

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01H 17/00 (2006.01)

G01M 13/04 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580006288.2

[45] 授权公告日 2009年7月22日

[11] 授权公告号 CN 100516789C

[22] 申请日 2005.10.17

[21] 申请号 200580006288.2

[30] 优先权

[32] 2004.10.18 [33] JP [31] 302804/2004

[32] 2004.10.18 [33] JP [31] 302871/2004

[32] 2004.10.28 [33] JP [31] 313875/2004

[32] 2005.1.11 [33] JP [31] 004268/2005

[32] 2005.8.31 [33] JP [31] 251910/2005

[32] 2005.9.30 [33] JP [31] 289152/2005

[32] 2005.10.6 [33] JP [31] 293796/2005

[86] 国际申请 PCT/JP2005/019045 2005.10.17

[87] 国际公布 WO2006/043511 日 2006.4.27

[85] 进入国家阶段日期 2006.8.28

[73] 专利权人 日本精工株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 佐原淳太郎 武藤泰之 宫坂孝范
山添正信

[56] 参考文献

JP2004-257836A 2004.9.16

JP2004-117092A 2004.4.15

JP2002-71447A 2002.3.8

JP2-25778A 1990.1.29

JP2003-202276A 2003.7.18

US6215408B1 2001.4.10

JP4-52526A 1992.2.20

US5734579A 1998.3.31

审查员 李海霞

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 邵亚丽 李晓舒

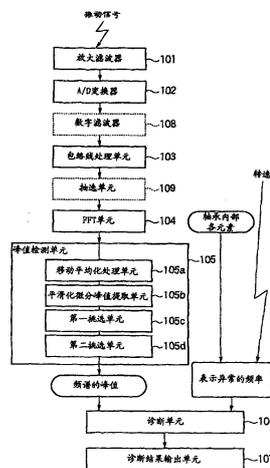
权利要求书 2 页 说明书 57 页 附图 55 页

[54] 发明名称

机械设备的异常诊断系统

[57] 摘要

一种异常诊断系统，包括：包络线处理单元(103)，求检测信号的包络线；FFT单元(104)，将包络线变换为频谱；峰值检测单元(105)，通过对频谱进行移动平均化而进行平滑化，并进一步对该频谱进行平滑微分，将微分系数的符号从正变化到负的频率点作为峰值检测，提取规定阈值以上的频率点，将它们进行分类，将其中高位的频率点作为峰值来检测；以及诊断单元(T)，基于检测出的峰值来诊断异常。



1.一种机械设备的异常诊断系统，通过检测从机械设备发生的声音或振动，并对其检测信号进行分析，从而诊断该机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常，其特征在于，该系统包括：

滤波处理单元，从所述检测出的信号中取出诊断所需的频带的信号；

包络线处理单元，求由该滤波处理单元取出的信号的包络线信号；

抽选处理单元，对由该包络线处理单元得到的包络线信号进行抽取处理；

FFT 运算单元，对由该抽选处理单元进行的抽取处理之后的包络线信号进行频率解析；以及

诊断单元，基于该 FFT 运算单元的解析结果来诊断异常。

2.如权利要求 1 所述的机械设备的异常诊断系统，其特征在于，该系统还包括使所述包络线信号的频带低频带化的数字滤波处理单元。

3.如权利要求 1 或 2 所述的机械设备的异常诊断系统，其特征在于，由 DSP 实现所述 FFT 运算单元，同时将输入所述 FFT 运算单元的数据数作为可容纳在该 DSP 内的存储器中的数据数。

4.一种机械设备的异常诊断系统，通过检测从机械设备发生的声音或振动，并对其检测信号进行分析，从而诊断该机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常，其特征在于，该系统包括：

采样处理单元，预先以比必要的采样频率高的采样频率对所述检测出的信号进行采样；

滤波处理单元，从由该采样处理单元采样出的信号中取出诊断所需的频带的信号；

抽选处理单元，对由该滤波处理单元取出的信号进行抽取处理；

包络线处理单元，求由该抽选处理单元进行了抽取处理的信号的包络线信号；

FFT 运算单元，对由该包络线处理单元得到的包络线信号进行频率解析；以及

诊断单元，基于该 FFT 运算单元的解析结果来诊断异常。

5.如权利要求 4 所述的机械设备的异常诊断系统，其特征在于，该系统还包括使所述包络线信号的频带低频带化的数字滤波处理单元。

6.如权利要求 4 或 5 所述的机械设备的异常诊断系统，其特征在于，由 DSP 实现所述 FFT 运算单元，同时将输入所述 FFT 运算单元的数据数作为可容纳在该 DSP 内的存储器中的数据数。

机械设备的异常诊断系统

技术领域

本发明涉及铁道车辆、航空机械、风力发电装置、车床、汽车、制铁机械、造纸机械、旋转机械等包含轴承的机械设备的异常诊断技术，更详细地说，涉及通过分析从机械设备发生的声音或振动来诊断该机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常的机械设备的异常诊断技术。

背景技术

以往，作为这种异常诊断技术，已知以下技术，即检测表示来自机械设备的滑动部件或滑动部件关联构件的声音或振动的信号，求检测出的信号或其包络线信号的频谱，从该频谱中仅提取由机械设备的滑动部件或机械设备的滑动部件关联构件的异常引起的频率分量，根据提取出的频率分量的大小来判断机械设备所使用的滑动部件中是否有异常（参照专利文献1）。

此外，已知以下技术，即检测从转动体或转动体关联构件发生的声音或振动，从检测出的信号中取出诊断所必需的频带的信号，进而求已取出的信号的包络线，对求出的包络线进行频率解析，通过频率解析求由旋转体或旋转体关联构件的异常引起的频率的基频分量的大小和其自然数倍的频率分量的大小，对求出的基频分量的大小和其自然数倍的频率分量的大小进行比较，至少将该比较结果用作判断机械设备的异常的基准（参照专利文献2）。

此外，已知以下技术，即将从机械设备发生的声音或振动的模拟信号通过A/D（模拟/数字）变换而变换为数字信号从而生成实测数字数据，对该实测数字数据进行频率分析以及包络线分析等适当解析处理从而生成实测频谱数据，根据有无对于由机械设备的异常引起的频率分量的1阶、2阶、4阶值的实测频谱数据的峰值，进行对于机械设备的有无异常的判断（参照专利文献3）。

此外，已知以下技术，将振动加速度的包络线波形变换为数字信号，求数字化了的振动数据的每个时间的振动频谱分布，同时时刻求振动测定时的滚动轴承的转速，在转速的时间变化图形和振动频谱分布中的峰值频谱的频

率的时间变化图形一致，而且任意时的峰值频谱的频率与根据滚动轴承的转速和滚动轴承的几何学尺寸求出的滚动轴承损伤的特征频率一致的情况下，判定为在滚动轴承的特定部位发生了损伤（参照专利文献4）。

这些专利文献中明确记载了检测表示异常的频率的峰值的方法，但在发生了轴承的剥离寿命或机械的旋转轴偏心等异常的情况下，表示这些异常的信号（异常信号）的频率的峰值可以根据频谱的累计平均来容易地求出。累计平均是由于对随机噪声的除去有效而广泛使用在快速傅立叶变换（FFT）解析等频率分析的领域中的方法。

此外，这些现有技术中，求包络线信号的处理（包络线处理）为模拟处理或数字处理，但频率解析处理使用数字处理的快速傅立叶变换（FFT）处理。为进行FFT运算，在包络线处理之前或之后进行A/D变换。而且，在任何的现有技术中，都在包络线处理之后立即进行FFT运算。

在通过模拟处理进行包络线处理的方式中，需要包络线处理单元。从而，在实现系统的成本降低以及小型化上，以数字处理进行包络线处理的方式有利。

在以数字处理进行包络线处理的方式中，作为提高异常诊断效率的方法，考虑提高FFT运算的效率的方法。FFT运算的效率提高可以通过减少FFT运算的点数来实现。

进而，已知利用振动（包含音响的振动）来检测铁道车辆的车轴用轴承或车轮的损伤的异常诊断装置。现有的这种异常诊断装置在每个轴箱中分别设置振动传感器，对各个轴承或车轮的损伤进行检测（参照专利文献5、专利文献6等）。

以往，铁道车辆的旋转部件在使用了一定期间之后，对于车辆轴承和其它旋转部件定期地检查有无损伤和磨损等异常。该定期的检查通过将组装了旋转部件的机械装置分解来进行，通过作业者目视的检查来发现旋转部件上发生的损伤和磨损。而且，作为检查中被发现的主要的缺陷，在轴承的情况下，有异物啮入等产生的压痕、旋转疲劳引起的剥离及其它磨损等，在齿轮的情况下，有齿部的缺损和磨损等，在车轮的情况下，有扁平等的磨损，在任意的情况下，如果发现新品上所没有的凹凸或磨损等，就更更换为新品。

但是，在将机械设备整体进行分解并由作业者目视检查的方法中，从装置取下旋转体和滑动部件的分解作业、将检查过的旋转体和滑动部件再次重

新组装入装置中的组装作业需要很大的劳动力，存在引起装置的维护成本的大幅增加的问题。

此外，存在重新组装时对旋转体和滑动部件产生检查前没有的撞痕等、检查本身成为旋转体或滑动部件的缺陷的可能性。此外，由于在有限的时间内通过目视检查多个轴承，因此也存在漏发现缺陷的可能性的问题。进而，该缺陷的程度的判断也存在个人差异，即使实质上没有缺陷也进行部件更换，因此白白地消耗成本。

因此，提出一种不对组装了旋转部件的机械装置进行分解而在实际运转状态下进行旋转部件的异常诊断的方法（例如，专利文献 1、7 以及 8）。作为最一般的方法，如专利文献 1 所记载的，已知对轴承部分设置加速度计，计量轴承部分的振动加速度，进而对该信号进行 FFT（快速傅立叶变换）处理并提取振动发生频率分量的信号从而进行诊断的方法。

此外，作为在铁道车辆的车轮的转动面上，由制动器的误操作等引起的车轮的闷锁或滑行引起的与轨道的摩擦、磨损而产生的被称作扁平（flat）的平坦部分的检测方法，也提出了各种方案（例如，参照专利文献 6、9 以及 10）。特别在专利文献 6 中，对于通过振动传感器和旋转测定装置等对铁道车辆车轮以及列车通过的线路的缺陷状态进行检测的装置进行了提案。

专利文献 1：特开 2003-202276 号公报

专利文献 2：特开 2003-232674 号公报

专利文献 3：特开 2003-130763 号公报

专利文献 4：特开平 09-113416 号公报

专利文献 5：特开平 4-235327 号公报

专利文献 6：特开平 9-500452 号公报

专利文献 7：特开 2002-22617 号公报

专利文献 8：特开 2004-257836 号公报

专利文献 9：特开平 4-148839 号公报

专利文献 10：特表 2003-535755 号公报

但是，振动传感器和音响传感器中，由于在来自外部的冲击声或摩擦声、振动体的情况下，回转引起的加速度作用，因此由于这些非稳定的干扰，异常被误检测的情况较多。因此通过累计平均对频率的峰值的检测方法在累计次数增多时，由于容易受到速度的变化或来自外部的冲击声等的影响，所以

有时也没有效。

此外，在到达寿命前的小的伤、剥离、锈等引起的异常的情况下，来自振动传感器或音响传感器的信号的功率很多情况下小到被埋没于机械噪声或电噪声中的程度。因此在寿命以前的异常预测阶段中，很多情况下不使用设置阈值来仅提取比该值功率大的信号的方法。在进行异常的预测上，最麻烦的问题在于，在像这样异常信号或表示异常的预兆的信号（异常预兆信号）和噪声信号的 S/N 比小的情况下，将噪声信号误判断为异常信号或异常预兆信号。极小的异常信号或异常预兆信号也被漏发现的情况在提高轴承等的异常预测的准确性上有利，但其结果，如果将噪声信号误判定为异常信号或异常预兆信号，则频繁地将机械设备停止运转来进行检查，因此引起运转成本的增大。

此外，要减少 FFT 运算的点数来提高计算效率时，频率分辨率变差，存在引起异常诊断的精度降低的问题。

进而，在以数字处理进行包络线处理的方式中，作为提高异常诊断效率的方法，考虑提高 FFT 运算的效率的方法。FFT 运算的效率提高可通过减少 FFT 运算的点数来实现。但是，要减少 FFT 运算的点数来提高计算效率时，频率分辨率变差，存在引起异常诊断的精度降低的问题。

在旋转机械中，用于诊断轴承缺陷等引起的异常的运算装置其尺寸或消耗功率越小则越适于组装用。此外，从计算精度的方面或是存储器容量的方面，要求以少的运算点数进行 FFT。但是，另一方面，如上所述，如果频率分辨率不高到某一程度则引起异常诊断的精度降低。即使需要将可以恢复原波形的频率设为 10kHz（采样频率为 20kHz 以上）以下，结果轴承的缺陷频率的上限也为 1kHz 以下。

但是，在以往的异常诊断装置中，由于需要在每个轴箱中分别设置振动传感器，因此每个车辆的传感器的设置数变多，用于处理传感器信号的信号处理单元的输入电路和布线的数庞大，存在电路结构复杂的问题。

但是，在专利文献 6 中记载的缺陷状态的检测装置中，存在不能识别异常振动是车辆的扁平引起的，还是车轴轴承引起的，或者是线路或其它异常引起的。

本发明鉴于上述情况而完成，其目的在于提供一种机械设备的异常诊断系统，在异常信号或异常预兆信号和噪声信号的 S/N 小的条件下，也可以高精度地实施异常诊断而不会将噪声信号误检测为异常或异常预兆信号。

本发明鉴于上述情况而完成，其目的在于提供一种机械设备的异常诊断系统，兼顾来自机械设备的信号的频率分辨率的提高和 FFT 运算的效率提高，可以高精度且高效率地实施异常诊断。

本发明鉴于上述情况而完成，其目的在于提供一种机械设备的异常诊断系统，以任意的频率分辨率对从诊断对象检测出的信号进行 FFT 从而可以高精度地实施异常诊断。

本发明鉴于上述情况而完成，其目的在于提供一种异常诊断系统，对每台车辆仅设置一个振动传感器，可以基于来自这一个振动传感器的波形信号，检测该车辆中的轴承的剥离、车轮的扁平异常。

本发明鉴于上述情况而完成，其目的在于提供一种异常诊断系统，根据来自对车轴轴承或车轮的振动的振动传感器的输出信号来检测车轴轴承以及车轮的异常振动，从而确定该异常振动是车轮的扁平引起的还是车轴轴承引起的。

为了实现上述目的，本发明的机械设备的异常诊断系统的以下述 (1) 至 (3) 为特征。

(1) 一种异常诊断系统，通过检测从机械设备发生的声音或振动，并对其检测信号进行分析，从而诊断机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常，该系统包括：

包络线处理单元，求所述检测信号的包络线；

FFT 单元，将由该包络线处理单元得到的包络线变换为频谱；

峰值检测单元，通过对由该 FFT 单元得到的频谱进行移动平均化处理而进行平滑化，从而检测其峰值；以及

诊断单元，基于由所述峰值检测单元检测出的频谱的峰值来诊断异常。

(2) 在上述 (1) 的结构异常诊断系统中，所述峰值检测单元包括平滑化微分峰值提取单元，该单元对由所述 FFT 单元得到的频谱实施平滑化微分处理，将得到的微分值的符号变化的频率点提取作为频谱的峰值。

(3) 在上述 (1) 或 (2) 的结构异常诊断系统中，所述移动平均化处理中的加权系数为左右对称 (以当前时刻为基准，前后对象)。

(4) 在上述(2)或(3)的结构的异常诊断系统中,所述峰值检测单元包括第一挑选单元,该单元挑选由所述平滑化微分峰值提取单元提取出的峰值中阈值以上的峰值。

(5) 在上述(4)的结构的异常诊断系统中,所述峰值检测单元包括第二挑选单元,该单元在由所述第一挑选单元挑选过的峰值中从振幅等级大的峰值中挑选直到规定个数的峰值。

(6) 在上述(1)~(5)的任何结构的异常诊断系统中,所述诊断单元通过求由所述峰值检测单元检测出的峰值中振动的主分量所对应的峰值或振动的主分量以及高阶分量所对应的峰值和表示诊断对象的异常的频率的一致度,并对该一致度的多次的累计结果进行评价,从而诊断异常。

(7) 一种机械设备的异常诊断系统,通过检测从机械设备发生的声音或振动,并对其检测信号进行分析,从而诊断该机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常,该系统包括:滤波处理单元,从所述检测出的信号中取出诊断所需的频带的信号;包络线处理单元,求由该滤波处理单元取出的信号的包络线信号;抽选处理单元,对由该包络线处理单元得到的包络线信号进行抽取处理;

FFT 运算单元,对由该抽选处理单元进行的抽取处理之后的包络线信号进行频率解析;以及诊断单元,基于该 FFT 运算单元的解析结果来诊断异常。

(8) 一种机械设备的异常诊断系统,通过检测从机械设备发生的声音或振动,并对其检测信号进行分析,从而诊断该机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常,该系统包括:采样处理单元,预先以比必要的采样频率高的采样频率对所述检测出的信号进行采样;滤波处理单元,从由该采样处理单元采样出的信号中取出诊断所需的频带的信号;抽选处理单元,对由该滤波处理单元取出的信号进行抽取处理;包络线处理单元,求由该抽选处理单元进行了抽取处理的信号的包络线信号;FFT 运算单元,对由该包络线处理单元得到的包络线信号进行频率解析;以及诊断单元,基于该 FFT 运算单元的解析结果来诊断异常。

(9) 在上述(7)或(8)的结构的异常诊断系统中,该系统还包括使所述包络线信号的频带低频带化的数字滤波处理单元。

(10) 在上述(7)、(8)或(9)的结构的异常诊断系统中,由 DSP 实现所述 FFT 运算单元,同时将输入所述 FFT 运算单元的数据数设为可容纳在

该 DSP 内的存储器中的数据数。

(11) 一种机械设备的异常诊断系统, 通过检测从机械设备发生的声音或振动, 并对该信号进行分析, 从而诊断机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常, 其特征在于, 该系统包括: A/D 变换单元, 将所述信号变换为数字信号; 数字滤波处理单元, 从由该 A/D 变换单元变换过的数字信号中取出诊断所需的频带的信号; 包络线处理单元, 求由该数字滤波处理单元取出的信号的包络线; 插补处理单元, 进行 0 补位插补, 以便以任意的频率分辨率对由该包络线处理单元求出的包络线进行快速傅立叶变换; FFT 单元, 对由该插补处理单元进行了 0 补位插补的信号进行快速傅立叶变换; 以及诊断单元, 基于由该 FFT 单元得到的频谱来诊断异常。

(12) 在上述 (11) 的结构异常诊断系统中, 所述插补处理单元进行 0 补位插补, 以使所述 FFT 单元中的采样频率成为 2 的 N 次方赫兹或 2 的 N 次方的倍数赫兹。

(13) 在上述 (11) 或 (12) 的结构异常诊断系统中, 该系统还包括对由所述 FFT 单元得到的频谱的峰值进行检测的峰值检测单元, 所述诊断单元通过求由所述峰值检测单元检测出的峰值中振动的主分量所对应的峰值或振动的主分量以及高阶分量所对应的峰值和表示诊断对象的异常的频率的一致度, 并对该一致度的多次的累计结果进行评价, 从而诊断异常。

(14) 一种异常诊断装置, 在车辆的行驶中诊断异常, 该装置包括: 振动传感器, 检测车辆的振动; 参数值检测电路, 基于所述振动传感器输出的波形信号, 求波峰因数、冲击指数、波形系数以及峰态中的其中一个的量纲为 1 的参数值; 以及比较电路, 输出表示从所述参数值检测电路输出的量纲为 1 的参数值超过一定的基准的情况的第一电压信号或表示所述量纲为 1 的参数值为一定基准以下的情况的第二电压信号, 基于所述比较电路的输出检测异常。

