低,因而所要记录在波形存储器中的波形取样数据在量上能够得到有效的减小并能够得到较大的压缩。其结果,本发明减小了波形存储器的存储容量并使存储器得到有更为有效的利用。

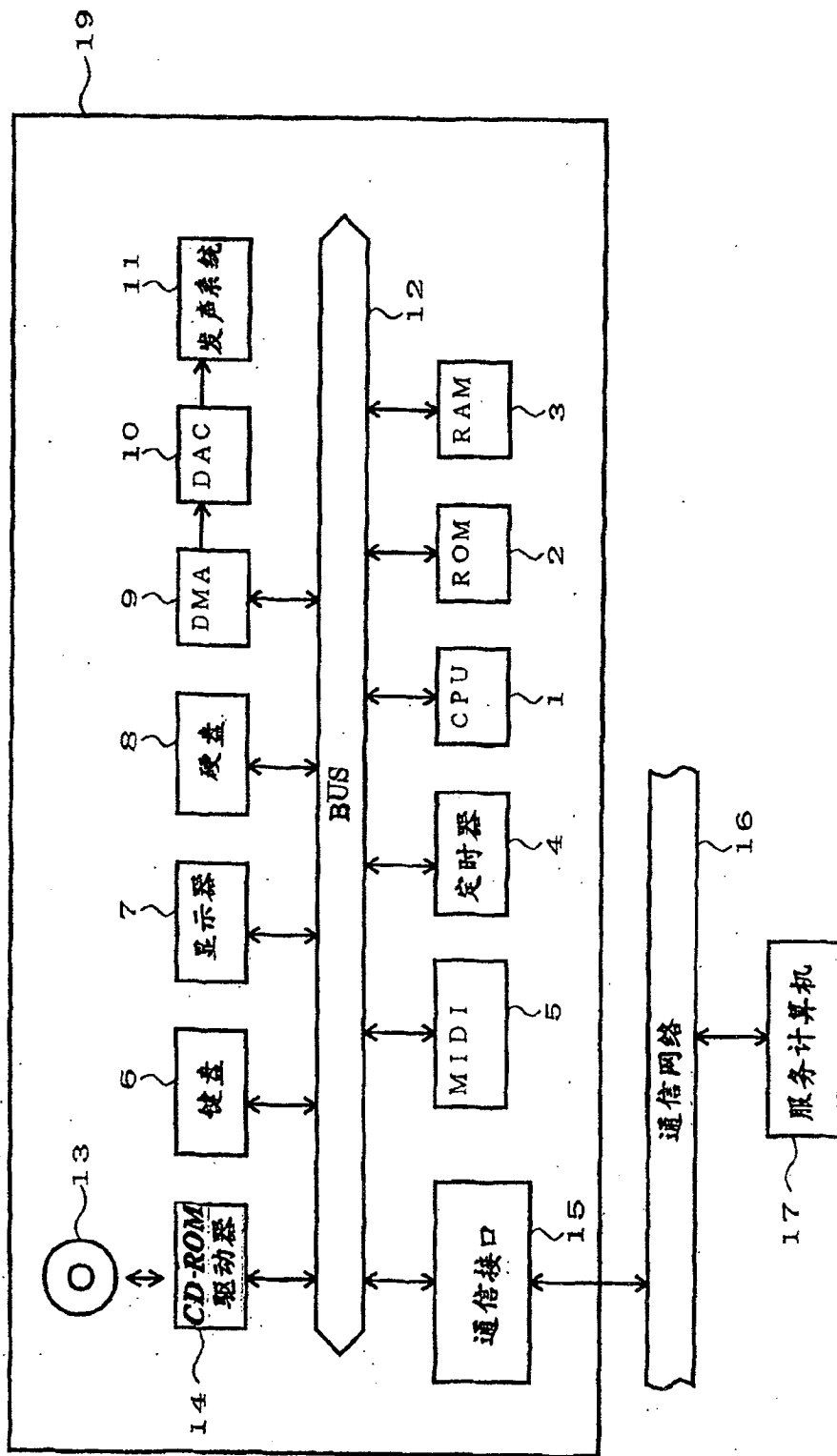


图 1

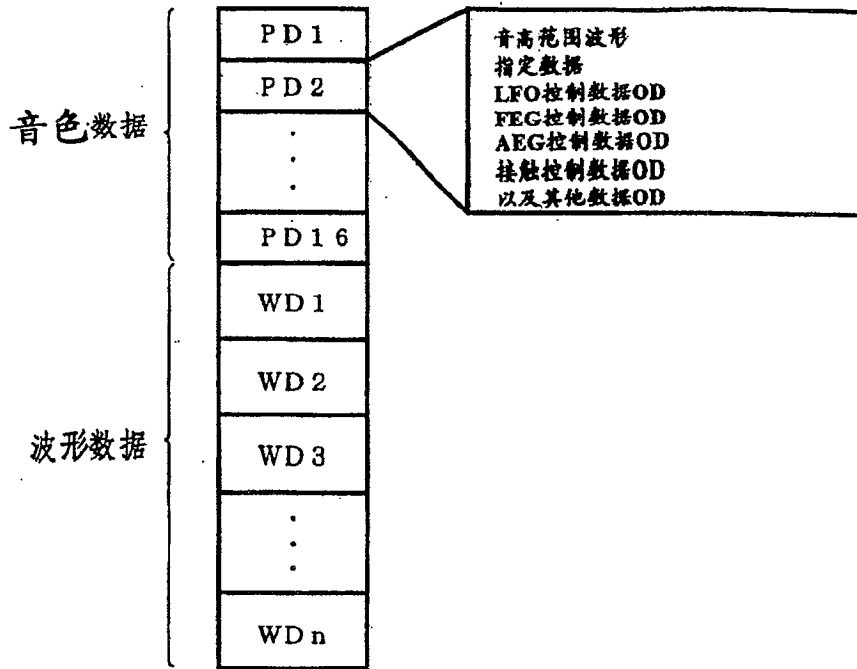


图.2

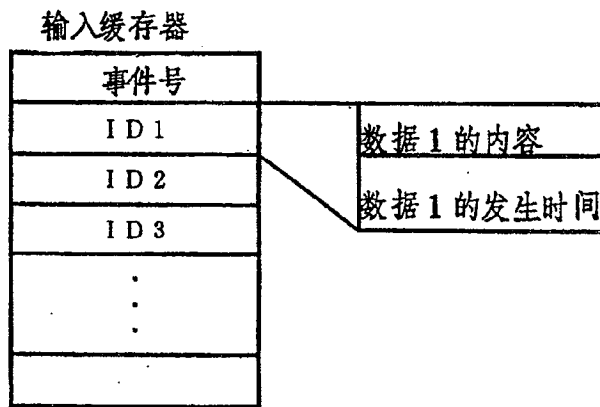


图 3

乐音发生器寄存器

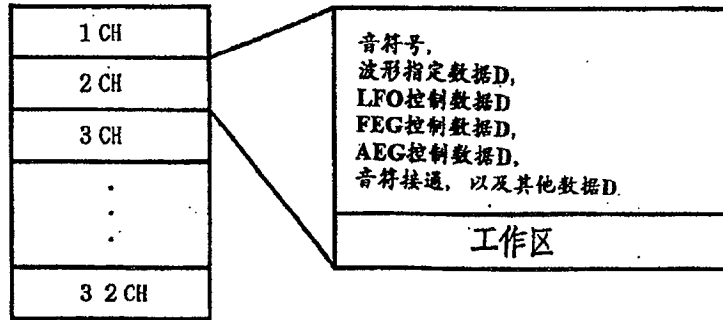


图. 4

图. 5 A
缓存器B0
(CC=0)

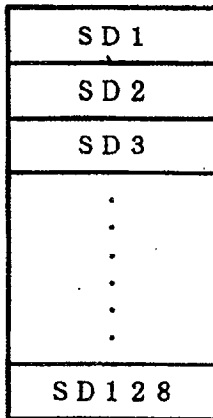


图. 5 B
缓存器B 1
(CC=1)

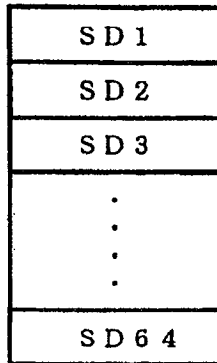
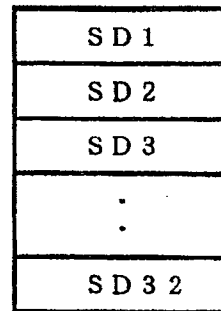


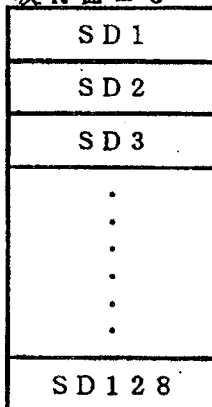
图. 5 C
缓存器B 2
(CC=2)



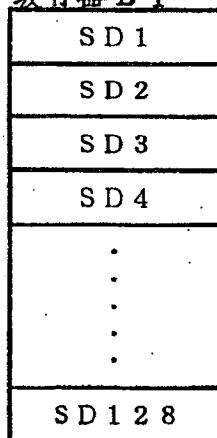
内插
↓

内插
↓

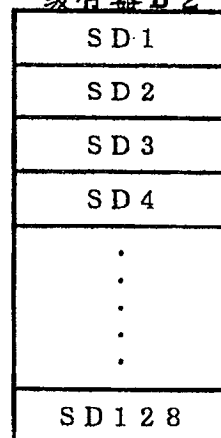
缓存器B 0



缓存器B 1'



缓存器B 2'