(15) 一种异常诊断装置, 在车辆的行驶中诊断异常, 该装置包括: 振动传感器, 检测车辆的振动; 运算电路, 基于所述振动传感器输出的波形信号, 求 RMS (方均的平方根) 以及绝对值平均的其中一个的参数值; 峰值检测电路, 求所述波形信号的峰值; 以及比较电路, 将所述参数值的一定倍的值和从所述峰值检测电路输出的峰值进行比较, 根据其比较结果, 将表示作为所述峰值和所述参数值的比求出的量纲为 1 的参数值超过一定的基准的情

况的第一电压信号或表示所述量纲为 1 的参数值为一定基准以下的情况的第二电压信号输出, 基于所述比较电路的输出来检测异常。

(16) 在上述 (15) 的结构异常诊断系统中, 该装置还包括将从所述峰值检测电路输出的峰值和预先设定的参照值进行比较的峰值-参照值比较电路, 所述峰值-参照值比较电路的比较结果, 在所述峰值大于所述参照值的情况下, 使所述比较电路的输出无效。

(17) 在上述 (14) ~ (16) 的任意结构的异常诊断系统中, 基于所述第一电压信号的占空比来检测异常。

(18) 在上述 (15) ~ (17) 的任意结构的异常诊断系统中, 该装置还包括滤波电路, 用于将所述振动传感器的输出信号中仅规定频带的信号输入到所述参数值检测电路以及所述峰值检测电路。

(19) 在上述 (14) ~ (18) 的任意结构的异常诊断系统中, 所述车辆是铁道车辆。

(20) 一种异常诊断装置, 是具有振动特性不同的多个部件的机械装置的异常诊断装置, 其特征在于, 该异常诊断装置包括: 传感器信号处理单元, 对检测所述机械装置的振动的振动传感器的输出信号进行采样; 以及诊断处理单元, 基于由所述传感器信号处理单元采样的振动数据来进行异常诊断, 所述诊断处理单元连续取入来自所述传感器信号处理部件的振动数据, 同时分割为每一定周期的区间, 将 1 区间的振动数据作为用于第一振动特性的部件诊断的振动数据来进行处理, 同时将在 1 区间的振动数据的前端接上其前一个区间的最后的规定时间的数据的数据作为用于第二振动特性的部件诊断的振动数据来进行处理。

(21) 一种异常诊断装置, 是铁道车辆的车辆轴承以及车轮的异常诊断装置, 其特征在于, 该异常诊断装置包括: 传感器信号处理单元, 对检测车轴轴承以及车轮的振动的振动传感器的输出信号进行采样; 以及诊断处理单元, 基于由所述传感器信号处理单元采样的振动数据来进行车轴轴承以及车轮的异常诊断, 所述诊断处理单元连续取入来自所述传感器信号处理部件的振动数据, 同时分割为每一定周期的区间, 将 1 区间的振动数据作为用于轴承诊断的振动数据来进行处理, 同时将在 1 区间的振动数据的前端接上其前一个区间的最后的规定时间的数据的数据作为用于车轮诊断的振动数据来进行处理。

(22) 在上述(21)的异常诊断系统中,其特征在于,所述诊断处理单元基于车轴轴承的转速和对振动的包络线波形进行处理而得到的频率峰值来检测车轴轴承的异常,基于与车轮的旋转同步产生的振动的等级超过阈值的频度来检测车轮的异常,基于各个异常的检测结果进行异常诊断。

(23) 在上述(21)~(22)的任意的异常诊断系统中,其特征在于,所述信号处理部件将多个振动传感器的输出信号各切换一个信道来进行采样。

(24) 在上述(21)或(23)的异常诊断系统中,其特征在于,基于与车轮的旋转同步对振动传感器的输出信号进行采样并进行加法平均处理而得到的振动数据来进行车轴轴承以及车轮的异常诊断。

(25) 一种异常诊断装置,是具有振动特性不同的多个部件的机械装置的异常诊断装置,其特征在于,该异常诊断装置包括:传感器信号处理单元,对检测所述机械装置的振动的振动传感器的输出信号进行采样;以及诊断处理单元,基于由所述传感器信号处理单元采样的振动数据来进行异常诊断,所述诊断处理单元连续取入来自所述传感器信号处理部件的振动数据,同时将其变换为用于第一振动特性的部件诊断和用于第二振动特性的部件诊断的采样频率或采样长度不同的两种数据来进行处理。

(26) 一种异常诊断装置,是铁道车辆的车轴轴承以及车轮的异常诊断装置,其特征在于,该异常诊断装置包括:传感器信号处理单元,对检测所述机械装置的振动的振动传感器的输出信号进行采样;以及诊断处理单元,基于由所述传感器信号处理单元采样的振动数据来进行异常诊断,所述诊断处理单元连续取入来自所述传感器信号处理部件的振动数据,同时将其变换为用于车轴轴承诊断和用于车轮诊断的采样频率或采样长度不同的两种数据来进行处理。

(27) 上述(22)、(23)、(24)、(26)的任意的异常诊断装置,其特征在于,对于车轴轴承和车轮分别实施多次异常检测,根据各自的多次的累计值统计性地进行异常诊断。

(28) 上述(20)~(27)的任意的异常诊断装置,其特征在于,该装置具有保存在检测异常时所使用的数据的功能。

(29) 一种异常诊断装置,是具有旋转或滑动的部件的机械装置的异常诊断装置,其特征在于,该装置包括:AD变换器,将来自检测所述机械装置

的振动的振动传感器的模拟信号变换为数字信号；以及诊断处理单元，将来自该 AD 变换器的数字信号进行傅立叶变换处理，基于其结果来进行异常诊断，所述诊断处理单元比所述 AD 变换器的分辨率还扩展数据宽度对来自所述 AD 变换器的数字信号来进行傅立叶变换处理。

(30) 一种异常诊断装置，是具有旋转或滑动的部件的机械装置的异常诊断装置，其特征在于，该装置包括：AD 变换器，将来自检测所述机械装置的振动的振动传感器的模拟信号变换为数字信号；以及诊断处理单元，将来自该 AD 变换器的数字信号进行傅立叶变换处理，基于其结果来进行异常诊断，诊断处理单元使所述 AD 变换器的分辨率为 1 位，将其扩展为 2 位以上的规定的的数据宽度来进行傅立叶变换处理。

(31) 一种异常诊断装置，是具有旋转或滑动的部件的机械装置的异常诊断装置，其特征在于，该装置包括比较器，将来自对所述机械装置的振动进行检测的振动传感器的模拟信号的电压和参照电压进行比较，从而输出用于表示该模拟信号的电压比参照电压高还是低的二值的信号，所述诊断处理单元将来自所述比较器的信号扩展为规定的的数据宽度来进行傅立叶变换处理。

根据上述 (1) 的结构异常诊断系统，由于检测从机械设备发生的声音或振动，求该检测信号的包络线，将该包络线变换为频谱，通过将得到的频谱移动平滑而平滑化的基础上，检测其峰值，基于检测出的峰值来诊断异常，所以在异常信号或异常预兆信号和噪声信号的 S/N 小的条件下，也可以高精度地实施异常诊断而不会将噪声信号误检测为异常或异常预兆信号。

根据上述 (2) 的结构异常诊断系统，由于对频谱实施平滑化微分处理（即，以相同的点为中心，多个区间的差分和区间长的积和），将该微分值的符号变化的频率点提取作为频谱的峰值，所以可以高精度地进行被埋在噪声中的频谱的峰值检测。

根据上述 (3) 的结构异常诊断系统，由于移动平均化处理中的加权系数左右对称，所以可以防止将噪声信号错误地检测为异常信号或异常预兆信号。

根据上述 (4) 的结构异常诊断系统，由于挑选被提取出的峰值中振幅等级为阈值以上的峰值，所以可以高精度地进行被埋在噪声中的频谱的峰值检测。

根据上述(5)的结构的异常诊断系统,由于在振幅等级为阈值以上的峰值中,从振幅等级的方均平方根大的峰值中挑选直到规定个数为止的峰值,所以限制在进行异常诊断上有效的峰值,可以高精度且高效率地进行异常诊断。

根据上述(6)的结构的异常诊断系统,由于通过求检测出的频谱的峰值中振动的主分量所对应的峰值或振动的主分量以及高阶分量所对应的峰值和表示诊断对象的异常的频率的一致度,并对该一致度的多次的累计结果进行评价,从而诊断异常,所以可以高精度地实施异常诊断。根据上述(7)的结构的异常诊断系统,由于在包络线处理置换进行信号的抽取处理,减少用于包络线波形解析的FFT运算的点数,所以兼顾检测出的信号的频率分辨率的提高和FFT运算的效率提高,可以高精度且高效率地实施轴承的异常诊断。

根据上述(8)的结构的异常诊断系统,由于将检测出的信号的A/D变换时的采样率设定得高之后进行频带限制以及抽取处理,因此可以省略抗混淆(anti-aliasing)滤波器,在包络线处理后进行信号的抽取处理,减少用于包络线波形解析的FFT运算的点数,所以兼顾被检测出的信号的频率分辨率的提高和FFT运算的效率提高,可以高精度且高效率地实施轴承的异常诊断。

根据上述(9)的结构的异常诊断系统,由于通过进行使包络线信号的频带低频带化的数字滤波处理,从而可以抑制混淆等的影响而可靠地执行低频带的FFT运算处理。

根据上述(10)的结构的异常诊断系统,可以进行通过DSP的高速FFT处理。根据上述(11)的结构的异常诊断系统,由于检测从机械设备发生的声音或振动,将该信号变换为数字信号,从该数字信号中取出诊断所需的频带的信号并求其包络线,在为了以任意的频率分辨率对由该包络线进行FFT而进行0补位插补的基础上,基于由FFT得到的频谱来诊断异常,所以可以高精度地实施异常诊断。

根据上述(12)的结构的异常诊断系统,由于进行0补位插补以使FFT单元中的采样频率成为2的N次方(例如 $N=8\sim 12$)赫兹或2的N次方的倍数赫兹,所以可以将FFT运算时的频率分辨率设为1.0Hz基准,并可以设定为任意的分辨率。

根据上述(13)的结构的异常诊断系统,由于求由检测出的频谱的峰值中振动的主分量所对应的峰值或振动的主分量以及高阶分量所对应的峰值和

表示诊断对象的异常的频率的一致度，并对该一致度的多次的累计结果进行评价，从而诊断异常，所以可以高精度地实施异常诊断。根据上述(14)的结构异常诊断装置，包括基于振动传感器输出的波形信号，输出表示波峰因数、冲击指数、波形系数以及峰态中的其中一个的量纲为1的参数值超过一定的基准的第一电压信号，或表示所述量纲为1的参数值为一定基准以下的第二电压信号的比较电路，可以基于该比较电路的输出来检测异常，所以仅对每台车辆设置一个振动传感器，可以基于来自这一个振动传感器的波形信号，检测该车辆中的轴承的剥离、车轮的扁平等异常。

根据上述(15)的结构异常诊断装置，由于包括：运算电路，基于所述振动传感器输出的波形信号，求RMS（方均的平方根）以及绝对值平均的其中一个的参数值；峰值检测电路，求所述波形信号的峰值；以及比较电路，将所述参数值的一定倍（例如后述的[具体实施方式]中由模拟电路决定放大率，所以一般不是整数而是一定倍或常数倍）的值和从所述峰值检测电路输出的峰值进行比较，根据其比较结果，输出表示所述峰值和所述参数值的比（即，量纲为1的参数值）超过一定的基准的情况的第一电压信号，或表示所述量纲为1的参数值为一定基准以下情况的第二电压信号，可以基于所述比较电路的输出来检测异常，所以仅对每台车辆设置一个振动传感器，可以基于来自这一个振动传感器的波形信号，检测该车辆中的轴承的剥离、车轮的扁平等异常。此外，根据上述(15)的结构异常诊断装置，

根据上述(16)的结构异常诊断装置，由于将峰值和预先设定的参照值进行比较，在峰值大于参照值的情况下，使用于检测异常的第一以及第二电压信号无效，所以可以防止由于噪声引起的非常大的信号造成传感器单元的输出饱和。

根据上述(17)的结构异常诊断装置，通过构成为基于表示参数值超过一定的基准的第一电压信号的占空比来检测异常，可以避免噪声的影响同时进行异常诊断。

根据上述(18)的结构异常诊断装置，仅捕捉振动传感器的输出信号中规定频带的信号就可以进行异常诊断。

根据上述(19)的结构异常诊断装置，由于可以检测铁道车辆的异常，所以可以提高铁道车辆的可靠性。

进而，根据上述(20)至(28)的结构异常诊断装置，得到下述(I)~

(IV) 的效果。

(I) 由于连续取入振动数据同时分割为每一定周期的区间，将 1 区间的振动数据作为用于诊断第一振动特性的部件的振动数据进行处理，同时将在 1 区间的振动数据的前端接上其前一个区间的最后的规定时间的数据的数据作为用于第二振动特性的部件诊断的振动数据来进行处理，所以根据检测两振动特性的部件的振动的振动传感器的输出信号来实时地检测两振动特性的部件的异常振动，可以确定该异常振动由第一振动特性的部件的异常引起还是由第二振动特性的部件的异常引起。

(II) 由于连续取入振动数据同时分割为每一定周期的区间，将 1 区间的振动数据作为用于诊断轴承的振动数据进行处理，同时将在 1 区间的振动数据的前端接上其前一个区间的最后的规定时间的数据的数据作为用于诊断车轮的振动数据来进行处理，所以根据检测车轴轴承以及车轮的振动的振动传感器的输出信号来实时地检测车轴轴承以及车轮的异常振动，可以确定该异常振动由车轮的扁平引起还是由车轴轴承引起。

(III) 连续取入振动数据同时将其变换为用于第一振动特性的部件诊断和用于第二振动特性的部件诊断的采样频率或采样长度不同的两种数据来进行处理，所以根据检测两振动特性的部件的振动的振动传感器的输出信号来实时地检测两振动特性的部件的异常振动，可以确定该异常振动由第一振动特性的部件的异常引起还是由第二振动特性的部件的异常引起。

(IV) 连续取入振动数据同时将其变换为用于车轴轴承诊断和用于车轴诊断的采样频率或采样长度不同的两种数据来进行处理，所以根据检测车轴轴承和车轮的振动振动传感器的输出信号来实时地检测车轴轴承以及车轮的异常振动，可以确定该异常振动由车轮的扁平引起还是由车轴轴承引起。

<发明效果>根据本发明，即使在异常信号或异常预兆信号和噪声信号的 S/N 比小的条件下，也可以高精度地实施异常诊断而不会将噪声信号误检测为异常或异常预兆信号。根据本发明的异常诊断系统，可以高精度且高效率地实施机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常诊断。根据本发明，由于对每一台车辆仅设置一个振动传感器，所以基于来自这一个振动传感器的波形信号，可以检测该车辆中的轴承的剥离、车轮的扁平异常，所以可以以低成本构筑异常诊断系统。

根据本发明的异常诊断装置，可以使用低分辨率的 AD 变换器或单纯的

比较器来实现电路的低成本化以及省空间化，并且可以进行异常诊断而不引起精度降低。

附图说明

图 1 是表示本发明的异常诊断系统的实施例的方框图。

图 2 是例示频谱及其移动平均化处理结果的波形图。

图 3 是例示频谱及其移动平均化处理结果的波形图。

图 4 是例示频谱及其移动平均化处理结果的波形图。

图 5 表示冲击性的噪声进入时的振动波形的例子。

图 6 是表示图 1 所示的异常诊断系统的异常诊断动作例子的流程图。

图 7 是例示频谱及其移动平均化处理结果的波形图。

图 8 是表示轴承的微小损伤品和正常品的异常诊断结果的图。

图 9 是表示本发明的异常诊断系统的第 2 实施例的方框图。

图 10 是表示构成本发明的异常诊断系统的微计算机及其周边电路的实施例的方框图。

图 11 是例示图 9 中的第一数字低通滤波器的频率 - 增益特性的波形图。

图 12 是例示图 9 中的第一数字低通滤波器的频率 - 增益特性的波形图。

图 13 (a) 是表示进行抽取处理的情况下的 FFT 频谱波形的波形图，图 13 (b) 是表示省略了抽取磁力的情况下的 FFT 频谱的波形图。

图 14 是在曲线图上表示通过减少 FFT 运算的点数而削减 FFT 运算处理时间的效果的图。

图 15 是用 S/N 比对比改变条件进行的多个诊断的结果的曲线图。

图 16 是表示本发明的异常诊断系统的第 3 实施例的方框图。

图 17 是表示本发明的异常诊断系统的第 4 实施例的方框图。

图 18 是表示第 4 实施例的异常诊断系统中的一系列的处理的流程的流程图。

图 19 (a) 以及图 19 (b) 是表示相对于振动的包络线波形错开相位来进行抽取处理的情况的说明图。

图 20 是表示第 4 实施例的情况的诊断结果的图。

图 21 是表示关于 FFT 运算处理的时间，对比使用 DSP 的情况和仅使用 CPU 进行的情况的图。

图 22 是表示第 5 实施例的异常诊断系统中的一系列的处理的流程的流程图。

图 23 是表示第 5 实施例的情况的伤诊断结果的图。

图 24 是表示本发明的异常诊断系统的实施例的功能方框图。

图 25 是图 24 中的通过 0 插补单元的 0 插补处理的说明图。

图 26 是表示缺陷品和正常品的异常诊断结果的图。

图 27 是表示数据的取入处理和数据的运算处理的定时以及所用时间的定时图。

图 28 是包括第 7 实施例的异常诊断装置的铁道车辆的概略结构图。

图 29 是表示传感器单元的第 7 实施例的方框图。

图 30 是表示图 29 的传感器单元的输出波形的图。

图 31 是表示传感器单元的第 8 实施例的方框图。

图 32 是表示图 31 的传感器单元的输出波形的图。

图 33 是表示传感器单元的第 9 实施例的方框图。

图 34 是表示传感器单元的第 10 实施例的方框图。

图 35 是表示传感器单元的第 11 实施例的方框图。

图 36 是表示传感器单元的第 12 实施例的方框图。

图 37 是表示传感器单元的第 13 实施例的方框图。

图 38 是表示剥离等劣化的参数之一的波峰因数 (Peak/RMS) 的波形图, 表示参数值由于剥离而增大。

图 39 是铁道车辆的振动波形图, 表示检测的振动波形中混入轨道的接缝引起的冲击振动 (噪声) 的情况。

图 40 (a) 是搭载了第 14 实施例的异常诊断装置的铁道车辆的概略平面图, 图 40 (b) 表示该铁道车辆的概略侧视图。

图 41 是例示车轴轴承和振动传感器的位置关系的概略图。

图 42 是本发明的异常诊断装置的第 14 实施例的方框图。

图 43 是异常诊断装置的 4 信道的振动数据的取入以及数据解析的时序图。

图 44 是表示图 42 的诊断处理单元的动作内容的流程图。

图 45 是表示车轴轴承的伤的部位和由伤引发的振动发生频率的关系的图。

图 46 是本发明的异常诊断装置的第 15 实施例的方框图。

图 47 是本发明的异常诊断装置的第 16 实施例的方框图。

图 48 是表示图 47 的诊断处理单元的动作内容的流程图。

图 49 是本发明的异常诊断装置的第 17 实施例的方框图。

图 50 是本发明的异常诊断装置的第 18 实施例的方框图。

图 51 是本发明的异常诊断装置的第 19 实施例的方框图。

图 52 是本发明的异常诊断装置的第 19 实施例的诊断处理单元的振动内容的流程图。

图 53(a) 是表示轴承剥离诊断数据和车轮扁平诊断数据的时间 - 频率平面上的关系的概念图, 图 53(b) 是表示轴承和车轮的频率范围的关系的概念图。

图 54 是本发明的异常诊断装置的第 20 实施例的诊断处理单元的振动内容的流程图。

图 55(a) 以及 (b) 是第 21 实施例的诊断处理单元的部分方框图。

图 56 是本发明的异常诊断装置的第 21 实施例的诊断处理单元的振动内容的流程图。

图 57 是表示图 51 的诊断处理单元的动作内容的流程图。

图 58(a) 是关于将来自 AD 变换器的数字信号比其分辨率还扩展的处理的说明图, 图 58(b) 是表示来自 AD 变换器的数字信号的单纯的符号扩展的例子的说明图。

图 59 是本发明的异常诊断装置的第 23 实施例的主要部分方框图。

图 60(a) 是将来自振动传感器的模拟信号通过比较器变换为二值的信号的处理的说明图, 图 60(b) 是将来自比较器的信号用诊断处理单元内的微计算机进行了数字滤波处理之后的波形图。

图 61 是表示第 23 实施例中的诊断处理单元的动作内容的流程图。

图 62 是本发明的异常诊断装置的第 24 实施例的主要部分方框图。

具体实施方式

以下, 关于用于实施本发明的最佳方式, 以包含滚动轴承的机械设备为对象, 对机械设备内的滚动轴承的伤等异常的有无进行判断的情况为例进行说明。

图 1 是表示本发明的异常诊断系统的实施例的方框图。如图 1 所示，本发明的异常诊断系统包括：放大滤波器（滤波处理单元）101、A/D 变换器 102、包络线处理单元 103、FFT 单元 104、峰值检测单元 105、诊断单元 106 以及诊断结果输出单元 107。

放大滤波器 101 被输入由对诊断对象的机械设备发生的声音或振动进行检测的传感器（振动传感器、音响传感器等）检测出的信号。放大滤波器 101 以规定的增益将输入的信号放大，同时截断规定频率以上的信号。

A/D 变换器 102 以规定的采样频率对通过放大滤波器 101 的模拟信号进行采样，并变换为数字信号。

包络线处理单元 103、求由 A/D 变换器 102 生成的数字信号的包络线（包络线波形）的 FFT 单元 104、对包络线处理单元 103 求出的包络线进行频率解析并变换为频谱的峰值检测单元 105、检测由 FFT 单元 104 得到的频谱的峰值的换行诊断单元 106 对由滚动轴承上设置的未图示的旋转传感器检测出的转速和轴承的内部各元素决定的特征频率，与峰值检测单元 105 得到的峰值进行比较，并通过对其一致度进行评价来诊断异常。诊断结果输出单元 107 输出诊断单元 106 的诊断结果。峰值检测单元 105 包括移动平均化处理单元 105a、平滑化微分峰值提取单元 105b、第一挑选单元 105c、第二挑选单元 105d。移动平均化处理单元 105a 将由 FFT 单元 104 得到的频谱（频域的离散数据）左右对称地进行加权移动平均化。例如，在 5 点的移动平均中，通过对由 FFT 单元 104 得到的频谱实施下式的运算，

[算式 1]

$$\hat{x}_i = \frac{1}{w} \{ax_i + b(x_{i+1} + x_{i-1}) + c(x_{i+2} + x_{i-2})\}$$

$$a > b, \quad a > c$$

一般，通过下式 (1) 的运算，

[算式 2]

$$\hat{x}_i = \sum_{j=-m}^m (x_{i+j} w_j) \quad (1)$$

将频谱进行平滑化来进行噪声的减轻。平滑化微分峰值提取单元 105b 在通过移动平均化处理单元 105a 的移动平均化处理之后，将移动平均了的频谱进一步平滑而得到微分值，将微分系数的符号变化的频率点作为频谱的峰值

而提取。即，平滑化微分峰值提取单元 105b 将下式 (2) 的值 (平滑化微分系数 y_j) 从正向负变化的频率点视为频谱的峰值的候选。

[算式 3]

$$y_i = \sum_{i=1}^m (x_{i+j} - x_{j-i}) \quad (2)$$

从该式 (2) 可知，比邻接的数据远离的点之间的倾斜者可以视为权重大。从式 (2) 可知，峰值检测单元 105 包括平滑化微分峰值提取单元 105b，对于由 FFT 单元 104 得到的频谱实施以 j 点为中心进行的多个区间的差分和其区间长的积和的平滑化微分处理，将得到的微分值的符号变化的频率点作为频谱的峰值提取。

从而，根据式 (2)，不使用式 (1) 也可以进行被埋入噪声的峰值的检测，但也可以并用式 (1)。

第一挑选单元 105c 挑选由平滑化微分峰值提取单元 105b 提取出的峰值中振幅等级为阈值以上的峰值。阈值使用根据由平滑化微分峰值提取单元 105b 提取的峰值的功率平均值或全部 (overall) 信号的方均平方根决定的相对的值。绝对的阈值在相对噪声电平低的情况下有效，但在噪声电平大的情况下不一定有效。

第二挑选单元 105d 在由第一挑选单元 105c 挑选的峰值中，从振幅等级大的峰值中挑选直到规定个数为止的峰值。作为其最简单的方法，例如，可以举出使用公知的分类算法，将多个峰值关于等级而设为升序或降序类之后，从高位的峰值、即值大的峰值依次进行选择的方法。

图 2 表示频谱波形的例子。本例表示将被诊断为有伤的振动数据进行包络线处理的频谱及其移动平均化处理后的频谱。这里的移动平均是如下式所示的 7 点的移动平均。

[算式 4]

$$\bar{x}_i = \sum_{j=-3}^3 (x_{i+j} w_j) \quad (1)$$

$$w_0 = 4, w_1 = w_{-1} = 3, w_2 = w_{-2} = 2, w_3 = w_{-3} = 1$$

加权系数 w 不限于上述值，但最好不去掉关于 $j=0$ 对称且使 $j=0$ 的点的权重最大的条件。在图 2 的例子中可知，由于 S/N 比较好，所以轴承外轮的伤引起的基本分量 f_1 和高次谐波分量 f_2 、 f_3 、 f_4 在移动平均化处理的

前后明显可看到，但在移动平均化处理后，噪声引起的伪峰值非常少。

如图 2 所示，由移动平均化处理单元 105a 对移动平均化处理后的频谱进行平滑化微分，平滑化微分峰值提取单元 105b 将微分系数的符号从正向负变化的频率点作为峰值进行检测了之后，由第一挑选单元 105c 提取阈值以上的峰值，将它们由第二挑选单元 105d 分类后，将其中直到高位 5 个为止作为峰值提取，从而求峰值频率 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 。将离散频谱设为 x_i 时，此时的平滑化微分系数 y_i 由下式表示。

[算式 5]

$$y_i = \sum_{j=1}^m (x_{i+j} - x_{j-i})j$$

与通常的数值微分不同，该式中，为了使其具有平滑化的效果而进行比更远离的点之间的差分大的加权，所以可以仅通过整数运算来进行微分运算，不需要除法。从而，浮点运算单元 (FPU) 或不具有除法命令的微型计算机也可以轻易地进行运算。

上述由第二挑选单元 105d 得到的频谱 (包络线频率分布) 的峰值的数据被输入诊断单元 106。

诊断单元 106 将输入的频谱的峰值中对应于振动的主分量的峰值或对应于振动的主分量以及高次谐波的峰值与表示诊断对象的异常的频率进行比较，并求其一致度。然后，对求出的一致度赋予点数而进行累计，从而进行可靠性高的诊断。例如，进行主分量、2 阶、4 次的三个分量和表示异常的频率的比较，如果主分量及其它分量被检测出，则判断为有发生伤的可能性，加上预先设定的点数表内的相应的点数。点数表的例子如下述表 1 所示。在图 2 的例子中，由于主分量、2 阶、4 阶的三个分量都被检测出，所以加上 4 点。

[表 1]

检测分量	点数
基波分量、2 阶、4 阶	4
基波分量、2 阶	2
基波分量、4 阶	1

图 3 所示的频谱波形的例子中，尽管接收到外部冲击引起的噪声，轴承外轮

的伤引起的频率的峰值也被检测出。与图 2 的情况同样，再进行平滑化微分并进行峰值检测之后，将阈值以上的峰值分类后将直到高位 5 个为止作为峰值检测出后的结果，主分量和 2 阶分量被检测出。该情况下的加法点数为 2 分。

在图 4 所示的频谱波形的例子中，由于外部冲击引起的噪声过大，峰值未被检测出。该情况下的加法点数为 0 点。

图 5 表示冲击性的噪声进入时的振动波形的例子。这样，振幅这样大并且突发的冲击性的噪声进入了的振动波形的包络线的频率分析结果，接近 DC（直流）分量的低频侧增大，如图 4 的例子这样，微小的伤引起的振动的峰值被隐藏。在这样的情况下，不必强行地进行用于检测伤造成的信号分量的处理。

如图 6 所示，该异常诊断系统将从上述振动信号检测到异常点数判定为止的一系列的重复规定次数 N （例如 30 次）来累计上述点数，根据该累计点数进行异常判断。在图 6 中， n 是当前的次数，对 PA 表示一次频谱测定中的诊断点、PACC 表示 PA 的累计值的图 2、图 3 以及图 4 中例示的频谱波形分别进行一次采样而进行异常诊断所需的时间为 1 秒左右。从而，如果为了得到诊断结果而允许的时间为 40~60 秒左右，则重复约 40~60 次的诊断来将上述点数累计，并可以通过该累计点数来进行异常诊断。在通过仅一次的采样的异常诊断中，如图 2~图 4 这样，不知道得到什么样的频谱，但通过重复频率峰值检测并在其每次加上诊断点数，并对点数的累计值进行评价，从而可以减轻频谱的偏差的影响从而高精度地进行异常诊断。

图 7 是没有伤的正常的轴承的诊断频谱，表示进行了峰值检测的结果，由伤引起的振动的频率分量未被检测出的实测结果。移动平均化的频率分析结果中一见便可知有何种特征，但阈值以及分类的挑选处理的结果，与轴承异常的频率分量没有关系，因此表 1 的异常诊断点不被加上。

图 8 是重复 40 次轴承的微小损伤品和正常品的异常诊断并在柱状图中表示其诊断点的累计数的图。微小损伤品和正常品中，累计点数存在大的差距，因此可知通过将累计点累计 40 次左右，可以准确地进行轴承的异常诊断。此外，尽管是微小的伤，由于与正常品之间产生大的差，因此如图 8 所示，由于可以将阈值的范围取大，因此可以将该范围分类而发出阶段性的警报。

如以上所说明的，在该实施例的异常诊断系统中，检测从机械设备发生

的声音或振动,求该检测信号的包络线,将该包络线变换为频谱,对得到的频谱进行移动平均化处理,进而将该频谱进行平滑化微分,从而将微分系数的符号从正向负变化的频率点作为峰值检测出之后,提取规定阈值以上的峰值,将它们分类后将其中的高位规定个数作为峰值提取,求这些峰值中对应于振动的主分量的峰值或对应于振动的主分量以及高次谐波的峰值与表示诊断对象的异常的频率的一致度,并对该一致度赋予点数而进行多次累计,通过评价该累计值来诊断异常,所以即使在异常信号或异常预兆信号与噪声信号的 S/N 比小的条件下,也可以非常高精度并且高效率地实施异常诊断而不会将噪声信号误检测为异常或异常预兆信号。

另外,本发明不限于上述实施例。例如,如图 1 中虚线方框所示,在 A/D 变换器 ADC102 和包络线处理单元 103 之间设置数字滤波器(LPF/HPF)108,最好除去高频的噪声分量同时除去 DC 偏移量。此外,在 FFT 单元 104 之间设置抽选单元 109,根据必要的频率进行抽取处理(decimation,抽选)。通过在包络线处理之后进行信号的抽取处理,并减少用于包络线波形解析的 FFT 运算的点数,从而兼顾检测出的信号的频率分辨率的提高和 FFT 运算的效率提高,可以高精度且高效率地实施轴承的异常诊断。

[第 2 实施例]

图 9 是表示本发明的异常诊断系统的第 2 实施例的方框图,图 10 是表示本发明的异常诊断系统的具体构成要素的微型计算机(MPU)及其周边电路的实施例的方框图。

如图 9 所示,本发明的异常诊断系统包括:放大滤波器(滤波处理单元)201、A/D 变换器 202、第一数字低通滤波器 203、第一抽选单元(抽取单元)204、包络线处理单元 205、第二数字低通滤波器 206、第二抽选单元(抽取单元)207、FFT 运算单元 208、诊断单元 209、转速变换处理单元 210 以及诊断结果输出单元 211。

放大滤波器 101 被输入由对诊断对象的机械设备发生的声音或振动进行检测的传感器(振动传感器、音响传感器等)检测出的信号。放大滤波器 201 以规定的增益将输入的信号放大,同时截断规定频率(这里为 80kHz)以上的信号。

A/D 变换器 202 以规定的采样频率(这里为 250kHz)对通过放大滤波器 201 的模拟信号进行采样,并变换为数字信号。一次进行采样的点数约为 20

万。数据长度为 16 位。如图 10 所示，该系统使用微型计算机 220 作为信号处理电路，但由于包括外置的 RAM221，所以确保该程度的变量区域很容易。微型计算机 220 包括浮点单元 (FPU)。

第一数字低通滤波器 203 仅使 A/D 变换器 220 生成的数字信号中规定频率 (这里为 10kHz) 以下的信号通过，例如有 55 阶的 FIR 滤波器构成。图 11 例示第一数字低通滤波器 203 的频率特性。该滤波器 203 在 10kHz (fp) 以下完全不衰减，在 10kHz (fp) 到 25kHz (fq) 为止，衰减率增加，在 25kHz 以上，变为 60dB 的衰减率。对于在 25kHz (fq) 达到阻带的频带的波形，只要采样频率至少为 50kHz 就足够。

第一抽选单元 (抽取单元) 204 通过以规定的采样频率 (这里为 50kHz) 对通过第一数字低通滤波器 203 的信号进行采样，从而进行抽取处理。由于 A/D 变换器 202 的采样频率为 250kHz，所以采样点数 (数据数) 被以 1/5 地进行抽取。由此，有 20 万点的数据被削减为 40960 点的数据。包络线处理单元 205 求由第一抽选单元 204 取出的信号的包络线信号 (包络线波形信号)。

第二数字低通滤波器 206 是仅使由包络线处理单元 205 得到的包络线信号中规定频率 (这里为 1kHz) 以下的信号通过的滤波器，例如由 110 阶的 FIR 滤波器构成。图 12 例示第二数字低通滤波器 206 的特性波形。该滤波器 206 配合表示轴承的异常的特征频率来进行滤波处理，在 1kHz (fp) 以下完全不衰减，在 1kHz 到 2.5kHz 为止，衰减率增加，在 25kHz (fq) 以上，变为 60dB 的衰减率。

第二抽选单元 (抽取单元) 207 通过以规定的采样频率 (这里为 5kHz) 对通过第二数字低通滤波器 206 的信号进行采样，从而进行抽取处理。由于第一抽选单元 204 的采样频率 (fs) 为 50kHz，所以被以 1/10 进行抽取的采样点。对于在 2.5kHz (fq) 达到阻带的频率的波形，只要采样频率至少为 5kHz 就足够。通过该抽取处理，有 40960 点的数据被削减为 4096 点的数据。

FFT 运算单元 208 对由第二抽选单元 207 进行了抽取处理后的包络线信号进行频率解析。在该例子的情况下，使用 4096 点的数据进行检测出的信号的包络线的频率分析。由此，以 $5000/4096 = 1.22\text{Hz}$ 的分辨率进行频率分析。

诊断单元 209 在由 FFT 运算单元 208 进行了频率解析的结果得到的峰值中，将由滚动轴承引起的频率的基频分量以及高频分量的大小，与由转速变换处理单元 210 提供的判定基准数据 (转速) 和表示从轴承的各元素得到的

轴承的异常的频率进行比较, 基于其结果诊断滚动轴承的异常。

转速变换处理单元 210 生成与来自滚动轴承上设置的未图示的旋转传感器的旋转信号对应的判定基准数据, 并将该数据提供给诊断单元 209。

诊断结果输出单元 211 输出诊断单元 209 的诊断结果。

图 13 (a) 表示 FFT 运算单元 208 的运算结果得到的包络线的频谱波形。这是捕捉了滚动轴承的外轮伤分量的波形, 明确地表示了基频分量 (f_1) 和 6 阶的高次谐波 ($f_2 \sim f_6$ 等)。在该情况下, 诊断单元 209 计算从转速变换处理单元 210 得到的转速和表示从轴承的各元素得到的轴承的异常的频率, 将图 13(a) 中的基频和 6 阶为止的高次谐波进行了比较的结果, 由于与外轮缺陷引起的频率分量一致, 因此输出外轮存在异常的诊断结果。

这里, 作为比较例, 图 13 (b) 表示对与将采样频率设为 25kHz、将截止频率 f_c 设为 10kHz 的上述例子相同的条件的波形进行包络线处理后进行 FFT 运算而得到的频谱波形。由于 FFT 运算的点数为 16384, 因此该比较例中的频率分辨率为 $25000/16384 = 1.526\text{Hz}$ 。在本发明的实施例 (图 13 (a)) 中, 对于比较例 (图 13 (b)), FFT 运算的点数从 16384 减少到其 1/4 的 4096, 而且分辨率从约 1.53Hz 提高到 1.22Hz。这是在包络线处理的前后进行了抽取 (抽选) 处理的效果。

图 14 表示减少 FFT 运算的点数引起的 FFT 运算处理时间削减的效果。在该实施例的情况下, 作为执行 FFT 运算处理的硬件, 如图 10 所示, 使用在内部具有高速 RAM220c 的微型计算机 220。该微型计算机 220 内部的高速 RAM220c 中可以容纳直到 4096 点为止的 FFT 数据。其结果, 与容纳了 8192 点以上的 FFT 数据的情况下的计算时间相比, 可以压倒性地快速计算。在不具有这样的高速 RAM220c 的系统中, 得到如图 14 中的虚线所示的运算周期数 (FFT 运算处理时间) 的削减效果。FFT 需要通过 2 的指数的点数计算, 所以在本例中进行采样和抽取处理, 以最终变为 4096 点, 但假设即使 4096 点有过多和不足, 省略该部分的点数或将 0 的数据追加到前后即可。

图 15 是表示滚动轴承的外轮诊断的 S/N 比的绝对比较的曲线图。基波和直到 6 次的高次谐波和除去了这些分量的直到 1kHz 为止的分量的比用 S/N 比表示。图 15 中 A 对应于上述比较例。C 对应于上述实施例。B 是省略了第二数字低通滤波器 206 的情况下的 S/N 比。在 A 和 C 的比较中, 两者的 S/N 比可以说没有那么大的差异, 但 C 略好。尽管 FFT 运算的点数是 C 比 A 少,

但 S/N 比却提高了, 这是通过第二数字低通滤波器 206 的频带限制的效果。

如以上所说明的, 在本变形例的异常诊断系统中, 在包络线处理的前后进行信号的抽取处理, 通过减少用于解析由传感器检测出的信号的包络线波形的 FFT 运算的点数, 兼顾信号的频率分辨率的提高和 FFT 运算的效率提高, 并且可以高精度且高效率地实施轴承的异常诊断。

此外, 在该异常诊断系统中, 将由传感器检测出的信号的 A/D 变换时的采样率设定高之后, 进行频带限制以及抽取处理, 因此可以省略抗混淆滤波器。即, 由于由第一数字低通滤波器 203 截断 A/D 变换器 202 的采样频率分散 (250kHz) 的 1/2 (乃奈斯特频率 $f_s/2$) 以上的频率的信号, 因此通常需要插入抗混淆滤波器, 但这里相对于放大滤波器 201 的频带小于 80kHz, 而 A/D 变换器 202 的采样频率为 250kHz, 所以满足采样定理而不需要抗混淆滤波器。由此, 可以实现异常诊断系统的低成本。

[第 3 实施例]

图 16 是表示本发明的异常诊断系统的第 3 实施例的方框图。在第 3 实施例中, 省略了在第 2 实施例中在包络线处理单元 205 前后设置的数字低通滤波器 203、206 以及包络线处理单元 205 之前的抽选处理单元 204。该结构可以应用于即使 S/N 比稍微降低, 只要可以以少的点数的 FFT 运算来提高包络线波形解析的频率分辨率即可的情况。