累积

↓为再现而保留

图. 5 F

图. 5 D

图. 5 E

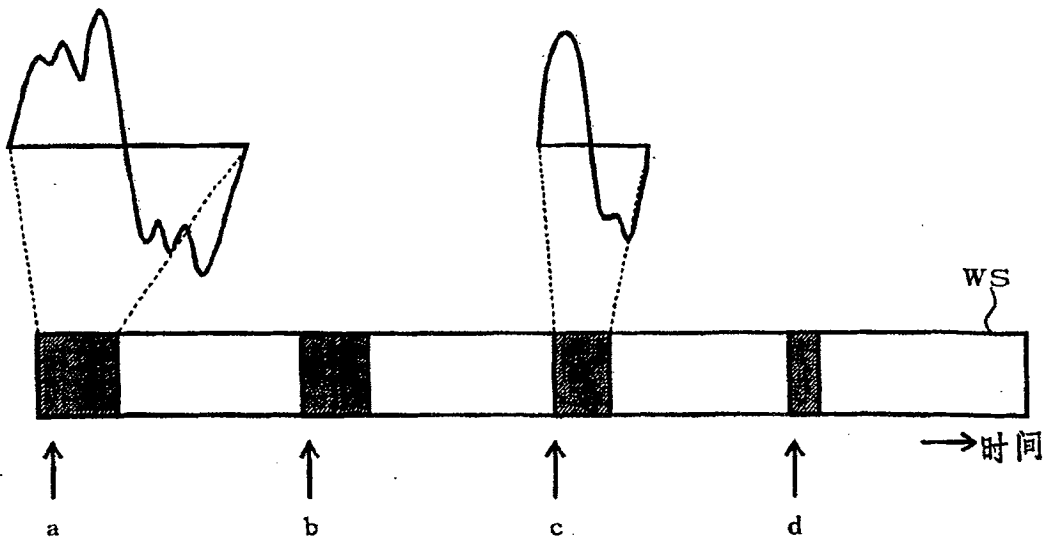


图.6

图. 7 A

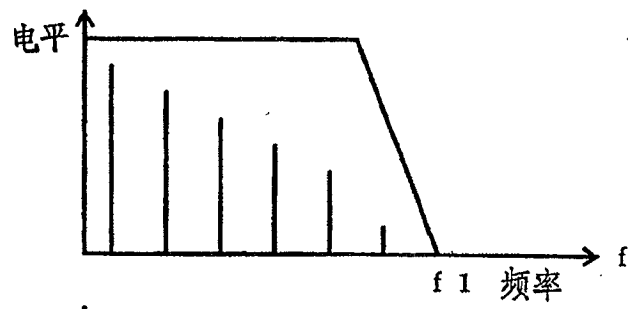


图. 7 B

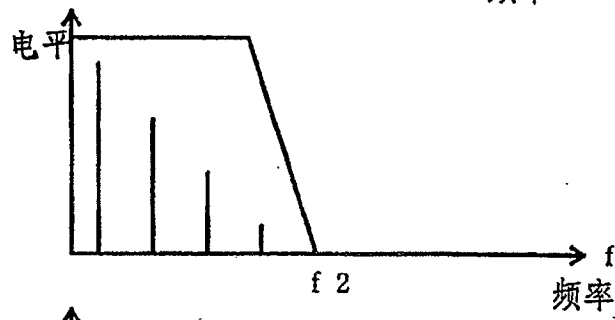


图. 7 C

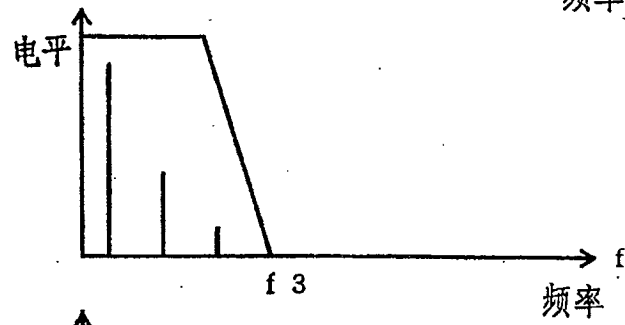
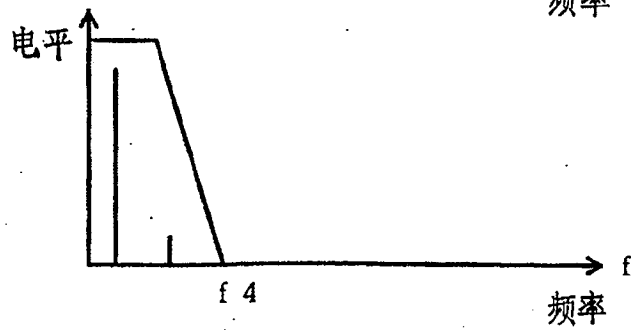