不使用数字低通滤波器的抽取处理受到混淆的影响, 相反其自身起到低通滤波器处理的作用。而且, 包络线处理其自身结果也兼作低通滤波器处理的作用, 所以认为省略抽选处理单元 207 之前的数字低通滤波器 206 的情况较多。在根据前级的放大器或传输路径的频率特性而得知不引起混淆的情况下, 不使用数字滤波器而进行抽取处理也没有任何影响。

另外, 数字滤波器的运算效率与 FFT 运算的情况也有稍微的特性差异。FFT 由于是统一运算处理因此数据数越少则运算速度越快, 而数字滤波器由于基本上进行依次处理, 因此滤波器的阶数成为问题。但是, 在上述实施例中, 在包络线处理单元 205 之后的第二数字低通滤波器 206 中也估计到 100~200 阶数的滤波器即可。如果是这种程度的滤波器阶数, 则一般的微型计算机 210 内的高速存储器 210a 中的处理没有任何问题。

此外, 在第 2 以及第 3 实施例中, 由于微型计算机 220 不具有 FPU (浮点运算单元), 因此使用了适于定点运算的 FIR 滤波器, 但在具有 FPU 的系

统的情况下，如果对数字低通滤波器使用 IIR 滤波器，就可以降低滤波器阶数而不降低计算精度。

[第 4 实施例]

图 17 是表示本发明的异常诊断系统的第 4 实施例的方框图（硬件结构图）。图 18 是表示第 4 实施例的异常诊断系统中的一系列的处理的流程的流程图。微型计算机 220 上连接有同步 DRAM（SDRAM）221a、闪速存储器 222、放大滤波器（滤波处理单元）223 以及液晶显示器（LCD）224。

微型计算机 220 除了 CPU220a 之外还包括 DSP220b 以及闪速 RAM220c。

DSP220b 内置有分别由专用总线连接的 X-RAM 和 Y-RAM 所构成的 X/Y-RAM220e，以便可以在一个周期内以专用的命令执行积和运算。X-RAM 和 Y-RAM 的容量各为 8 千字节。DSP220b 加上命令总线同时可以访问三个总线，并可以同时执行多个命令。X/Y-RAM 被称作双通道 RAM、双臂存取 RAM、多通道 RAM 等。

同步 DRAM221a、闪速存储器 222 以及放大滤波器 223 连接到 CPU220a 的外部总线。同步 DRAM221a 是作为主存起作用的 32MB（兆字节）的容量的存储器。闪速存储器 222 是作为程序存储区域起作用的 4MB 的容量的存储器。闪速存储器 222 中存储用于实施图 18 所示的一系列的处理的程序。放大滤波器 223 包括将来自传感器的信号放大的放大器 223a 和以规定的采样频率（这里为 250kHz）对由放大器 223a 放大的信号进行采样并变换为数字信号的 16 位的分辨率的 A/D 变换器 223b。

同步 DRAM221a 以及闪速存储器 222 的动作速度比 CPU220a 慢，因此为了产生 CPU220a 的高速性，闪速存储器不可缺少。因此，微型计算机 220 中内置有数据/命令混合型的高速缓冲 RAM220c。

DMAC220d 控制 DMA 动作，即不使用 CPU220a 而将由 A/D 变换器 223b 得到的数据对同步 DRAM221a 进行传送。液晶显示器 224 是用于显示诊断信息的输出装置。

图 18 所示的一系列处理中包含的数字运算处理中处理的数据量最大的是 FFT 运算处理（S204）。为了由 DSP220b 进行 FFT 运算处理（S204），FFT 运算处理（S204）使用的数据需要容纳在 X/Y-RAM220e 中。

另一方面，为了通过轴承的振动解析来检测伤，需要以直到 10kHz 左右为止的频带来检测振动，但用于捕捉伤的轴承的转动体的通过振动数一般为

1kHz 以下。在本例中，作为诊断对象的轴承的转动体通过振动数为 100Hz 以下的低频率。

在转动体通过振动数这样低的情况下，准确诊断轴承的异常需要比较长时间的波形采样。

因此，在图 18 的采样处理 (S201) 中，以 48kHz 的采样频率对来自放大滤波器 223 的信号进行采样，对由 40000 点以上的数据构成的波形数据进行采样。在该情况下，可以确保 800ms 以上的采样时间 T_w 。FFT 运算处理 (S204) 的频率分辨率 Δf 由该采样时间 T_w 决定。即，频率分辨率 Δf 是采样时间 T_w 的倒数 ($1/T_w$)。

绝对值处理 (S202) 是与包络线处理同样的处理，在数字处理中，与通过希尔伯特变换的方法相比，可以大幅地简化运算。在该处理中，对于由采样处理 (S201) 采样了的信号的包络线或绝对值波形，为了消除 DC 分量而取平均值，重建振幅 0 的线。

在抽选处理 (S203) 中，通过以规定频率 (这里为 4.8kHz) 对经过绝对值处理 (S202) 的包络线或绝对值波形信号进行采样从而进行抽取。FFT 运算处理 (S204) 中，对通过抽选处理 (S203) 进行了抽取处理后的信号进行频率解析。

FFT 运算处理 (S204) 中的数据由实部和虚部构成，分别被分配给 X/Y-RAM220e 的 X-RAM 和 Y-RAM。如果采用在输入和输出供给存储区域的方式，则可以对 8kB 的数据长进行 FFT。由于 A/D 变换器 223b 的分辨率为 16 位 (2 字节)，所以可以由 DSP220b 处理直到 8192/2 字节即 4096 点为止的数据。反之超过 4096 的点数的数据在 DSP220b 中不能处理。因此，在本例中，由抽选处理 (S203) 进行抽取处理，以使数据长成为 4096。将采样频率 $f_s = 48\text{kHz}$ 以 1/10 地进行抽取时，成为 $f_s = 4.8\text{kHz}$ 。即使是这样，也是对确保检测轴承缺陷所需的 1kHz 的频带足够的采样频率。

在频谱评价处理 (S205) 中，检测由 FFT 运算处理 (S204) 进行了频率解析的结果得到的频谱的峰值，对该峰值和轴承异常频率进行比较，通过参照与该比较结果对应的不同部位异常诊断索引来评价是否异常。

在异常诊断点加法处理 (S206) 中，对由频谱评价处理 (S205) 评价为异常的数进行计数。在反复次数判定处理 (S207) 中，判定进行了频谱评价处理 (S205) 的次数 (评价次数 n_1) 是否达到规定的次数 N_1 。相移处理 (S208)

在由反复次数判定处理 (S207) 判定为未达到规定的次数 $N1$ (S207 中否) 的情况下被执行。通过该处理使相位偏移并反复抽选处理 (S203) 以后的处理。

波形取入次数判定处理 (S209) 在由反复次数判定处理 (S207) 判定为达到了规定的次数 $N1$ (S207 中是) 的情况下被执行。在波形取入次数 $n2$ 未达到规定的次数 $N2$ 的情况下 (S209 中否), 反复采样处理 (S201) 以后的处理。在波形取入次数 $n2$ 达到规定的次数 $N2$ 的情况下 (S209 中是), 进至评价/判定处理 (S210)。

在评价/判定处理 (S210) 中, 基于由异常诊断点加法处理 (S206) 计数的异常评价点数来进行轴承的异常的评价/判定。

如上所述, 在本实施例中, 在每次实施频谱评价处理 (S205) 时将相位偏移来实施多次抽选处理 (S203), 采用对于一次采样波形进行多次 FFT 运算处理 (S204) 来累计诊断点的方法。这是由于在将仅进行了抽取的数据以一次的 FFT 进行评价中以 48kHz 的频率进行采样的意义变小, 成为与最初起以 4.8kHz 的频率进行采样相同。即使轴承的转动体通过周期长, 由于伤越小则在通过中引起的冲击波在越短时间内衰减, 所以高采样本来有效, 为将其灵活运用而进行多次相移处理以及 FFT 运算处理。

图 19 (a)、(b) 表示对于振动包络线波形偏移相位来进行抽取处理的情况。相移相当于将采样点偏移 1 点。在图 19 的例子中, 表示相对于仅采样 ● (黑点) 的 (a) 的状态, (b) 的状态为仅相移 1 点并仅再采样 ○ (白点) 的情况。在图 19 的例子中, 由于以 1/5 地进行抽取, 因此得到最大 5 组的再采样的组。

从而, 在以 1/10 地进行抽取的情况下, 得到最大 10 组的再采样的组。下述的表中例示了对所有该 10 组进行 FFT 运算, 并将检测出的频率分量所对应的评价点进行了累计的结果。

[表 2]

检测分量	点数
基波分量、2 阶、4 阶	4
基波分量、2 阶	2
基波分量、4 阶	1

图 20 表示通过相移和 FFT 运算处理的反复的滚动轴承的外轮伤诊断结

果。在本例中，准备在滚动轴承的外轮轨道面上附加了人工伤从样本（1、2）和没有伤的正常的样本（3、4），以轴承的外轮伤的特征频率分量为分量来进行试验。在一定时间取该点的累计，将其作为外轮缺陷指标。通过检测 FFT 频谱的移动平均和平滑化微分的峰值来进行频率分量的检测，进而根据频谱分量的大小而压缩为高位 9 个分量。

图 21 是表示对于 FFT 运算处理的时间，对比使用了 DSP220b 的情况和仅以 CPU220a 进行的情况的曲线图。在本例中，由于将 FFT 运算的点数配合可以与命令同时将两个数据读入 DSP 220b 的高速存储器 220e 的容量而设为 4k 字长，所以以 DSP 高速地执行 FFT 运算。

如以上所说明的，在该实施例的异常诊断系统中，由于对于被数字化的包络线波形，将采样频率下降到与 DSP220b 内的 X/Y - RAM220e 的容量平衡的数据数从而进行 FFT 运算，所以可以进行通过 DSP220b 的高速 FFT 处理，而且通过在绝对值处理后进行抽取处理并减少用于解析包络线波形的 FFT 运算的点数，从而可以兼顾信号的频率分辨率的提高和 FFT 运算的效率提高，并高精度且高效率地实施轴承的异常诊断。

[第 5 实施例]

图 22 是表示第 5 实施例的异常诊断系统中的一系列处理的流程的流程图。该流程在抽选处理（S203）之前插入通过数字低通滤波器的滤波处理（S211），这一点与图 18 不同。此外，反复次数判定处理（S207）以及相移处理（S208）被省略。

这样，在进行抽选处理（S203）时，通过由数字低通滤波器预先降低频带，从而可以已知混淆等的影响而可靠地执行低频带的 FFT 运算处理。与图 18 的方式相比，额外需要用于数字低通滤波器的程序代码和配合滤波器的特性计算出的滤波系数，但在可靠执行噪声的除去方面有利。图 23 表示第 5 实施例的情况的外轮伤诊断结果。试验所使用的样本与图 20 的情况相同。

[第 6 实施例]

图 24 时表示第 6 实施例的异常诊断系统的实施例的功能方框图。

如图 24 所示，第 6 实施例的异常诊断系统包括：模拟放大滤波器 301、A/D 变换器 302、数字滤波单元 303、抽选单元 304、绝对值化单元（包络线处理单元）305、零插补单元（插补处理单元）306、汉宁（hanning）窗函数处理单元 307、FFT 单元 308、峰值检测单元 309、轴承缺陷基频计算单元 310、

比较单元 311、累计单元 312、诊断单元 313 以及诊断结果输出单元 314。

模拟放大滤波器 301 被输入由对诊断对象的机械设备发生的声音或振动进行检测的传感器（音响传感器等）317 检测出的信号。模拟放大滤波器 301 以规定的增益将输入的信号放大，同时截断规定频率以上的信号。

A/D 变换器 302 以规定的采样频率对通过放大滤波器 301 的模拟信号进行采样，并变换为数字信号。

数字滤波单元 303 仅使由 A/D 变换单元 302 生成的数字信号中规定频带的信号通过。

抽选单元 304 通过以规定的采样频率对通过数字低通滤波单元 303 的信号进行采样来进行抽取处理。

绝对值化单元 305 将由抽选单元 304 抽取的信号的包络线（包络线波形）作为离散化数据求出。

零插补单元 306 为了以任意的频率分辨率对绝对值化单元 305 得到的包络线的离散化数据进行快速傅立叶变换而进行零补位插补。这里，零插补是指为了使 FFT 单元 308 的采样频率成为 2 的乘方而在产生了不足的情况下对包络线的离散化数据追加 0 来进行调整的插补。

汉宁窗函数处理单元 307 通过对由零插补单元 306 进行了插补处理后的信号乘以规定周期的汉宁窗函数，从而得出诊断所使用的信号。

FFT 单元 308 通过 FFT 算法对由汉宁窗函数处理单元 307 得出的信号进行频率解析，并生成频谱波形信号。

峰值检测单元 309 检测由 FFT 单元 308 得到的频谱的峰值。

轴承缺陷基频计算单元 310 基于由转速检测器 315 检测出的滚动轴承的转速和从存储轴承各元素的 ROM316 中读出的轴承的内部各元素，计算表示轴承的缺陷的基本函数。

比较单元 311 对由峰值检测单元 309 得到的峰值和由轴承缺陷基频计算单元 310 计算出的频率进行比较，将其一致度数值化后输出。

累计单元 312 将来自比较单元 311 的输出值进行累计并输出其结果。

诊断单元 313 基于累计单元 312 的累计结果诊断异常。

诊断结果输出单元 314 输出诊断单元 313 的诊断结果。

上述峰值检测单元 309 包括移动平均化处理单元、平滑化微分处理单元、阈值挑选单元、分类挑选单元。

移动平均化处理单元将由 FFT 单元 308 得到的频谱（频域的离散数据）左右对称地加权进行移动平均化。

平滑化微分处理单元在通过移动平均化处理单元的移动平均化处理时进行数值微分运算，将微分系数的符号变化的频率点作为频谱的峰值提取。

阈值挑选单元挑选由平滑化微分处理单元提取的峰值中振幅等级的方均平方根为阈值以上的峰值。阈值使用由平滑化微分处理单元提取的峰值的功率平均值或对应于方均平方根而决定的相对的值。

分类挑选单元在由阈值挑选单元挑选的峰值中，从振幅等级的方均平方根大的中挑选直到规定个数为止的峰值。作为其最简单的方法，例如，可以举出使用公知的分类算法，将多个峰值关于等级而设为降序类之后，从高位的峰值起进行选择的方法。

这里，关于表示第 6 实施例的异常诊断系统的具体的结构要素的微型计算机（MPU）及其周边电路的实施例的方框图（硬件结构图），考虑与图 17 同样的结构。另外，关于这些说明与前述同样，所以这里省略说明。

另外，由图 24 所示的异常诊断系统进行数字运算处理的功能块中一次（每 1 循环）处理的数据量最大的是 FFT 单元 308。为了由 MPU220 内的 DSP220b 实现 FFT 单元 308，FFT 运算处理使用的数据需要容纳在 X/Y-RAM220e 中。

另一方面，为了通过轴承的振动解析来检测伤，需要以直到 10kHz 左右为止的频带来观测波形，但成为伤的特征的频率一般为 1kHz 以下。

在本例中，假设诊断对象的轴承的伤的特征频率为 100Hz 以下的低频率，将 FFT 单元 308 的频率分辨率设为 1Hz（ $\pm 0.5\text{Hz}$ ），将采样频率设为 32.768kHz，将采样时间（ T_w ）设为 750ms。从而，原波形的采样个数为 $32768 \times 0.75 = 24576$ 。最终在 FFT 单元 308 求频谱的阶段，通过进行零插补以使采样时间成为 1s，频率分辨率成为 1Hz（ $\pm 0.5\text{Hz}$ ）。

数字滤波单元 303 的通过带宽配合由异常引起的振动和噪声的 S/N 比最大的频带而被选定。例如，在预先知道剥离缺陷的 S/N 比在 1kHz~4kHz 的频带最大的情况下，将数字滤波单元 303 的通过带宽选定为 1kHz~4kHz。这种数字滤波器可以由使用了 FIR 滤波器、IIR 滤波、FFT 和逆 FFT（IFFT）的滤波器等构成，但在内置了定点运算方式的 DSP 的 RISC 型微型计算机的情况下，FIR 滤波器适用。

绝对值化处理单元 305 为了对包络线或绝对值波形消除 DC 分量而取平均值, 重建振幅零的线。通过该绝对值处理 (包络线处理), 轴承缺陷引起的小于 1kHz 的低频信号显著化。在该时刻, 由于也包含高频信号, 所以最好在 FFT 之前加上仅使小于 1kHz 的低频信号通过的 FIR 低通滤波器, 但由于已经对原波形实施了通过数字滤波单元 303 的带通滤波处理和通过绝对值化处理单元 5 的绝对值化 (包络线提取) 处理, 所以即使省略 FFT 单元 308 前一个的低通滤波处理, 对轴承缺陷的诊断精度的影响也很小。

抽选单元 304 的 FFT 运算点的抽取率 (抽取量) 以及零插补单元 306 的插补率或者插补位数根据要分析的频带、频率分辨率、FFT 运算点数等而决定。在本例中, 由于要实现 MPU220 内的 DSP220b 的超高速 FFT 运算处理, 因此 FFT 运算点数自然由可从 DSP220b 通过并行专用总线访问的 X/Y-RAM220e 的容量限制。

由 FFT 单元 308 运算处理的数据由实部和虚部构成, 分别被分配给 X/Y-RAM220e 的 X-RAM 和 Y-RAM。如果采用在输入和输出供给存储区域的方式, 则可以对 8kB 的数据长进行 FFT。如果 A/D 变换器 223b 的分辨率为 16 位 (2 字节), 则通过运算变量也预先设为 2 字节长, 可以由 DSP220b 高速处理直到 8192/2 字节即 4096 点为止的数据。

将采样频率 (f_s , fft) 为 1.0Hz 时的 FFT 的区间长设为 T_w , fft 时, 必要的频率分辨率 Δf_w 表示为 $\Delta f_w = 1/T_w$, fft 。从而, 只要 T_w , $fft = 1$ 就满足主要条件。

在本例中, 由于将采样时间 T_w , fft 设为 0.75s, 所以 0.25s 采样时间不足。该不足部分通过零插补单元 306 进行插补, 但仅进行了零插补的话, 数据数也达到 32786。

这里, 将当初的采样个数 (32768) 抽取为由 DSP220b 的 X/Y-RAM220e 的容量和运算的字节长决定的上限的 FFT 运算点数的 4096 时, 数据数成为当初的 1/8, FFT 单元 308 的采样频率也被削减至 $32768/8 = 4096$ 。从而, 可以由 FFT 单元 308 分析的频率的上限 (乃奎斯特频率) 成为其一半的 2.048kHz, 但即使这样也充分地覆盖了表示轴承的缺陷的频率 (小于 1kHz)。

在本例中, 以此为基准在 32.768kHz 进行 0.75s 的采样 (24576 点), 在由数字滤波单元 303 和绝对值化处理单元 305 将频带低频化后进行 1/8 的抽取处理, 将采样数和采样频率分别降低到 3072 点和 4.096Hz, 对于不足 4096

的点, 在 3072 点之后补位 1024 个零 (0) 而设为 4096 点的采样波形数据 (参照图 25)。该波形数据经由汉宁窗函数单元 307 被输入 FFT 单元 308。该汉宁窗函数单元 307 通过对输入波形数据乘以汉宁窗函数, 从而减轻被输入 FFT 单元 308 的波形数据两端的影响。通过由 FFT 单元 308 对该波形数据进行 FFT, 以 1Hz 的分辨率得到频谱。得到的频谱数据被输入峰值检测单元 309。

峰值检测单元 309 中将由 FFT 单元 308 得到的频谱左右对称地加权而移动平均化。由此, 频谱被平滑化、噪声被减轻。

进而, 在移动平均化处理时进行数值微分运算。然后, 将微分系数的符号变化的频率点作为频谱的峰值而提取。然后, 挑选提取出的峰值中振幅等级的方均平方根为阈值以上的峰值, 从振幅等级的方均平方根大的峰值中挑选直到规定的个数 (例如 10 个) 为止的峰值。

另一方面, 轴承缺陷基频计算单元 310 基于由转速检测器 315 检测出的滚动轴承的转速和从 ROM316 中读出的轴承的内部各元素, 计算表示轴承的缺陷的基本函数。通过转速检测器 315 对轴承的转速的检测与通过振动传感器 317 的振动检测同步 (例如 0.75s 一次) 重复执行多个周期。

然后, 由峰值检测单元 309 检测出的峰值的频率和由轴承缺陷基频计算单元 310 计算出的基频与每个周期同步被输入比较单元 311。

比较单元 311 在每次峰值的频率和基频被输入时, 对基频及其高次谐波和峰值的频率进行比较, 赋予与两者一致的程度对应的点数 (数值化), 将该值输出到累计单元 312。这里的点数的赋予方法的例子如下表所示。

[表 3]

检测分量	异常诊断点数
基本波、2 阶、3 阶、4 阶	16
基本波、2 阶、3 阶	8
基本波、2 阶、4 阶	8
上述以外	0

在该情况下, 对于一次的波形取入的诊断处理相当于对计算出的由轴承缺陷引起的振动的基频和直到 4 次为止的高次谐波分量赋予与检测出的峰值一致的程度对应的诊断点数。

然后, 通过重复频率峰值检测, 在每一次加上诊断点数, 并评价点数的累计值, 从而可以减轻频谱的偏差的影响从而高精度地进行异常诊断。

图 26 以柱状图表示导入了缺陷的轴承（缺陷品）和没有缺陷的轴承（正常品）的诊断点数的累计值。本例对内轮旋转类型的轴承使用上述异常诊断系统进行测试。内轮旋转类型的轴承中在外轮轨道上产生损伤的情况较多，所以在本例中也对外轮轨道导入伤来进行测试。将 4 组轴承用于诊断对象，对其中的 2 组导入外轮伤。在该测试条件下，外轮轨道有缺陷的情况下的基频为 100Hz 以下。关于基波，如果峰值的频率在基频的 $\pm 1.0\text{Hz}$ 的范围内，则判断为与峰值的频率一致，关于 2 阶、3 次、4 次的各高次谐波，如果峰值的频率在各高次谐波频率的 $\pm 2.0\text{Hz}$ 的范围内，则判断为与峰值的频率一致，加上上述表 1 的点数。测试时间设为 60 秒。1 周期的采样时间为 0.75 秒，用于输出异常诊断点数的运算所用时间花费 0.15 秒左右。数据取入通过 DMA 进行，运算处理在取入下一次的数据期间以 0.15 秒进行，所以如图 27 所示，总体来看，通过 $60(+0.15)$ 秒钟连续使本系统运转，可以执行 $80(=60/0.75)$ 次的诊断处理。

如图 26 所示，即使是正常品，稍微的噪声也被计数，但与缺陷品的差很明显。由于缺陷品和正常品之间产生很大差别，所以由于可以将阈值的范围取很大，因此可以将该范围作为灰色区域而发出阶段性的警报。

图 21 是表示关于 FFT 运算处理的时间，对比使用 DSP220b 的情况和仅使用 CPU220a 进行的情况的曲线图。由于为了与 DSP220b 内的 X/Y-RAM220e 的容量一致而将 FFT 运算的点数由数字滤波单元 303 降低频带之后由抽选单元 304 抽取，所以可以由 DSP220b 非常高速地执行 FFT 运算。

如以上所说明的，在本实施例的异常诊断系统种，为了将检测信号变换为数字信号，取出诊断所需的频带的信号，求对其进行了抽取处理的信号的包络线，并以任意的频率分辨率对该包络线进行 FFT，而进行零补位插补，进而通过汉宁窗函数得到诊断所使用的信号之后，通过 FFT 进行频率分析，基于得到的频谱来诊断异常，所以以与 FFT 运算所使用的运算装置一致的采样频率以及频率分辨率对检测信号进行 FFT 从而可以高精度地实施异常诊断。

此外，将由 FFT 得到的频谱进行移动平均化处理，进而将该频谱进行平滑化微分，从而将微分系数的符号从正向负变化的频率点作为峰值检测出之后，提取规定的阈值以上的峰值，将它们分类后将其中的高位规定数个作为峰值提取，求这些峰值种对应于振动的主分量的峰值或与振动的主分量以及

高次谐波对应的峰值和表示诊断对象的异常的频率的一致度，对该一致度赋予点数而累计多次，通过评价该累计值来判断异常，所以即使在异常信号或异常预兆信号和噪声信号的 S/N 比小的条件下，也可以非常高精度且高效率地实施异常诊断而不会将噪声信号误检测为异常或异常预兆信号。

[第 7 实施例]

图 28 是包括第 7 至第 13 实施例的异常诊断装置的铁道车辆的概略结构图。铁道车辆 401 包括 4 组车轮（共 8 个）402-1 ~ 402-4、将它们自由旋转地保持在底盘 403 下的 4 个轴承 404-1 ~ 404-4，底盘 403 上设置有异常诊断装置 410。

异常诊断装置 410 包括传感器单元 420 和控制盘 430。传感器单元 420 是检测底盘 403 的振动的单元。控制盘 430 包括诊断电路 431，基于传感器单元 420 的输出信号，诊断有无轴承 404-1 ~ 404-4 的剥离或车轮 402-1 ~ 402-4 的扁平异常。是诊断电路 431 的诊断内容（警报信号）通过车辆 401 内的通信线路被传送到驾驶室或指令处的系统。

在以下的第 8 至第 12 实施例中，如图 38 这样，作为表示轴承 404-1 ~ 404-4 的剥离等劣化的参数，利用 Peak/RMS (Root Mean Square)。这里，Peak 是一定区间中的最大振幅的绝对值，RMS 是一定区间中的振动电压的方均的平方根值。这里，作为对象的波形是表示如图 39 这样的底盘 403 的振动的波形，包含轨道的接缝引起的冲击声或摩擦声等与构成车辆 401 的机械元件的劣化没有关系的噪声。这种噪声与轴承 404-1 ~ 404-4 的剥离或车轮 402-1 ~ 402-4 的扁平异常引起的振动相比，具有非常大的振幅。

图 29 是表示传感器单元 420 的第 7 结构例子的方框图。图 29 所示的传感器单元 420 包括振动传感器 (Sens) 421、作为参数值检测电路以及模拟运算电路的方均的平方根运算电路 (RMS-DC; 以后，记述为 RMS 运算电路) 422、峰值检测电路 (Peak) 423、作为比较电路的第一比较器 (CMP1) 424、作为峰值-参照值比较电路的第二比较器 (CMP2) 425、参照电压输出电路 (Vref.) 426。另外，RMS 运算电路 422 基于下面的计算式 (3) 进行方均的平方根运算。

[算式 6]

$$\sqrt{\sum \frac{x_i^2}{n}} \quad (3)$$

X_i : 第 i 个实测值 (时刻 I 的值)

n : 采样数 (区间长) 振动传感器 421 是由压电陶瓷检测铅直方向的振动的传感器, 检测 50Hz ~ 10kHz 的频带的振动, 将该振动波形作为电气信号输出。振动传感器 421 的输出信号 (振动信号) 由放大电路 427 放大之后被同时输入 RMS 运算电路 422 和峰值检测电路 423。

RMS 运算电路 422 通过处理被输入的振动信号, 从而输出与该振动信号的电压 RMS 相当的电压 (以下记作 RMS 电压) 的直流信号。该 RMS 运算电路 422 例如使用内置了缓冲放大器、绝对值电路、平方/除法电路、输出用滤波器放大器电路等的 RMStoDC 转换器 IC。作为该 RMStoDC 转换器 IC 的具体例子, 举出商品信号 'AD637': 模拟装置公司 (アナログデバイスズ) 制等。

RMS 运算电路 422 的时间常数可以由外置的电容器决定。在本例中, 设为 100ms。此外, RMS 运算电路 422 包含将 RMS 电压放大为一定的倍率而输出的电路。在本例中, 假设输出 4 倍的电压。

峰值检测电路 423 输出被输入的振动信号的峰值电压。峰值检测电路 423 的时间常数与 RMS 运算电路 422 的相等, 输出时的电压电平的放大程度为 1。

RMS 运算电路 422 的输出信号被输入第一比较器 424 的第一输入端子。峰值检测电路 423 的输出信号被输入第一比较器 424 的第二输入端子和第二比较器 425 的第一输入端子。第二比较器 425 的第二输入端子被输入来自参照电压输出电路 426 的参照电压。

第一比较器 424 对来自 RMS 运算电路 422 的信号电压即 RMS 电压的 4 倍的电压和来自峰值检测电路 423 的信号电压即峰值电压进行比较。然后, 如果峰值电压大则输出 +5V 的电压 (第一电压) 信号, 如果峰值电压小则输出 -5V 的电压 (第二电压) 信号。即输出波峰因数 (Peak/RMS) 是否超过 4。

第二比较器 425 对来自峰值检测电路 423 的信号电压即峰值电压和来自参照电压输出电路 426 的参照电压进行比较。然后, 如果峰值电压比参照电压大则输出 +5V 的电压信号, 如果峰值电压小则输出 -5V 的电压信号。参照电压被挑选为比轴承等的异常引起的信号的电压电平高的电平。

第一比较器 424 的输出信号被输入门电路 428 的检测信号输入端子。第二比较器 425 的输出信号被输入门电路 428 的控制信号输入端子。门电路 428 在从第二比较器 425 提供 -5V 的电压信号的情况下仍然输出来自第一比较器

424 的信号 (+5V 或 -5V), 但在从第二比较器 425 提供 +5V 的电压信号的情况下, 通常输出 0V 的电压信号。

下述表 4 表示传感器单元 420 的第一以及第二比较器 424、425 中比较结果和门电路 428 的输出的关系。在表 1 中, $4 \times \text{RMS}$ 是第一比较器 424 的输入电压, peak 是第二比较器 425 的输入电压 (峰值电压), Vref 是参照电压输出电路 426 的输出电压 (参照电压), Output 是门电路 428 的输出电压。另外, 应该注意到第一以及第二比较器 424、425 的输出电压分别为 2 值。门电路 428 根据来自第二比较器 425 的信号的真假, 控制使来自第一比较器 424 的信号原样通过 (-5V 或 +5V), 或使其无效 (0V)。第二比较器 425 的输出是开闭控制信号, 门电路 28 的输出是门输出, 而且第一比较器 424 的输出是信号源。

[表 4]

peak $\geq 4 \times \text{RMS}$	peak < Vref	Output
T	T	+5V
F	T	+5V
T	F	0
F	F	0

T: True F: False

如表 4 所示, 仅在由振动传感器 421 检测出的振动信号的峰值电压 (peak) 在参照电压 (Vref) 即轴承等的异常引起的信号的电压电平以下的情况下, 传感器单元 420 输出表示峰值电压 (peak) 和 RMS 电压的 4 倍的电压的大小关系的信号 (+5V 或 -5V)。由此, 通过轨道的接缝引起的冲击声或摩擦声等与构成车辆 401 的机械元件的劣化没有关系的噪声引起的非常大的信号, 防止传感器单元 420 的输出饱和。在传感器单元 420 的输出电压为 +5V 表示 Peak/RMS 超过一定的基准, 反之传感器单元 420 的输出电压为 -5V 表示 Peak/RMS 不满足一定的基准。

控制盘 430 的诊断电路 431 通常监视传感器单元 420 的输出信号, 将单位时间 (这里为 60 秒钟) 中的 +5V 的电压信号的输出时间的比例作为 Peak/RMS 超过基准的占空比来计算 (参照图 30)。然后, 发出与计算出的占空比对应的警报等级的警报信号。警报信号每秒被更新, 占空比的计算通常基于接收到来自传感器单元 420 的最新的信号时起到 60 秒前为止的接收信号

来进行。该警报信号通过车辆 401 内的通信线路被传送到驾驶室或指令处。驾驶室或指令处中设有各种颜色不同的多个警报灯，根据从传感器单元 420 接收到的警报信号的警报等级，规定颜色的警报灯点亮或闪烁。

下述表 5 例示上述占空比和警报等级的对应关系。此外，表 5 中也例示警报等级和警报灯的颜色对应关系。

[表 5]

Peak/RMS 超过基准的占空比	警报等级	警报灯的颜色
小于 20%	正常	
大于等于 20% 小于 40%	要注意	黄
大于等于 40% 小于 80%	警报等级 I	橙
大于等于 80%	警报等级 II	红

该异常诊断装置 410 用于监视铁道车辆的行驶中是否有异常，表 5 所示的警报与脱轨预知等不同，不假设在检测出异常的情况下停止列车。即使是表 5 中的最高的警报等级的警报等级 II，例如是一周以内要求目视检查的程度的警报。即使在发生了轴承的剥离、车轮的扁平的情况下，该列车也不是立即不能运行，所以表示检查的标准可以说是使用异常诊断装置 410 的主要目的。但是，列车的行驶速度越高则检查的紧急度越高。在最高时速超过 200km 这样的超高速铁路中，如果发生上述警报等级 II 的警报则最好快速停止列车并实施检查。

[第 8 实施例]

图 31 是表示传感器单元 420 的第 8 实施例的方框图。图 31 所示的传感器单元 420 包括振动传感器 (Sens) 421、放大器 427、被输入来自放大器 427 的信号的频带不同的三个带通滤波器 (BPF) 441-1 ~ 441-3、分别处理通过各带通滤波器 441-1 ~ 441-3 的信号的三个信号处理单元 442-1 ~ 442-3。带通滤波器 441-1 ~ 441-3 在本例中分别具有 500Hz、1.5kHz、3kHz 的中心频率。

各信号处理单元 442-1 ~ 442-3 分别包括 RMS 运算电路 (RMS-DC) 422、峰值检测电路 (Peak) 423、比较器 (CMP) 424。

振动传感器 421 与图 29 的例子同样，检测 50Hz ~ 10kHz 的频带的振动，将其振动波形作为电气信号输出。振动传感器 421 的输出信号 (振动信号) 由放大电路 427 放大之后，同时被输入三个带通滤波器 441-1 ~ 441-3。通过各带通滤波器 441-1 ~ 441-3 的各个频带不同的信号分别被输入信号处理单元

442-1 ~ 442-3 内的 RMS 运算电路 422 和峰值检测电路 423。即, 在本例中, 第一信号处理单元 422-1 内的 RMS 运算电路 422 和峰值检测电路 423 中被输入通过了第一带通滤波器 441-1 的低频带 (中心频率 500Hz) 的振动信号。第二信号处理单元 442-2 内的 RMS 运算电路 422 和峰值检测电路 423 中被输入通过了第二带通滤波器 441-2 的中间频带 (中心频率 1.5kHz) 的振动信号。第二信号处理单元 442-2 内的 RMS 运算电路 422 和峰值检测电路 423 中被输入通过了第三带通滤波器 441-3 的高频带 (中心频率 3kHz) 的振动信号。

各信号处理单元 442-1 ~ 442-3 内的 RMS 运算电路 422 通过对输入的振动信号进行处理, 从而输出该振动信号的 RMS 电压的 4 倍的电压。

各信号处理单元 442-1 ~ 442-3 内的峰值检测电路 423 输出被输入的振动信号的峰值电压。峰值检测电路 423 输出时的电压电平的放大倍数为 1。各信号处理单元 442-1 ~ 442-3 内的 RMS 运算电路 422 的输出信号被输入比较器 424 的第一输入端子。峰值检测电路 423 的输出信号被输入比较器 424 的第二输入端子。

各信号处理单元 442-1 ~ 442-3 内的比较器 424 对来自 RMS 运算电路 422 的信号电压即 RMS 电压的 4 倍的电压和来自峰值检测电路 423 的信号电压即峰值电压进行比较。然后, 如果峰值电压大则输出 +5V 的电压信号, 如果峰值电压小则输出 -5V 的电压信号。

控制盘 430 的诊断电路 431 始终监视传感器单元 420 的各信号处理单元 442-1 ~ 442-3 的输出信号, 将每个信号中单位时间 (这里设为 60 秒钟) 中的 +5V 的电压信号的输出时间的比例作为 Peak/RMS 超过基准的占空比来计算 (参照图 32)。然后, 发出与计算出的占空比对应的警报等级的警报信号。

在本例中, 与图 29 的例子不同, 对占空比的计算所使用的峰值电压没有设上限, 所以作为噪声对策, 在占空比的基准中含有噪声分量。

在表 5 的例子中, 在小于表示正常的占空比 20% 中, 应该估计了轨道的接缝引起的冲击声或摩擦声等与构成车辆 401 的机械元件的劣化没有关系的噪声。

[第 9 实施例]

图 33 是表示传感器单元 420 的第 9 实施例的方框图。图 33 所示的传感器单元 420 包括: 振动传感器 (Sens) 421、放大器 427、被输入来自放大器 427 的信号的信号的低通滤波器 451、处理通过低通滤波器 451 的信号的信号处理单

元 452。低通滤波器 451 具有 1kHz 程度的截止频率。通过截断超过 1kHz 程度的信号，可以切断轨道的接缝引起的冲击声或摩擦声等与构成车辆 401 的机械元件的劣化没有关系的噪声引起的非常大的信号，并仅捕捉机械元件的振动。

信号处理单元 452 包括 RMS 运算电路 (RMS-DC) 422、峰值检测电路 (Peak) 423、比较器 (CMP) 424。

振动传感器 421 与图 29 的例子同样，检测 50Hz~10kHz 的频带的振动，将其振动波形作为电气信号输出。振动传感器 421 的输出信号 (振动信号) 由放大电路 427 放大之后，被输入低通滤波器 451。然后，通过低通滤波器 451 的 1kHz 程度以下的信号被输入信号处理单元 452。信号处理单元 452 中的处理与图 31 中的各信号处理单元 442-1~442-3 中的处理同样。

根据该第 9 实施例，由于仅捕捉 1kHz 程度以下的信号并输入信号处理单元 452，所以可以通过轨道的接缝引起的冲击声或摩擦声等与构成车辆 401 的机械元件的劣化没有关系的噪声引起的非常大的信号防止传感器单元 420 的输出饱和。

[第 10 实施例]

图 34 是表示传感器单元 420 的第 10 结构例子的方框图。图 34 所示的传感器单元 420 包括除了图 33 的结构之外，还包括被输入来自放大器 427 的信号的高通滤波器 (HPF) 453、处理通过高通滤波器 453 的信号的信号处理单元 454。信号处理单元 454 的结构与低通滤波器 451 侧的信号处理单元 452 相同。高通滤波器 453 具有 1kHz 的截止频率。通过仅对信号处理单元 454 输入 1kHz 以上的信号，可以有效地检测轴承的点蚀。

[第 11 实施例]

图 35 是表示传感器单元 420 的第 11 实施例的方框图。图 36 所示的传感器单元 420 包括：振动传感器 (Sens) 421、放大器 427、将放大器 427 的输出变换为数字信号的 A/D 变换器 (ADC) 455、处理来自 A/D 变换器 455 的信号的微处理器 (MPU) 456。MPU456 按照存储于其内部的程序对来自 A/D 变换器 455 的输入信号进行数字处理，从而完成上述 RMS 运算单元 422、峰值检测电路 423 以及比较器 424 的功能，同时也进行表 5 中例示的诊断处理。从而，根据该结构例子，可以省略控制盘 430 的诊断电路 431。也可以使用 DSP (数字信号处理器) 来代替 MPU456。此外，如果使用内置了 A/D 变换

器的微处理器来代替 MPU456, 则可以省略外置的 A/D 变换器 455。

但是, 在使用 MPU 或 DSP 来进行运算处理的情况下, RMS 运算处理容易成为相当繁重的处理。平方的总和运算在进行定点数运算的系统中容易引起饱和, 一般不存在平方根的命令。