图. 7 D



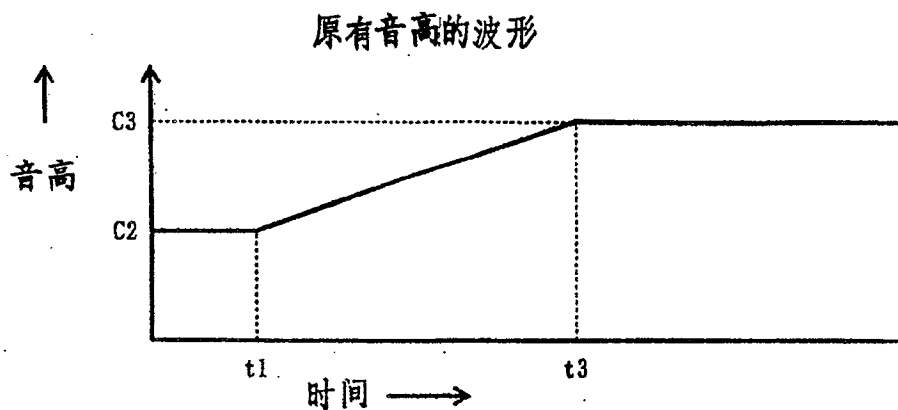


图.8

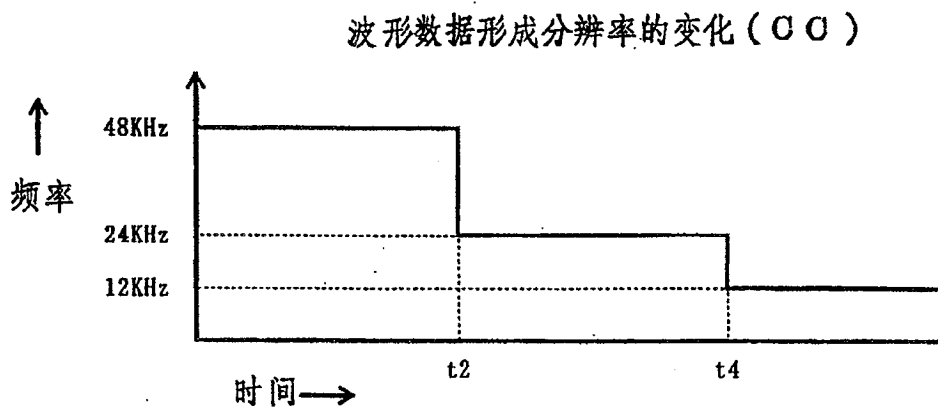


图.9

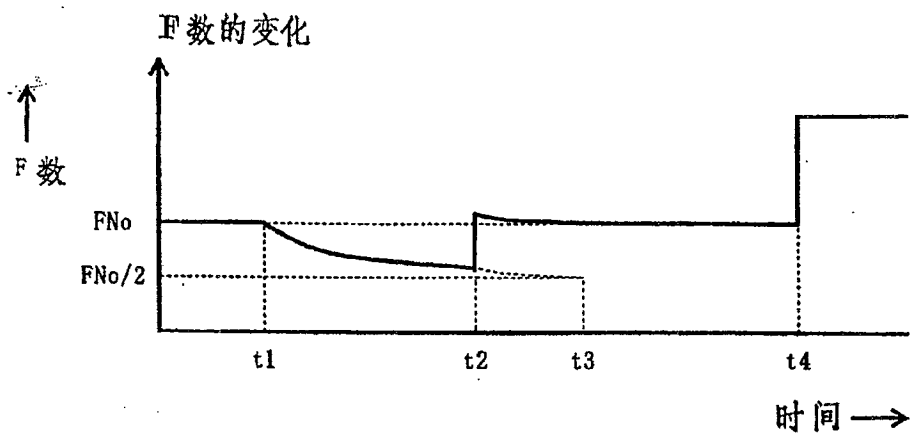