从而, 如果 RMS 运算处理相当复杂且其它的处理比较简单, 则与使用 MPU 或 DSP 相比, 通过现场可编程门阵列 (FPGA) 来实现使 RMS 运算的处理效率优先的专用的数字运算电路比较有利。关于通过 FPEG 的运算电路, 对于微型计算机或 DSP 的优势性根据实际的信号处理而不同, 但希望通过硬件的高速化, 比微型计算机电路减小的可能性也提高。在微型计算机中已经最初装载了的加法器以及乘法器等在 EPGA 中需要后写入。但是, 反过来, 由于可以仅必要时装载运算功能和周边功能, 所以可以期待装置的小型化或运算的并行化高速化。

[第 13 实施例]

这里, 在图 37 所示的第 13 实施例中, 通过对来自 A/D 变换器 (ADC) 455 的输入信号进行数字处理, 从而实现上述 RMS 运算电路 422、峰值检测电路 423 以及比较器 424 的功能, 同时包括 EPGA457 作为也进行表 5 中例示的诊断处理的专用的数字电路。另外, 在上述实施例的说明中, 使用 Peak/RMS (波峰因数) 作为表示轴承 404-1 ~ 404-4 的剥离等劣化的参数, 但也可以代替它们而使用峰态 (Kurtosis)、冲击指数 (Peak/绝对值平均) 或波形系数 (RMS/绝对值平均)。

[算式 7]

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^4 \quad (4)$$

n: 采样数 (区间长)

Xi: 第 i 个实测值 (时刻 I 的值)

σ : 标准偏差

平均值为零的振动波形中, σ 与 RMS 值相等也没关系。四次方电路可以应用 RMS 电路中包含的平方电路。从而, 使用峰态 (Kurtosis) 来代替上述实施例中的波峰因数 (Peak/RMS) 的实施例也可以实现。即, 使用求峰态、冲击指数或波形系数的电路来代替上述 RMS 运算电路 (RMS-DC) 422 的结构也包含于本发明的异常诊断装置中。

[第 14 实施例]

首先, 参照图 40~图 45 说明第 14 实施例的异常诊断装置。

如图 40 所示, 一辆铁道车辆 500 由前后两个底盘支承, 各底盘上安装了 4 个车轮 501。各车轮 501 的转动支承装置 (轴承箱) 510 中安装了对在运转中从转动支承装置 510 发生的振动进行检测的振动传感器 511。

在铁道车辆 500 的控制盘 515 上搭载有两个同时 (大致同时) 取入 4 信道的传感器信号而实施诊断处理的异常诊断装置 550。即, 各底盘上设置的 4 个振动传感器 511 的输出信号分别经由信号线 516 被输入每台车不同的异常诊断装置 550。此外, 异常诊断装置 550 中也被输入来自对车轮 501 的转速进行检测的转速传感器 (省略图示) 的转速脉冲信号。

如图 41 所示, 转动支承装置 510 中作为一例, 设有作为转动部件的车轴轴承 530, 车轴轴承 530 包括: 作为外嵌在转动轴 (未图示) 上的转动轮的内轮 531、作为内嵌在外壳 (未图示) 中的固定轮的外轮 532、作为配置在内轮 531 以及外轮 532 之间的多个转动体的滚动体 533、将滚动体 533 自由滚动地保持的保持架 (未图示)。振动传感器 511 被保持为可以检测重力方向的振动加速度的姿态, 并被固定在外壳的外轮 532 附近。振动传感器 511 使用加速度传感器、AE (acousticEmission) 传感器、超声波传感器、冲击脉冲传感器等各种传感器。

如图 42 所示, 异常诊断装置 550 具有传感器信号处理单元 550A、诊断处理单元 (MPU) 550B。传感器信号处理单元 550A 具有四个放大滤波器 (AFILT) 551。而且, 4 个振动传感器 511 的输出信号被单独输入放大滤波器 551。各放大滤波器 551 兼有模拟放大器的功能和抗混淆的功能。由这 4 个放大滤波器 551 放大且滤波后的 4 信道的模拟信号, 基于诊断处理单元 (MPU) 550B 的信号, 由作为切换功能起作用的多路器 (MUX) 切换为每一个信道的信号, 由 AD 变换器 (ADC) 553 变换为数字信号, 并被取入诊断处理单元 (MPU) 550B。另一方面, 来自转速传感器的转速脉冲信号由波形整形电路 555 整形之后, 由时间计数器 (省略图示) 记述单位时间的脉冲数, 该值被作为转速信号输入诊断处理单元 (MPU) 550B。诊断处理单元 (MPU) 550B 基于由振动传感器 511 检测出的振动波形和由转速传感器检测出的转速信号, 执行异常诊断。诊断处理单元 (MPU) 550B 的诊断结果经由线路激励器 (LD) 556 被输入通信线路 520 (参照图 40)。通信线路 520 被连

接到警报器，进行应在在车轮 501 的扁平异常发生时进行的警报动作。

在由转速传感器检测出的转速信号为大致一定的规定速度（在本实施例中， $185 \sim 370 \text{min}^{-1}$ ）时，诊断处理单元（MPU）550B 对采样频率 f_s 和采样数 N_s 一定的波形块数据进行处理，从而进行车轮 501 的扁平的检测。具体来说，设为 $f_s = 2 \text{kHz}$ 、 $N_s = 2000$ 时，块数据的区间长 = 1sec。通过对在该一秒钟对扁平引起的振动波形脉冲进行计数的次数和从由转速传感器检测出的车速起一秒钟车轮 501 转动的次数进行比较，从而进行扁平的检测。

车轮 501 发生扁平的状态下的振动加速度大，通常的车辆振动所引起的振动加速度的值通常比其小。此外，轨道接缝的振动为与扁平同等或比其大的振动加速度的等级。进而，轨道的转弯处的轨道和车轮 501 的摩擦引起的振动加速度的等级也与扁平或轨道接缝引起的同等。诊断处理单元（MPU）550B 在其内部具有存储器（RAM）559，可以利用其来非常高速地执行 FFT 或数字滤波。由此，可以对 4 信道的振动传感器 511 执行实时处理（即，与采样时间相比具有相当的余量的短时间的计算）。

另一方面，扁平转动一周中引起一次冲击，而轨道的接缝引起的冲击的情况以更长时间发生，在轨道摩擦引起的冲击的情况下，不规则地发生。因此，在本实施例中，着眼于超过扁平特有的振动加速度的阈值的冲击（脉冲）发生的规则性，对大致一定速度中的单位时间的冲击波次数进行计数，如果该计数大致与车轮的转动数一致，则作为发生扁平的可能性高来进行异常诊断。

进而，在本实施例中，设计对相同的车轮 501 反复进行诊断处理的算法，与考虑了脉冲数的计数数的偏差和噪声的影响等的统计上的判断方法相比，异常诊断的可靠性提高。

图 43 表示异常诊断装置 550 的 4 信道的振动数据的取入和数据解析的时序图。振动数据不断被取入异常诊断装置 550，但根据诊断对象而可以分割成一定的采样区间。轴承 530 的诊断（剥离检测）所需的取入周期 T_1 小于一秒就足够，为了减轻轨道和车轮 501 的接触噪声的影响，也最好尽可能为短时间。相反，为了检测车轮 501 的转动面的异常，需要检测车轮 501 每次旋转的冲击，所以需要比周期 T_1 长的 1 秒程度的周期 T_2 。

将用于轴承诊断的振动数据的取入周期 T_1 设为与 4 信道（channel）的振动数据的取入所需的时间一致的例如 0.67 秒，并将采样频率设为 20kHz 时，

在 1 周期 T1 期间取入 $4 \times 0.67 \times 20000$ 点的数据。从而，将用于车辆诊断的振动数据的取入周期 T2 设为 1 秒时，以用于轴承诊断的振动数据的取入周期 T1 进行振动数据的取入中成为不足 0.33 秒。因此，通过接上 1 区间、即周期 T1 的数据和前一个区间的最后的 0.33 秒的数据，从而成为周期 T2 的数据。其中，如后所述，由于数据数可以通过滤波后的抽选处理来抽取，所以 1 信道可以设为 2000 点以下。其结果，通过使执行 4 信道车轮 501 和轴承 530 的诊断所需的时间小于周期 T1 即 0.67 秒，可以使车轮、轴承诊断数据的处理时间具有余量。

在本实施例中，诊断处理单元 (MPU) 550B 并行进行上述振动数据的取入和车轮、轴承诊断数据处理。即，进行在 4 信道的振动数据的取入周期 T1 内完成车轮、轴承诊断数据处理的实时处理。该实时处理通过诊断处理单元 (MPU) 550B 对传感器信号处理单元 550A 的多路器 552 和 AD 变换器 553 进行中断控制并进行数据采样而实现。此外，通过直接存储器存储控制器 (DMA) 的数据采样也可以实现。

这样，通过使车轮、轴承诊断数据的时间处理具有余量，并行进行振动数据的取入和车轮、轴承诊断数据的处理，从而可以消除数据的意外失败，所以可以提高对轨道的不规则性或车体的摇摆、载重变动等引起的包含概率过程的数据进行统计处理而得到的诊断结果的可靠性。

图 44 表示诊断处理单元 (MPU) 550B 的动作流程。诊断处理单元 (MPU) 550B 并行执行振动数据的取入、即 4 信道的传感器信号的 AD 变换以及采样 (S300) 和轴承、车轮诊断数据处理 (S400)。

在轴承、车轮诊断数据处理 (S400) 中，每次进行 4 信道的振动数据的更新 (S401) 时，依次执行转速检测处理 (S402)、诊断处理 (S403)、诊断结果的存储保持处理 (S404) 以及判定结果的输出处理 (S405)。

转速检测处理 (S402) 是基于转速传感器的信号来检测轴承 130 的转速的处理。

诊断处理 (S403) 由轴承诊断处理 (S410) 和车轮诊断处理 (S420) 构成。

轴承诊断处理 (S410) 是基于轴承 530 的转速和处理振动的包络线波形而得到的频率峰值来检测轴承 530 的异常的处理。轴承诊断处理 (S410) 中，首先执行从取入的振动数据中提取将高频 (3kHz 以上) 和低频 (200Hz 以下)

的分量衰减了的中频的振动数据的带通滤波 (BPF) 处理 (S411), 在对提取出的数据以规定的抽取率进行了抽选处理 (S412) 之后, 依次执行绝对值处理 (S413)、提取低频 (1kHz 以下) 的分量的低通滤波处理 (S414)。而且, 在对提取出的数据进一步执行了抽选处理 (S415) 之后, 通过执行零插补快速傅立叶变换 (FFT) 处理 (S416), 从而得到分辨率 1Hz 的频率数据。对该频率数据实施平滑化微分的峰值检测处理 (S417), 对转速和从轴承内部各元素得到的轴承缺陷的基频 (参照图 45) 进行直到 4 次为止的比较, 从而判定一致、不一致 (S418: 轴承缺陷判定处理)。

车轮诊断处理 (S420) 是从与车轮 501 的转动同步发生冲击的现象来检测车轮 501 的异常的处理。与车轮 501 的旋转同步产生的冲击的主要的发生原因是存在在车轮 501 的转动面上产生的被称作扁平的平坦部分。在车轮诊断处理 (S420) 中, 首先执行从取入的振动数据中提取规定频率 (1kHz) 以下的分量的低通滤波 (LPF) 处理 (S421), 在以规定的抽取率对提取出的数据执行了抽选处理 (S422) 之后, 如图 43 所说明的, 为了确保比 1 采样区间 (周期 T1) 长的区间 (周期 T2) 的数据而执行将当前采样区间的前一个采样区间的最后的 1/3 的数据接在当前的采样区间的数据的最初的交迭 (overlap) 处理 (S423)。接着, 将经过该交迭处理 (S423) 的数据中超过阈值的数据通过峰值保持 (peak hold) 处理 (S424) 进行绝对值化而仅一定时间 (τ) 保持为超过阈值的值。该保持时间 (τ) 由车轮 501 的转速决定, 被挑选为比车轮转动一周短的值。该进行绝对值化并保持一定时间的峰值保持处理可以进行稳定的峰值计量。而且, 对脉冲超过阈值的次数进行计数 (S425: 超过阈值次数计数处理), 判定计数数是否与车轮 501 的转动数一致 (S426: 车轮缺陷判定处理)。

对在步骤 S401 被更新的 4 信道的振动数据反复进行轴承诊断处理 (S410) 以及车轮诊断处理 (S420)。即, 在每一次数据更新时, 分别实施 4 次轴承诊断处理 (S410) 以及车轮诊断处理 (S420)。然后, 各次的判定处理 (S418、S426) 的判定结果被存储保持在诊断处理单元 (MPU) 550B 内 (S404)。诊断处理单元 (MPU) 550B 存储保持从最新的判定结果追溯过去 N 次的判定处理 (S418、S426) 的结果, 根据该 N 次的判定结果在统计上进行异常判定, 并输出该结果 (S405)。

即, 在本实施例中, 车轴轴承 530、车轮 501 都具有与一次的缺陷频率

的一致、车轮转动数的一致的话，不判定为异常。由于频率的一致基于概率过程，所以需要根据多次的累计值来从统计上进行判断。

作为统计判断方法，一般可以举出频谱的累计平均，但在本实施例中使用的判断方法中，如果是轴承，则加上多次例如16次用整数值表示频谱的一致度的数据，如果达到基准值则判断为异常，否则不判断为异常，但可以充分应用于铁道车辆的车轴轴承的异常判断。即使轴承发生小的剥离，也不会只要充分进行了润滑或封闭就一直进行，对铁道车辆的行驶带来影响的危险性小，对铁道车辆的行驶带来影响的程度的异常的发生由通常温度熔断器等其它部件感知。

如上所述，本实施例的异常诊断装置550由振动传感器511检测车轴轴承530或车轮501的振动，由传感器信号处理单元550A对振动传感器511的输出信号进行采样，诊断处理单元(MPU)550B基于该振动数据进行车轴轴承530以及车轮501的异常诊断。此时，诊断处理单元(MPU)550B连续取入来自传感器信号处理单元550A的振动数据，同时分割为每一定周期的区间，将1区间的振动数据作为用于轴承诊断的振动数据来处理，同时将在1区间的振动数据的开头接上其前一个区间的最后的规定时间的数据的数据作为用于车轮诊断的振动数据来处理。这样，通过分为用于轴承诊断的振动数据和用于车轮诊断的振动数据来进行处理，可以确定异常振动由车轮501的扁平引起还是由车轴轴承530引起从而可以实施准确的诊断。

此外，在本实施例的异常诊断装置中，同时(大致同时)取入来自各底盘的4个转动支承装置510上分别安装的4个振动传感器511的4信道的传感器信号，同时实施对于所有的信道在数据取入时间内完成诊断数据处理的实时处理，所以没有数据的意外失败，可以进行可靠性非常高的异常诊断。

[第15实施例]

图46是第15实施例(上述第14实施例的变形例)的方框图。该异常诊断装置550使用包括多路器(MUX)以及AD变换器(ADC)的MPU作为诊断处理单元550B。即，MPU兼具传感器信号处理单元550A的一部分的功能。根据该结构，可以简化异常诊断装置550内的电路，并可以通过软件来简单地实现与DMA控制器(DMAC)557等其它的MPU内置电路的协同，所以可以进行比第14实施例的结构效率高的软件控制。

[第16实施例]

图 47 是第 16 实施例（上述第 15 实施例的变形例）的方框图。该异常诊断装置 550 除了图 46 的结构之外，还包括具有备用电池（Batt）561 的静态随机存取存储器（SRAM）562 作为存储元件。此外，通过采用使 MPU 内置的日历时钟电路（RTC）563 有效的硬件结构，可以保存异常时的数据。

图 48 表示第 16 实施例中的诊断处理单元 550B 的车轮、轴承诊断数据处理的内容。诊断处理单元 550B 在每次进行 4 信道的振动数据的更新（S401）时，实施轴承诊断处理（S510）和车轮诊断处理（S520）。然后，判定由轴承诊断处理（S510）得到的轴承振动的包络线波形的频谱强度是否为基准值以上（S511），在小于基准值的情况下（S511 中假），为了 N 次的累计而存储保持轴承诊断处理（S510）的结果（S404）。此外，判定由车轮诊断处理（S520）得到的超过振动等级阈值的事件的计数数是否与车轮 501 的转动数一致（S521），在不一致的情况下（S521 中假），为了 N 次的累计而存储保持（S404）。

另一方面，在频谱强度为基准值以上（S511 中真）的情况下，将轴承振动的包络线波形的包络线强度与从日历时钟电路（RTC）563 中读取的日期时间信息一同保存在 SRAM562 中（S530）。此外，在超过振动等级阈值的事件的计数数与车轮 501 的转动数一致的情况下（S521 中真），将车轮诊断中的时间波形的数据与从日历时钟电路（RTC）563 中读取的日期时间信息一同保存在 SRAM562 中（S530）。在保存数据量达到 SRAM562 的允许量之后删除最过去的的数据（S531）。

根据该实施例，将异常判定结果发送到警报器并进行警报处理，同时对于矢量的内容等读出保存在 SRAM562 中的数据并发送到用于维护的计算机，从而可以作为车辆的维修信息进行利用。

[第 17 实施例]

图 49 是第 17 实施例（上述第 16 实施例的变形例）的方框图。该异常诊断装置 550 在 MPU 内各包括两组多路器（MUX）552 和 AD 变换器（ADC）553，从而可以通过一个模块进行通过 8 信道的传感器信号的实时诊断。如果 MPU 的计算能力允许，则这样的传感器信号输入的多路化也可以增加 AD 变换器的数，或通过使用变换速度快的 AD 变换器和多路器从而几信道都可能。另外，在图 49 的例子中，不将日历时钟电路（RTC）563 内置于 MPU 而将对 MPU 外置带有备用电池（Batt）的结构。

[第 18 实施例]

图 50 是第 18 实施例（上述第 15 实施例的变形例）的方框图。该异常诊断装置 550 在图 46 中说明的异常诊断装置的结构中附加了 1 转动信号发生分频电路 565。波形整形电路 555 的输出被输入诊断处理单元（MPU）550B 和 1 转动信号发生分频电路 565。1 转动信号发生分频电路 565 将由波形整形电路 555 整形后的转动数比例正弦波进行分频，每转动一周对诊断处理单元（MPU）550B 提供 1 脉冲的转动同步信号。诊断处理单元（MPU）550B 在一定速度的区间以该转动同步信号为触发进行数据的采样，并对该数据进行加法平均处理来进行异常诊断。对以车轮 501 每转动 1 周发生的转动同步信号为触发而进行采样的数据进行加法平均处理，从而与车轮 501 的转动同步的信号以外的分量被消除，并仅残留与车轮 501 的转动同步的分量，所以可以通过冲击等级的阈值的判定高精度地进行车轮 501 的扁平的检测。

[第 19 实施例]

图 51 是第 19 实施例的方框图。该异常诊断装置 550 具有传感器信号处理单元 550A、诊断处理单元（MPU）550B。传感器信号处理单元 550A 具有一个放大器（Amp）571 和一个滤波器（LPF）572。而且，4 个振动传感器 511 的输出信号（模拟信号）被输入一个放大器（Amp）571 并放大后，被输入一个滤波器（LPF）572。即，在该实施例中，为了对来自 4 个振动传感器 511 的 4 信道的输出信号进行放大、滤波，使用放大器（Amp）571 以及滤波器（LPF）572。然后，由放大器（Amp）571 以及滤波器（LPF）572 放大且滤波后的模拟信号被取入诊断处理单元（MPU）550B，由诊断处理单元（MPU）550B 内的 AD 变换器（ADC）553 变换为数字信号。另一方面，来自转送传感器的转速脉冲信号由波形整形电路 555 整形后被取入诊断处理单元（MPU）550B，由诊断处理单元（MPU）550B 内的时间计数器（TCNT）573 计数单位时间的脉冲数，该值被作为转速信号处理。诊断处理单元（MPU）550B 基于由振动传感器 511 检测出的振动波形和由转速传感器检测出的转速信号来执行异常诊断。诊断处理单元（MPU）550B 的诊断结果经由线路激励器（LD）556 被输出到通信线路 520（参照图 40）。通信线路 520 被连接到警报器，进行应在在车轮 501 的扁平等异常发生时进行的警报动作。