图.10

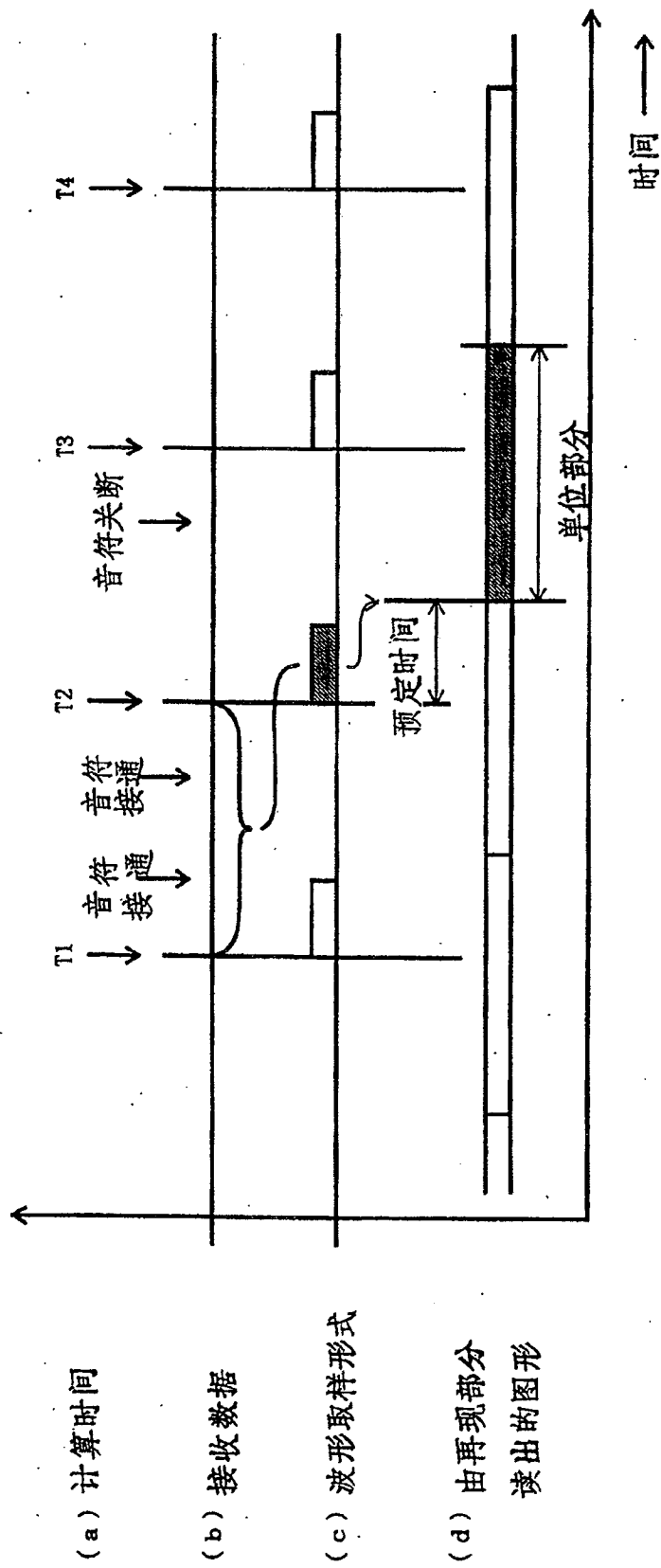


图. 11

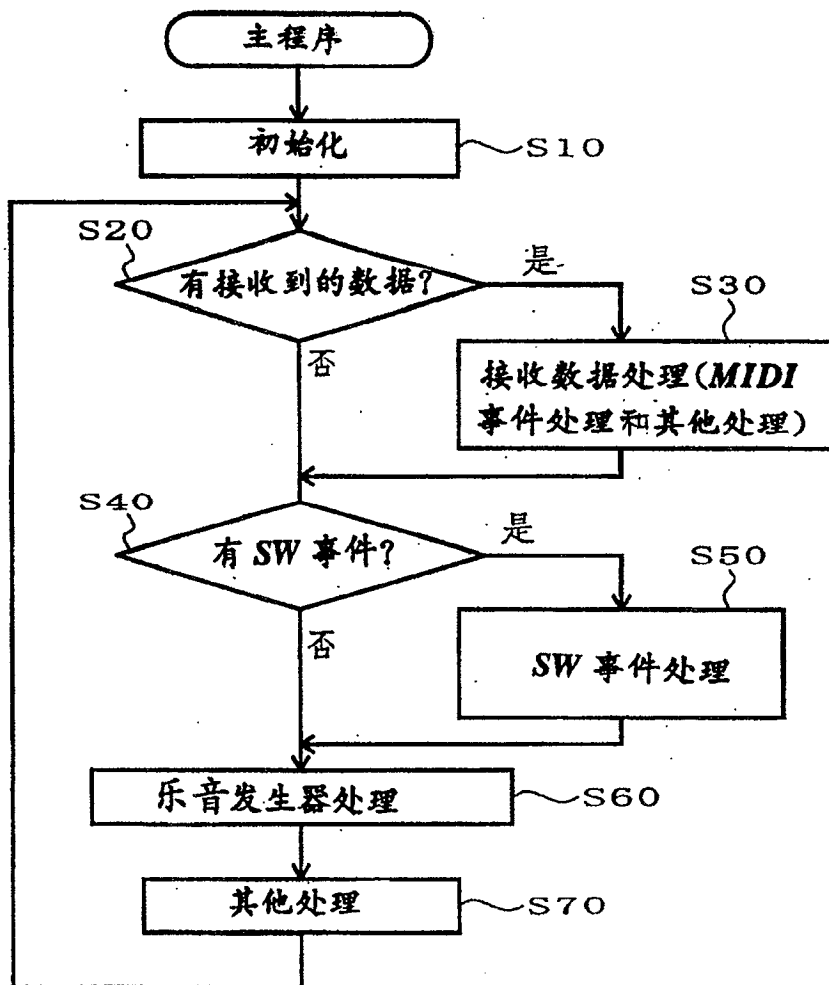


图.12

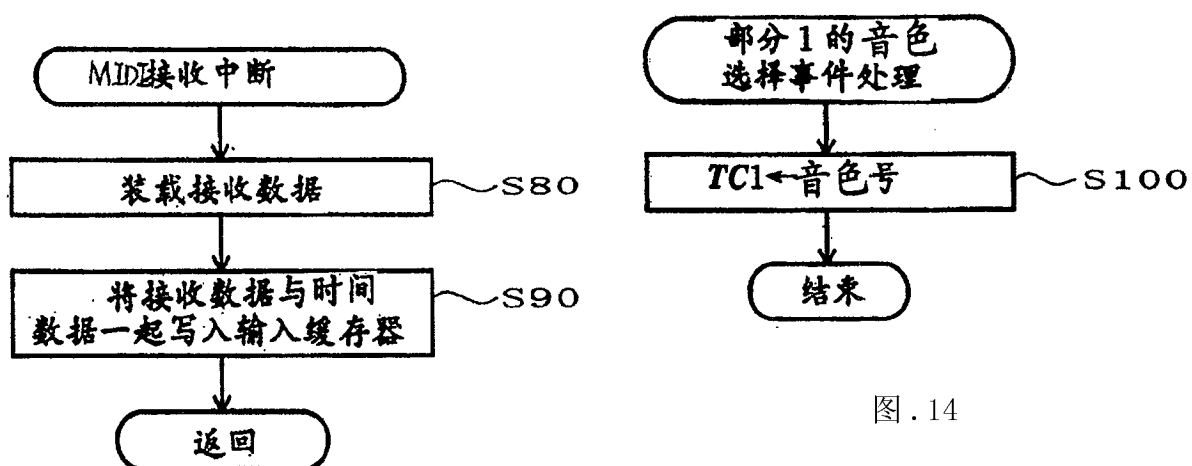


图.14

图.13

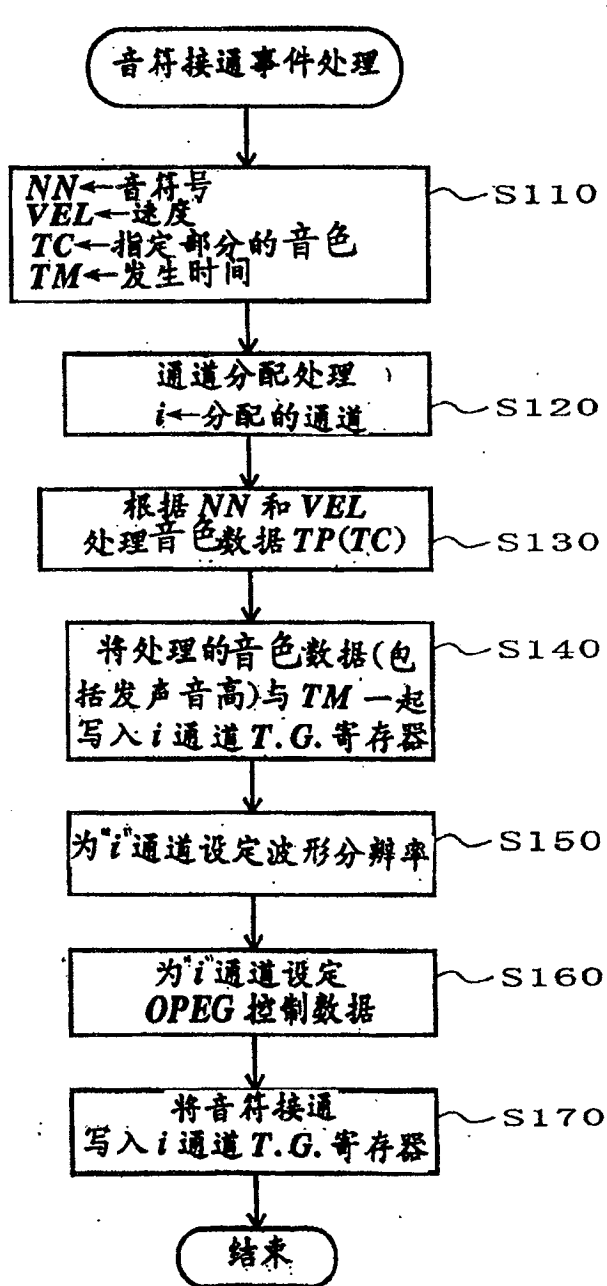


图 15A

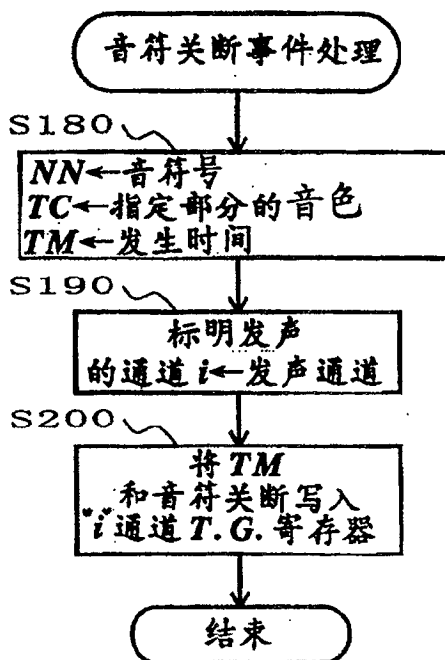


图. 15B