可从振动传感器 511 的输出信号检测出的异常是车轴轴承 530 的剥离和车轮 501 的扁平（磨损）。都可以作为直到 1kHz 附近的频带的振动信号来探

测。因此,在该第 19 实施例中,为了将振动传感器 511 的输出信号进行放大、滤波,使用放大器 (Amp) 571 以及滤波器 (LPF) 572。而且,通过软件处理将由滤波器 (LPF) 572 滤波并由 AD 变换器 (ADC) 533 变换为数字信号的数据分离为用于车轴轴承诊断和用于车轮诊断,从而进行两者的异常诊断。

车轴轴承 530 中发生的异常中,最容易引起静止轮的外轮轨道的剥离。因此,关于车轴轴承 530,可以以静止轮的外轮轨道的剥离为检测对象。

车轴轴承 530 的剥离和车轮 501 的扁平中,缺陷的频带差 10 倍程度。车轮 501 的转速 (sec^{-1}) 与车轮扁平的基频相等。应诊断的转速的范围为 $4 \sim 10\text{sec}^{-1}$ (基频: $4 \sim 10\text{Hz}$)。相对于此,在车轴轴承 530 的静止轮的外轮轨道存在缺陷的情况下,即使是相同的转速的范围 ($4 \sim 40\text{sec}^{-1}$),缺陷的基频也是 $33 \sim 83\text{Hz}$ 。都在检查直到 4 次为止的高次谐波的情况下,对于车轮 501, $4 \sim 40\text{Hz}$ 为必要的 DFT (离散傅立叶变换) 的频率分析范围,对于车轴轴承 530, $33 \sim 330\text{Hz}$ 为必要的 DFT (离散傅立叶变换) 的频率分析范围。车轴轴承 530 的诊断时的频率分辨率为 1.0Hz 就足够。但是,在车轮 501 的诊断中,在 1.0Hz 下分辨率不足,而且容易收到偏移引起的 FFT 低频中的 DC 分量的影响。

因此,在该第 19 实施例中,将由 AD 变换器 (ADC) 553 变换 (采样) 为数字信号的数据变换为用于车轴外轮轨道剥离解析 (用于车轴轴承诊断) 和用于车轮扁平解析 (用于车轮诊断) 的采样频率不同的两种数据来进行处理。

图 52 表示第 19 实施例中的诊断处理单元 (MPU) 550B 的动作流程。诊断处理单元 (MPU) 550B 由 AD 变换器 (ADC) 553 将从 4 个振动传感器 511 输出并经由放大器 (Amp) 571 和滤波器 (LPF) 572 传送来的传感器信号变换为数字信号 (S601)。然后,对 AD 变换器 (ADC) 553 的输出信号通过由软件实现的 FIR 低通滤波来实施抽选处理 (S602)。在本例中,AD 变换器 (ADC) 553 中的采样在 8kHz 的频率下以 3 秒钟为单位实施。此外,在抽选处理 (S602) 中,为了使采样频率 f_s 降至 2kHz ,将抽选率 M 设为 4 而将数据数削减为 $1/4$ 。

诊断处理单元 (MPU) 550B 将经由抽选处理 (S602) 的数据变换为用于车轴外轮轨道剥离解析 (以下记作 ‘轴承用’) 和用于车轮扁平解析 (以下记作 ‘车轮用’) 的采样频率不同的两种数据 (参照图 53 (a))。

通过将经由抽选处理 (S602) 的数据进行 4 分割而分为每 0.75 秒的数据

区间从而得到轴承用的数据 (S611)。对得到的数据依次实施绝对值化处理 (S612) 以及 AC 化处理 (S613)。然后, 进一步通过追加 1 区间大约 0.25 秒 (sec) 的 0 而设为约 1 秒的数据区间长 (S614), 并将频率分辨率设为约 1.0Hz 来进行 FFT (S615)。FFT 的输入数据数为 2048 个。在 FFT 前进行汉宁 (Hanning) 窗处理。在 FFT 后, 根据车速和轴承各元素来求外轮缺陷频率 Z_{fc} , 进行从基波直到 4 次为止的峰值检测 (S616)。然后, 进行外轮缺陷频率 Z_{fc} 和频率峰值的比较, 并计算两者的一致度 (S617)。基于将该处理重复一定次数而得到的一致度合计点数, 进行车轴轴承 530 的异常判定。

通过将经过抽选处理 (S602) 的采样频率 f_s 为 2kHz 的数据在绝对值化处理 (S621) 之后由滤波器 (LPF) 将抽选率 M 设为 8 来进行抽选处理 (S622), 将采样频率 f_s 降至 250Hz, 从而得到车轮用的数据。在该时刻的数据数为 750 个, 通过进行 0 补位插补 (S624) 而设为约 4 秒的数据, 从而将频率分辨率设为约 0.25Hz 来实施 FFT (S625)。在 FFT 前进行汉宁 (Hanning) 窗处理。在 FFT 后进行峰值检测 (S626)。然后, 进行从车轮扁平的基频到 4 次为止的高次谐波和频率峰值的比较, 并计算两者的一致度 (S627)。基于重复一定次数该处理而得到的一致度合计点数来进行车轮 501 的异常判定。通过由时间计数器 (TCNT) 573 对转速脉冲信号的单位时间的脉冲数进行计数从而求车轮扁平的基频。

如上所述, 对于 4 个振动传感器 511 的每个, 各具有一组放大器 (Amp) 571 以及滤波器 (LPF) 572, 将经由多路器 (MUX) 553 由 AD 变换器 (ADC) 553 变换 (采样) 为数字信号的数据变换为轴承用和车轮用的采样频率不同的两种数据, 并分为两个系统来进行包含 FFT 的处理, 从而, 可以高精度且高效率地进行轴承和车轮的异常诊断。相对于此, 在通过一次 FFT 调查了频域大部分不同的轴承和车轮两者的频率范围的情况下, 不能实现与计算成本相称的精度 (分辨率) (参照图 53 (b))。

另外, 在上述例子中, 通过软件进行数字处理的大部分, 但也可以通过 FPGA (Field Programmable Gate Array) 等硬件来实现其一部分或全部。

[第 20 实施例]

图 54 表示第 20 实施例中的诊断处理单元 (MPU) 550B 的动作流程。在本例中, AD 变换器 (ADC) 553 中的采样在 16kHz 的频率下以 3 秒钟为单位实施 (S701)。此外, 在抽选处理 (S702) 中, 为了使采样频率 f_s 降至 4kHz,

将抽选率 M 设为 4 而将数据数削减为 $1/4$ 。

诊断处理单元 (MPU) 550B 将经由抽选处理 (S702) 的数据变换为轴承用和车轮用的采样频率不同的两种数据 (参照图 53 (a))。

通过将经由抽选处理 (S702) 的数据进行 3 分割而分为每 1.0 秒的数据区间从而得到轴承用的数据 (S711)。对得到的数据依次实施绝对值化处理 (S712) 以及 AC 化处理 (S713)。然后, 完全省略 0 插补处理或进行仅插补略微的尾数, 例如对 4000 数据插补 96 个 0 这样的 0 插补处理, 将频率分辨率设为约 1.0Hz 而进行 FFT (S714)。在 FFT 前进行汉宁 (Hanning) 窗处理。在 FFT 后, 根据车速和轴承各元素来求外轮缺陷频率 Z_{fc} , 进行从基波直到 4 次为止的峰值检测 (S715)。然后, 进行外轮缺陷频率 Z_{fc} 和频率峰值的比较, 并计算两者的一致度 (S716)。基于将该处理重复一定次数而得到的一致度合计点数, 进行车轴轴承 530 的异常判定。

通过将经过抽选处理 (S702) 的采样频率 f_s 为 4kHz 的数据在绝对值化处理 (S721) 之后由滤波器 (LPF) 进行抽选处理 (S722), 将采样频率 f_s 降至 500Hz, 从而得到车轮用的数据。对得到的数据依次实施 AC 化处理 (S723)。然后, 进行 0 补位插补 (S724) 而设为约 4 秒的数据, 从而将频率分辨率设为约 0.25Hz 来实施 FFT (S725)。在 FFT 前进行汉宁 (Hanning) 窗处理。在 FFT 后进行峰值检测 (S726)。然后, 进行从车轮扁平的基频到 4 次为止的高次谐波和频率峰值的比较, 并计算两者的一致度 (S727)。基于重复一定次数该处理而得到的一致度合计点数来进行车轮 501 的异常判定。

如该第 20 实施例这样, 在轴承用的数据处理中, 通过完全省略 0 插补处理或进行仅插补略微的尾数这样的 0 插补处理, 可以削减 FFT 处理的次数。即, 预第 19 实施例的比较中, 同时间执行的 FFT 处理的次数从 4 次降低到 3 次。但是, 如第 19 实施例这样, 进行 0 插补处理而将 FFT 区间划分为短的时间可以增加能够避免轨道噪声等的 FFT 区间。

[第 21 实施例]

图 55 (a)、图 55 (b) 是第 21 实施例中的诊断处理单元 (MPU) 550B 的部分方框图。在图 55(a)中, 在图 51 的硬件结构中, 在诊断处理单元 (MPU) 550B 内的 AD 变换器 (ADC) 553 的前级 (输入端) 设有绝对值电路 (ABS) 581, 进而在其后级设有低通滤波器 (LPF) 582。在图 55 (b) 中, 在图 51 的硬件结构中, 在诊断处理单元 (MPU) 550B 内的 AD 变换器 (ADC) 553

的前级（输入端）设有包络线电路（ENV）591，进而在其前级设有高通滤波器（HPF）592。

图 56 表示第 21 实施例中的诊断处理单元（MPU）550B 的动作流程。诊断处理单元（MPU）550B 由 AD 变换器（ADC）553 将从 4 个振动传感器 511 输出并经由放大器（Amp）571 和滤波器（LPF）572 传送来的传感器信号进行采样并变换为数字信号（S801）。在本例中，AD 变换器（ADC）553 中的采样在 2kHz 的频率下以 3 秒钟为单位实施。通过将经过低通滤波器 582 而被进行了 AD 变换的数据进行 4 分割而分为每 0.75 秒的数据区间从而得到轴承用的数据（S811）。对得到的数据实施 AC 化处理（S812）。然后，进一步通过追加 1 区间大约 0.25 秒（sec）的 0 而设为约 1 秒的数据区间长（S813：补位插补），并将频率分辨率设为约 1.0Hz 来进行 FFT（S814）。在 FFT 前进行汉宁（Hanning）窗处理。在 FFT 后，根据车速和轴承各元素来求外轮缺陷频率 Z_{fc} ，进行从基波直到 4 次为止的峰值检测（S815）。然后，进行外轮缺陷频率 Z_{fc} 和频率峰值的比较，并计算两者的一致度（S816）。基于将该处理重复一定次数而得到的一致度合计点数，进行车轴轴承 530 的异常判定。

通过将振动传感器 111 输出的传感器信号由绝对值电路 581 实施绝对值化处理，并以 2kHz 采样之后，将抽选率 M 设为 8 来进行抽选处理（S821），将采样频率 f_s 降至 250Hz，从而得到车轮用的数据。对得到的数据依次实施 AC 化处理（S723）。然后，进行 0 补位插补（S823）而设为约 4 秒的数据，从而将频率分辨率设为约 0.25Hz 来实施 FFT（S824）。在 FFT 前进行汉宁（Hanning）窗处理。在 FFT 后进行从基波直到 4 次为止的高次谐波峰值检测（S825）。然后，进行从车轮扁平的基频到 4 次为止的高次谐波和频率峰值的比较，并计算两者的一致度（S826）。基于重复一定次数该处理而得到的一致度合计点数来进行车轮 501 的异常判定。

在该第 21 实施例中，通过由可进行高速处理的软件来实施在图 52 中通过软件实施的抽选处理（S602）和绝对值化处理（S612），来简化通过软件的信号处理。即使将 AD 变换器（ADC）553 中的采样频率 f_s 从图 52 的情况的 8kHz 降低到其 1/4 的 2kHz，也可以进行高精度且高效率的异常判定。

[第 22 实施例]

首先，参照图 40、41、45、51、57、58 来说明第 22 实施例的异常诊断装置。

如图 40 所示，一辆铁道车辆 500 由前后两个底盘支承，各底盘上安装了 4 个车轮 501。各车轮 501 的转动支承装置（轴承箱）510 中安装了对在运转中从转动支承装置 510 发生的振动进行检测的振动传感器 511。

在铁道车辆 500 的控制盘 515 上搭载有两个同时（大致同时）取入 4 信道的传感器信号而实施诊断处理的异常诊断装置 550。即，各底盘上设置的 4 个振动传感器 511 的输出信号分别经由信号线 516 被输入每个底盘不同的异常诊断装置 550。此外，异常诊断装置 550 中也被输入来自对车轮 501 的转速进行检测的转速传感器（省略图示）的转速脉冲信号。

如图 41 所示，转动支承装置 510 中作为一例，设有作为转动部件的车轴轴承 530，车轴轴承 530 包括：作为外嵌在转动轴（未图示）上的转动轮的内轮 531、作为内嵌在外壳（未图示）中的固定轮的外轮 532、作为配置在内轮 531 以及外轮 532 之间的多个转动体的滚动体 533、将滚动体 533 自由滚动地保持的保持架（未图示）。振动传感器 511 被保持为可以检测重力方向的振动加速度的姿态，并被固定在外壳的外轮 532 附近。振动传感器 511 使用加速度传感器、AE（acousticEmission）传感器、超声波传感器、冲击脉冲传感器等各种传感器。

如图 51 所示，异常诊断装置 550 具有传感器信号处理单元 550A、诊断处理单元（MPU: Micro Processing Unit）550B。传感器信号处理单元 550A 为一个振动传感器 511 具有一个放大器（Amp）571 和一个滤波器（LPF）572{即，包括四个放大器（Amp）571 和四个滤波器（LPF）572}。而且，4 个振动传感器 511 的输出信号（模拟信号）分别被输入对应的放大器（Amp）571 并被放大后，分别被输入对应的滤波器（LPF）572。由放大器（Amp）571 和滤波器（LPF）572 放大且滤波后的模拟信号被取入诊断处理单元（MPU）550B，经由多路器（MUX）552 由诊断处理单元（MPU）550B 内的 AD 变换器（ADC）553 变换为数字信号。另一方面，来自转速传感器的转速脉冲信号由波形整形电路 511 整形之后，被取入诊断处理单元（MPU）550B，由诊断处理单元（MPU）550B 内的时间计数器（TCNT）573 计数单位时间的脉冲数，该值被作为转速信号处理。诊断处理单元（MPU）550B 基于由振动传感器 511 检测出的振动波形和由转速传感器检测出的转速信号来执行异常诊断。诊断处理单元（MPU）550B 的诊断结果经由线路激励器（LD）556 被输入通信线路 520（参照图 40）。通信线路 520 被连接到警报器，进行应在

在车轮 501 的扁平异常发生时进行的警报动作。

可从振动传感器 511 的输出信号检测出的异常是车轴轴承 530 的剥离和车轮 501 的扁平（磨损）。这里，说明车轴轴承 530 的诊断。车轴轴承 530 中发生的异常中，最容易引起静止轮的外轮轨道的剥离，所以以车轴轴承 530 的静止轮的外轮轨道的剥离为检测对象。

在该实施例中，为了对振动传感器 511 的输出信号进行放大、滤波，使用放大器（Amp）571 以及滤波器（LPF）572。然后，通过由软件实现的运算功能来处理由滤波器（LPF）572 滤波并由 AD 变换器（ADC）553 变换为数字信号的数据，并进行基于各振动传感器 511 的输出信号的异常诊断。

振动传感器 511 的输出信号通过放大器（Amp）571 以及滤波器（LPF）572 被输入到诊断处理单元（MPU）550B 内的 AD 变换器（ADC）553。该实施例中的 AD 变换器（ADC）553 的分辨率为 8 位。诊断处理单元（MPU）550B 将振动数据作为 8 位的值读入。此外，为了使 AD 变换器（ADC）553 的采样频率一定并且抑制 CPU558 的负载，使用比较匹配定时器（CMT）554 和直接存储器存取控制器（DMAC）557。采样频率为 8kHz。滤波器（LPF）572 作为抗混淆滤波器起作用，减少 1kHz 以上的频带分量。

AD 变换器（ADC）553 的输入范围为 0~3.3V。振动传感器 511、放大器（Amp）571 以及滤波器（LPF）572 被设计为振动波形适合 AD 变换器（ADC）553 的输入范围，振动波形的中心电压为 1.65V。

图 57 表示诊断处理单元（MPU）550B 的动作流程。诊断处理单元（MPU）550B 将从 4 个振动传感器 511 输出并经由放大器（Amp）571 和滤波器（LPF）572 传送来的传感器信号分别通过多路器（MUX）552 切换信道同时进行采样，从而由 AD 变换器（ADC）553 大致同时对多信道进行采样并变换为数字信号（无符号的 8 位数据）（步骤 S901）。

然后，首先将从 AD 变换器（ADC）553 输出的无符号的 8 位数据变换为 16 位数据（步骤 S902）。具体来说，如图 58（a）所示，使 8 位数据重新编码以使作为振动波形的中心电压的 1.65V 成为 0V 之后，在其低位添加 8 位从而变换为 16 位的值。

接着，在实施定点数字滤波处理（步骤 S903），并实施了包络线（绝对值化）处理（步骤 S904）之后，实施 16 位定点 FFT 处理（步骤 S905）。然后，根据 FFT 处理（步骤 S905）的结果求频率的峰值（步骤 S906）。此外，

根据车轴转速和轴承各元素（参照图 45）计算轴承缺陷频率（步骤 S907）。然后，将频率的峰值和轴承缺陷函数的一致度点数化（步骤 S908），根据一定次数的累计值（累计点数）来判断异常（NG）（步骤 S909）。

在从 16 位定点数字滤波处理（步骤 S903）至 16 位定点 FFT 处理（步骤 S905）的定点小数运算中，16 位中低位 15 位用于表现小数点以下。数字滤波器的系数用实数表现时大于等于 -1.0 而小于 1.0 ，但用该定点小数表现时，在计算机中为大于等于 -2^{15} 而小于 $2^{15}-1$ 。如果仍然是 8 位的话，在带符号的情况下，为大于等于 -2^7 而小于 2^7-1 。由于滤波处理减小波形的振幅，所以在仍然 8 位宽度的数据中，成为振幅更小的数据，对频率峰值检测的精度带来障碍。因此，用实数将 AD 变换的振幅范围设为大于等于 -1.0 而小于 1.0 ，与 CPU558 的数据宽度一致。带符号的 8 位数据的最高位的位和小数点以下 7 位仍然为高位的 8 位，使低位 8 位全部为 0。关键是将 $-128 \sim 127$ 的范围的整数放大 256 倍，变换为 $-32768 \sim 32767$ 的范围的整数来进行运算。相对于此，如图 58（b）所示，即使扩展为 16 位也尽是符号扩展的话，不放大则没有效果。

FFT 处理（步骤 S905）由 16 位数据的定点运算进行。其理由是，由于使用的 CPU558 为 32 位 CPU，因此 $16\text{bit} \times 16\text{bit}$ 的乘法不溢出，而且由于不包括浮点数运算装置（FPU），所以也不使用浮点，这在计算速度的方面理想。

此外，在 FFT 处理（步骤 S905）中，进行缩放比例处理。换言之，在将运算点数设为 2 的 n 次方个来进行 FFT 的情况下，进行 N 段的蝶式运算，但为了防止此时的溢出而缩小数据。

这样，在定点运算中，由于存在位宽的限制，因此动态范围容易减小。进而，如果输入数据为一半的 8 位，则计算误差中埋入异常信号，振动的峰值的检测不能很好地进行的概率变得非常高。因此，在本实施例中，将 8 位的数据预先放大为 16 位来进行运算，从而防止应检测出的峰值消失。