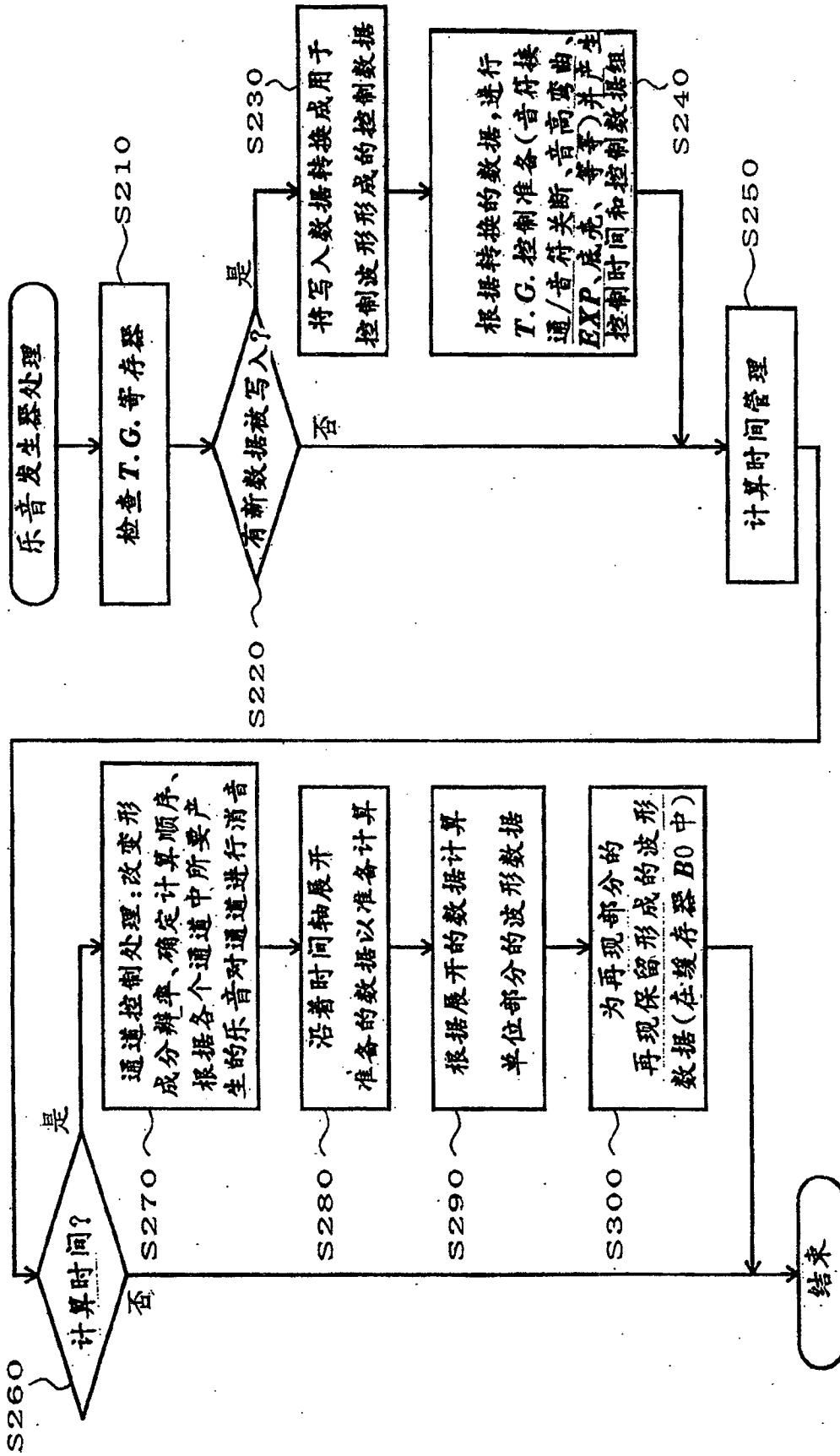


图. 16

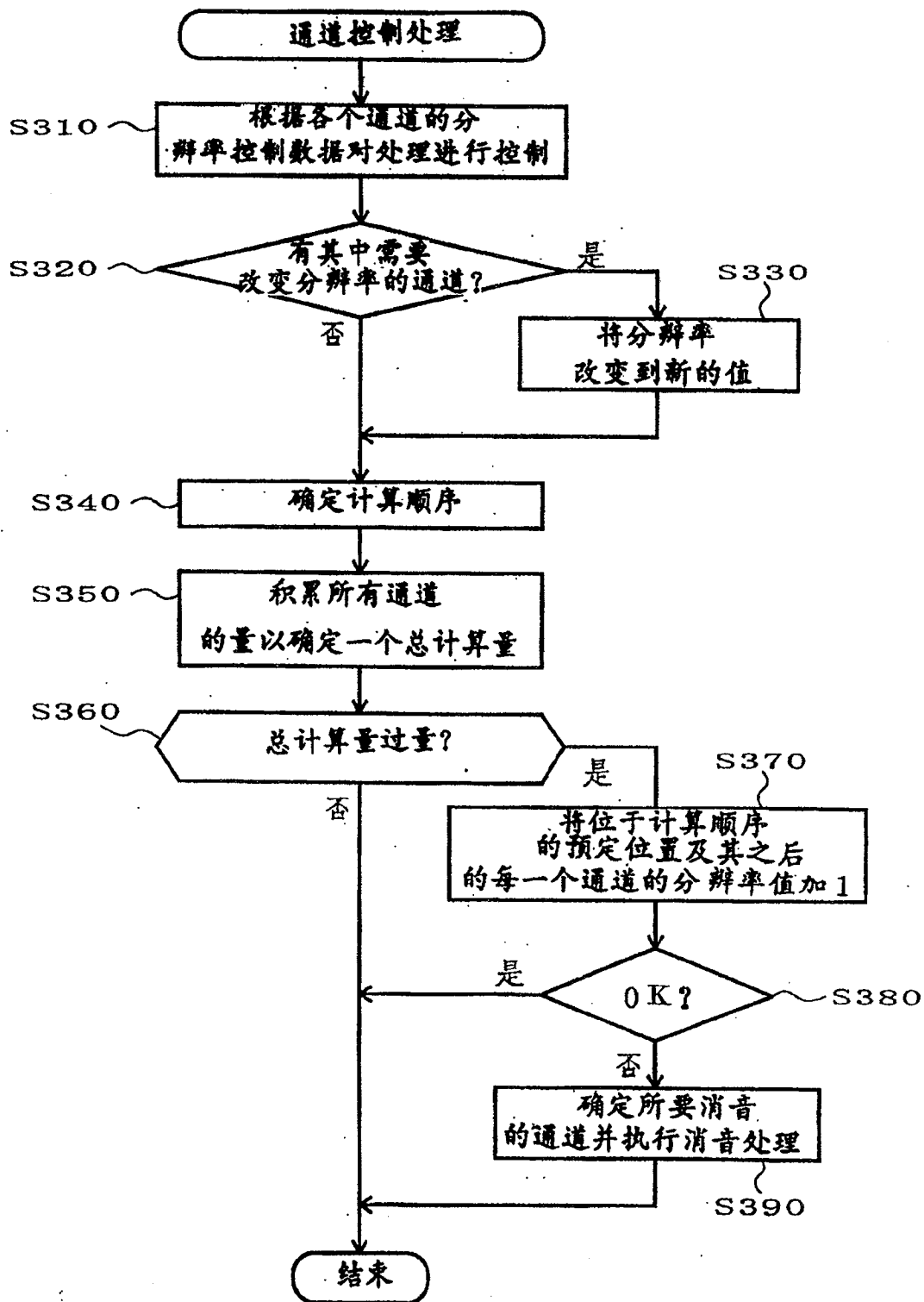


图.17

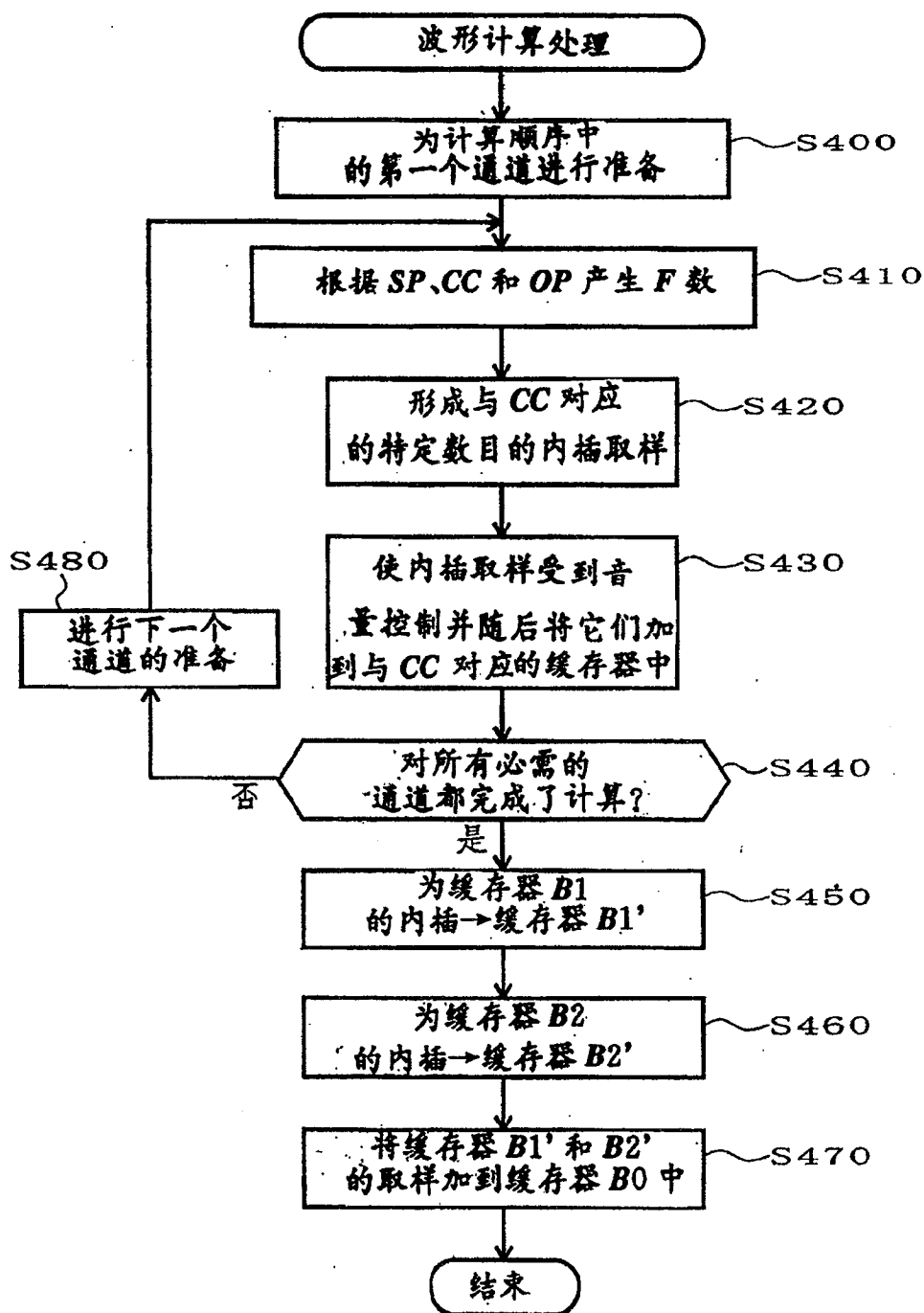


图 18

记录采样频率的变化(开关式)

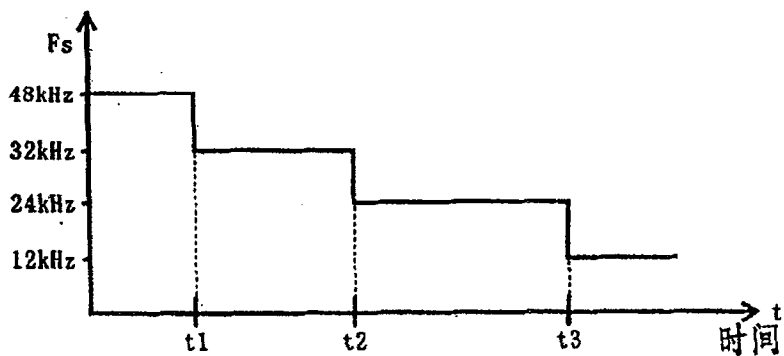


图. 19

原有音高的变化

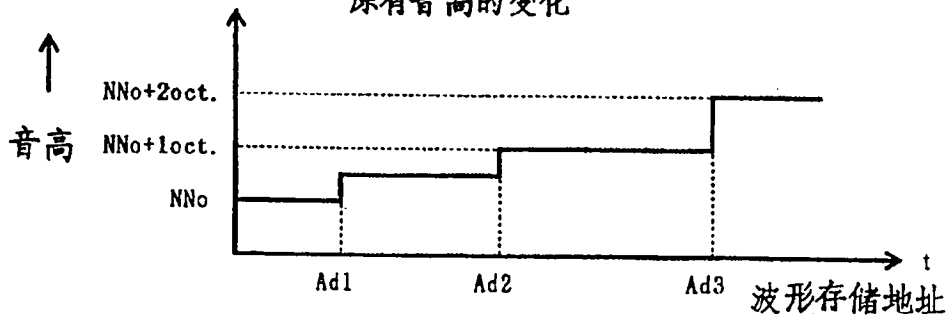


图. 20

记录采样频率的变化的另一个例子

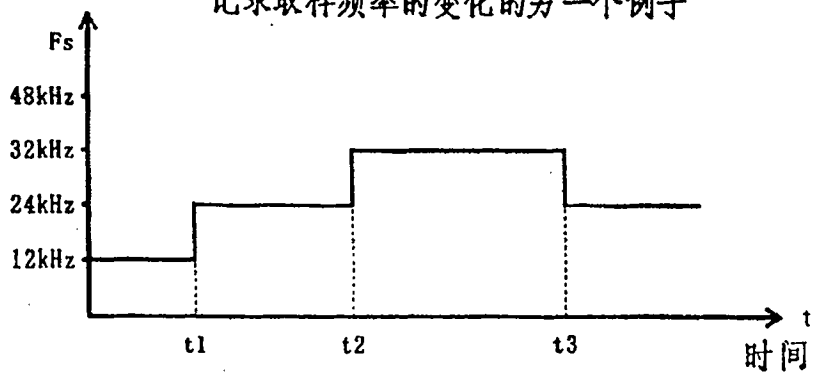


图. 21

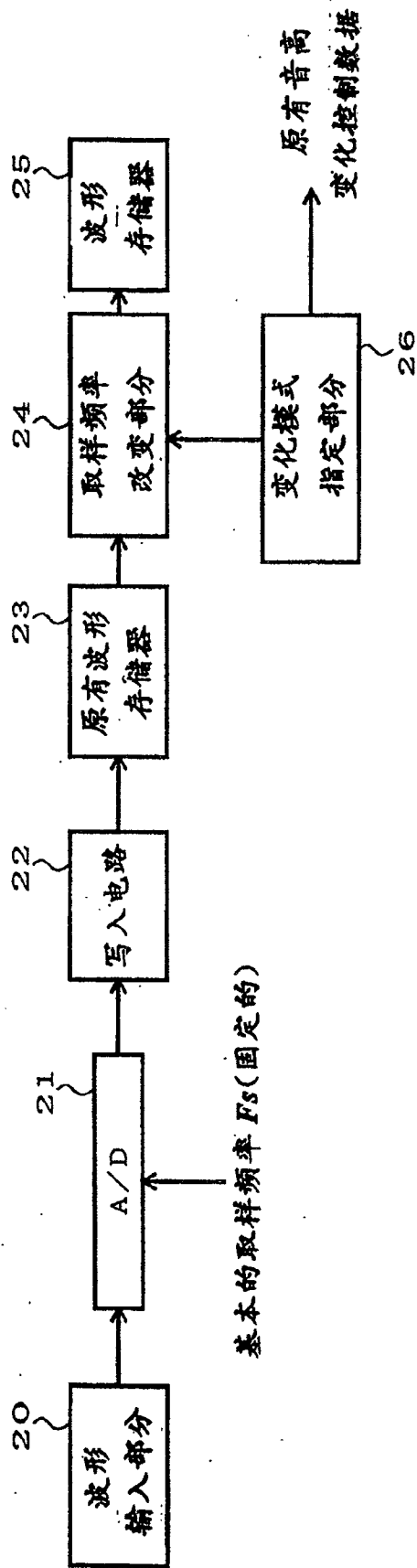


图. 22

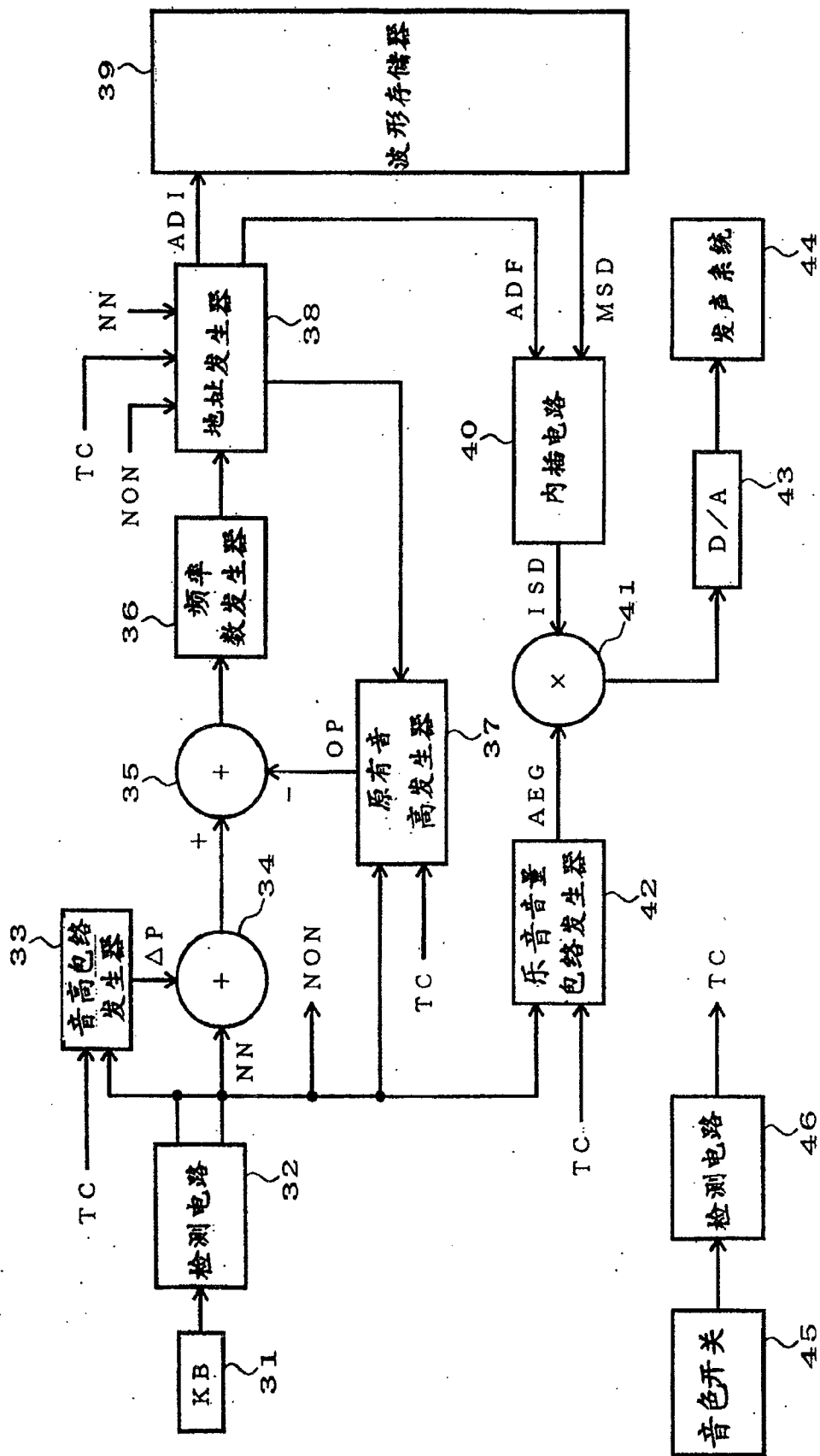


图. 23

取样频率的变化(随时间变化式)

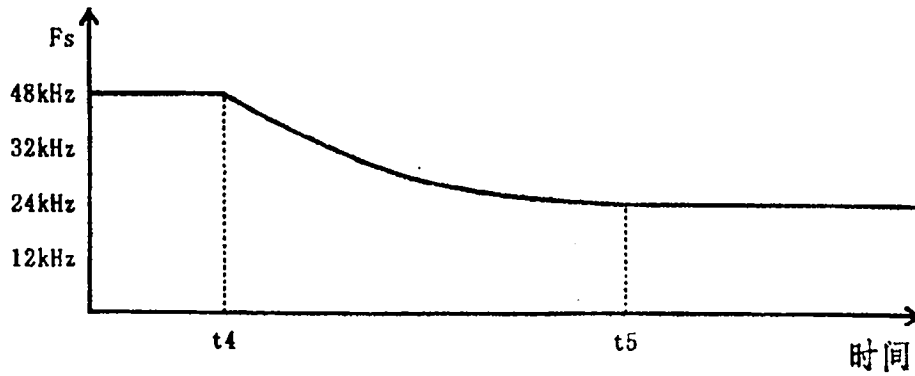


图 24

原有音高的变化

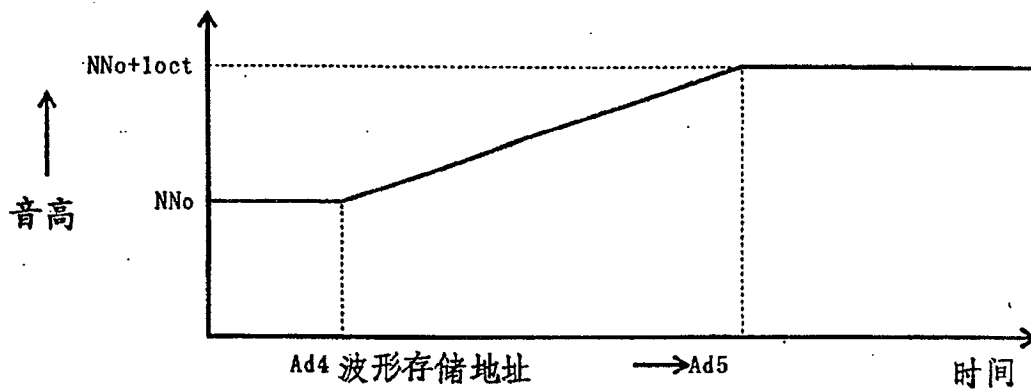


图 25