在该异常诊断处理中，频率分析及其峰值检测很重要，不要求忠实地对原波形进行采样并复原，所以当的 AD 变换数据为 8 位时，至少在运算时，如上所述，通过放大而可以充分捕捉频率的特征。

作为其一个检验例子，表 6 与比较例一同表示对用于铁道车辆的圆锥滚子轴承的剥离检测进行了试验的结果。

[表 6]

试验	16 位 ADC	8 位 ADC 仍然 8 位整数 (仅是符号扩展)	8 位 ADC 放大为 16 位 (振幅 256 倍)
异常振动 1	检测	不检测	检测
异常振动 2	检测	不检测	检测
异常振动 3	检测	不检测	检测

异常振动 1 是轴承的外轮轨道面剥离的轴承以 240rpm 转动时的振动信号。异常振动 2 是在轴承的外轮轨道面上形成通过放电加工的人工缺陷的轴承以 360rpm 转动时的振动信号。异常振动 3 是在轴承的外轮轨道面上形成通过放电加工的人工缺陷的轴承以 990rpm 转动时的振动信号。

所有的异常振动的情况都是，将从 16 位 AD 变换器得到的 16 位整数值仍然用于运算的情况在异常检测上成功。另一方面，对从 8 位 AD 变换器得到的 8 位整数值原样仅进行符号扩展来进行运算的情况不能检测异常。与此相对，通过将 AD 变换器得到的 8 位整数值在编码后扩展为 16 位，从而实质上范围放大为 256 倍来进行运算的情况在异常的检测上成功。

如上所述，将来自振动传感器 511 的模拟信号变换为数字信号的 AD 变换器 (ADC) 553 的输出信号比 AD 变换器 (ADC) 553 的分辨率 (在本例中为 8 位) 扩展数据宽度 (在本例中扩展为 16 位) 来进行傅立叶变换处理，并基于其结果来进行异常诊断，从而使用低分辨率的 AD 变换器来实现电路的低成本化以及省空间化，并且可以进行异常诊断而不会引起精度降低。

[第 23 实施例]

图 59 是本发明的异常诊断装置的第 23 实施例的主要部分方框图。该实施例表示不使用 AD 变换器的微型计算机系统 (微型计算机/系统) 的例子，来自振动传感器 511 的模拟信号 (波形信号) 由放大器 (Amp) 571 放大，通过滤波器 (LPF) 572 之后立即经由比较器 673 输入诊断处理单元 (MPU) 650B 的端口 (Port)。即，在本实施例中，诊断处理单元 (MPU) 650B 不具有 AD 变换器 553 而在传感器信号处理单元 550A 中设有比较器 673。其它的结构与第 22 实施例相同。

比较器 673 为了排除噪声的影响而使用滞回比较器。比较器 673 将来自振动传感器 511 的模拟信号 (参照图 60 (a) 的上部的波形) 的电压和一定的参照电压 ref 进行比较，并输出表示该模拟信号的电压比参照电压 ref 高还是

低的 1 位的信号（参照图 60（a）的下部的波形）。参照电压 ref 例如为振动波形的中心电压（1.65V）。比较器 673 的采样频率为 32kHz。此外，被输入诊断处理单元（MPU）650B 的端口（Port）的来自比较器 673 的上述 1 位（2 值）的信号在诊断处理单元（MPU）650B 内被数字滤波处理，成为图 60（b）所示的波形。

图 61 表示第 23 实施例中的诊断处理单元（MPU）650B 的动作流程。诊断处理单元（MPU）650B 从比较器 673 接收信号（步骤 S910）。诊断处理单元（MPU）650B 的端口的值仅为 0 和 1，但由于这相当于 AD 变换中的符号位，所以单纯考虑正负，即 0 表示 -1，1 表示 1，变换为带符号 16 位数据（步骤 S920）。以带符号 16 位整数从 -32768 和 32767 开始运算。

接着，在实施 FIR 数字滤波处理（步骤 S930），并实施了包络线（绝对值化）处理（步骤 S940）之后，实施 16 位定点 FFT 处理（步骤 S950）。然后，根据 FFT 处理（步骤 S950）的结果求频率的峰值（步骤 S960）。此外，根据车轴转速和轴承各元素（参照图 45）计算轴承缺陷频率（步骤 S970）。然后，将频率的峰值和轴承缺陷函数的一致度数值化（步骤 S980），根据一定次数的累计值来判断异常（NG）（步骤 S990）。

作为车轴轴承 530 的缺陷频率以 1kHz 以下为对象，从轴承部件或传感器外壳等发生的振动中包含很多高于 1kHz 的频率的振动。由振动传感器 511 检测出的振动的传播由这些部件的振动来进行，缺陷引起的低频的振动频率可以认为对这些高频率的振动（载波）进行调制。因此，在该实施例中，将比较器 673 的采样频率较高地设定为 32kHz。通过提高采样频率，即使是 2 值的数据也可以恢复缺陷频率。其原理与 PWM{Pulse Width Modulation（脉宽调制）}的原理相同。FIR 低通滤波处理（步骤 S930）为了除去上述载波的分量并将波形信号缩小到缺陷频率的范围而实施。

这样，即使在不使用 AD 变换器而使用更低成本的比较器 673 的情况下，通过将比较器 673 输出的 2 值数据扩展为 16 位宽的数据来进行运算处理，从而可以进行通过对检测异常信号的峰值足够的 FFT 处理的频率分析。

[第 24 实施例]

图 62 是本发明的异常诊断装置的第 24 实施例的主要部分方框图。与第 23 实施例同样，诊断处理单元（MPU）650B 不具有 AD 变换器 553 而在传感器信号处理单元 550A 中设有比较器 673。在第 23 实施例中，参照电压 ref

为一定，但在本实施例中，将比来自振动传感器 511 的模拟信号高的频率的正弦波用作参照电压 ref。比较器 673 以高于参照电压 ref 的频率对来自振动传感器 511 的模拟信号进行采样而数字化（二值化）。

诊断处理单元（MPU）650B 通过对来自比较器 673 的二值信号进行数字低通滤波处理，从而通过软件实现多位的 AD 变换器的功能。上述第 23 实施例中，轴承剥离的特征频率的级最高为 1kHz，轴承 530 的轨道轮、转动体和振动传感器 511 的固有振动的高频分量被叠加到振动波形中，由于通过诊断处理单元（MPU）650B 的软件实施低通滤波处理，所以整体来看，进行与该第 24 实施例同等的处理。但是，可以说第 23 实施例在不需要正弦波发生电路这一点上，在成本方面上有利。

另外，在上述实施例中，说明了进行车轴轴承 530 的异常诊断的情况，但本发明的异常诊断装置也可以有效地应用于车轮及其它机械装置的异常诊断。

产业上的可利用性

根据本发明，即使在异常信号或异常预兆信号和噪声信号的 S/N 比小的条件下，也可以高精度地实施异常诊断而不会将噪声信号误检测误检测为异常预兆信号。

根据本发明的异常诊断系统，可以高精度且高效率地实施机械设备内的轴承或轴承关联构件的异常诊断。

根据本发明，可以以任意的频率分辨率对从诊断对象检测出的信号进行 FFT 从而高精度地实施异常诊断。

根据本发明的异常诊断装置，仅通过对每台车辆设置一个振动传感器，就可以基于这一个振动传感器的波形信号来检测该车辆中的轴承的剥离、车轮的扁平异常，所以可以以低成本构筑异常诊断系统。

根据本发明的异常诊断装置，使用低分辨率的 AD 变换器或单纯的比较器来实现电路的低成本化以及省空间化，并且可以进行异常诊断而不会引起精度降低。

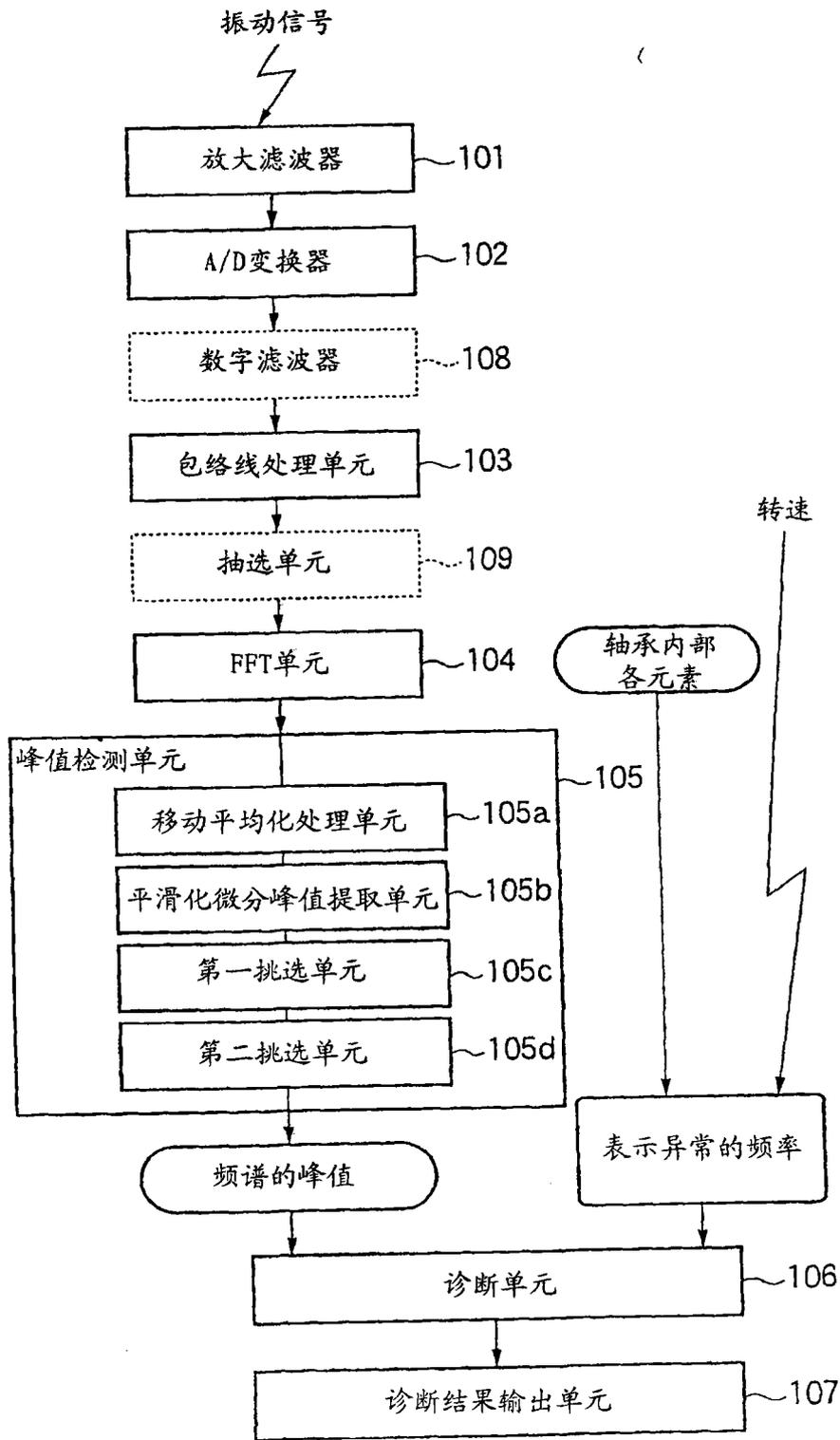


图 1

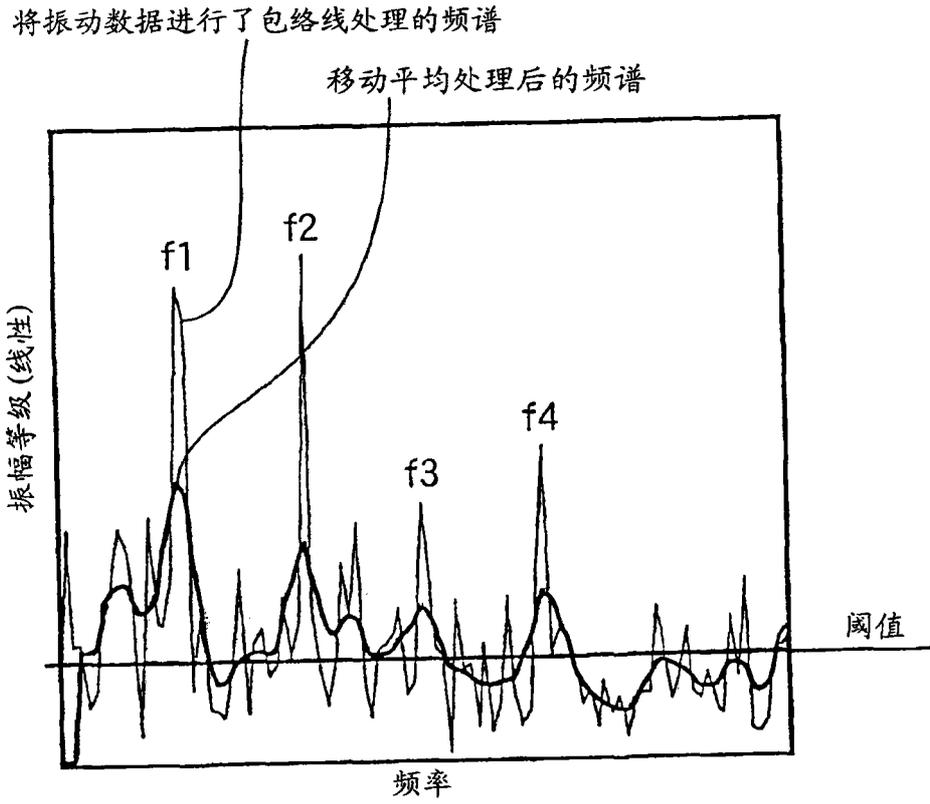


图 2

将振动数据进行了包络线处理的频谱

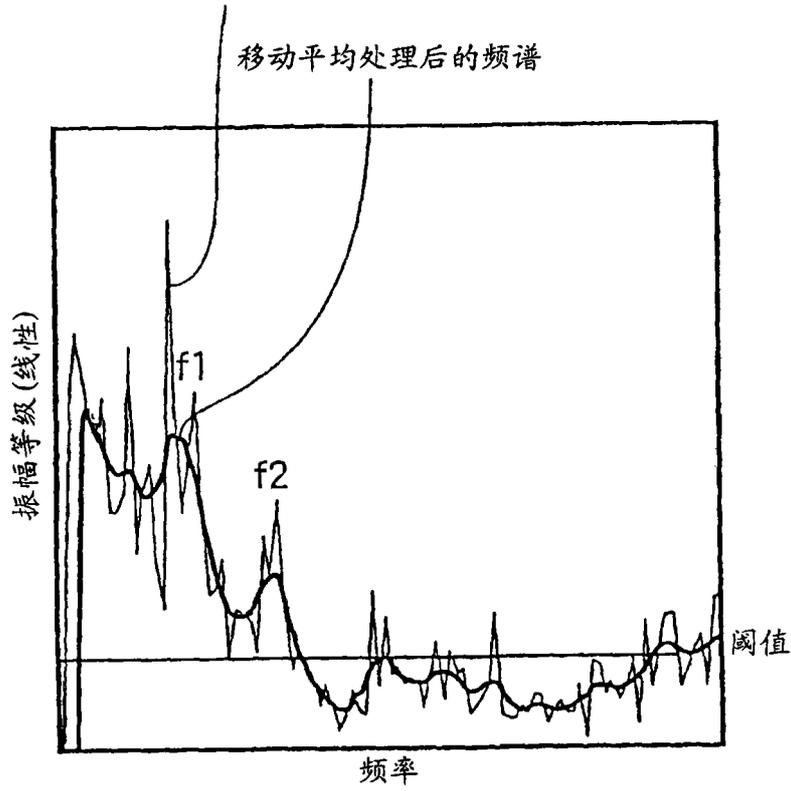


图 3

将振动数据进行了包络线处理的频谱

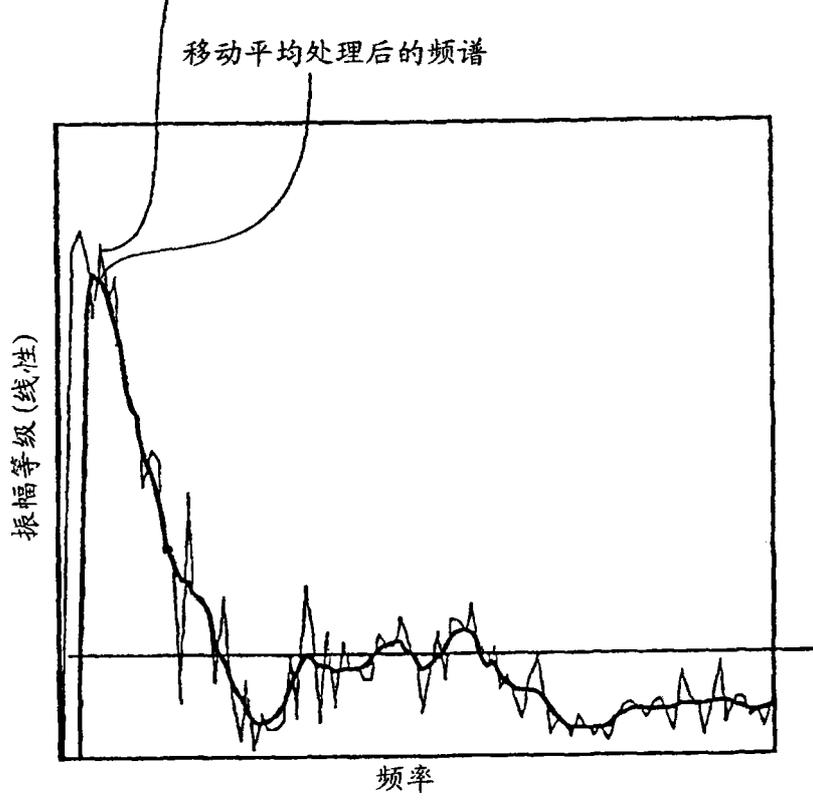


图 4

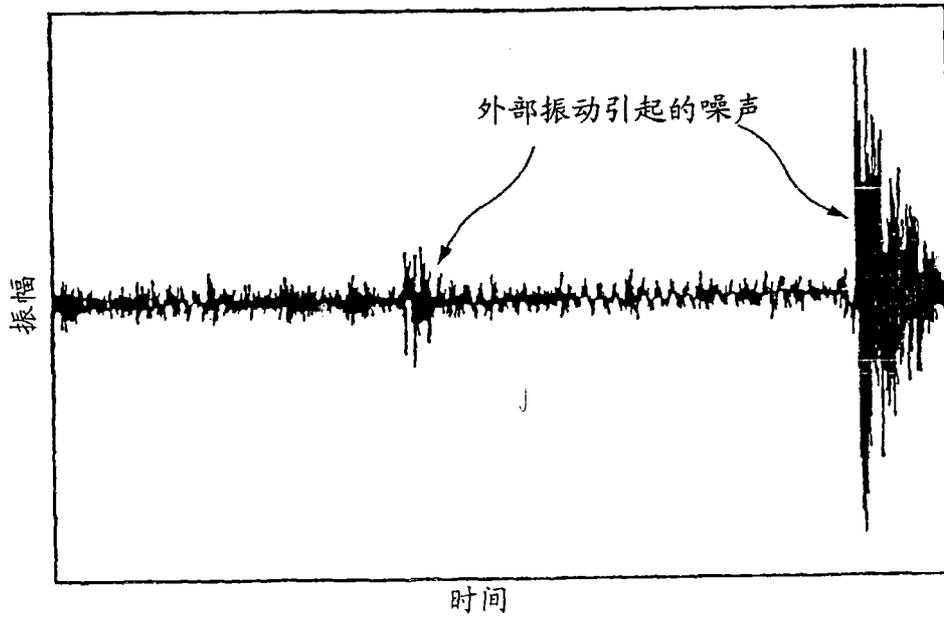


图 5

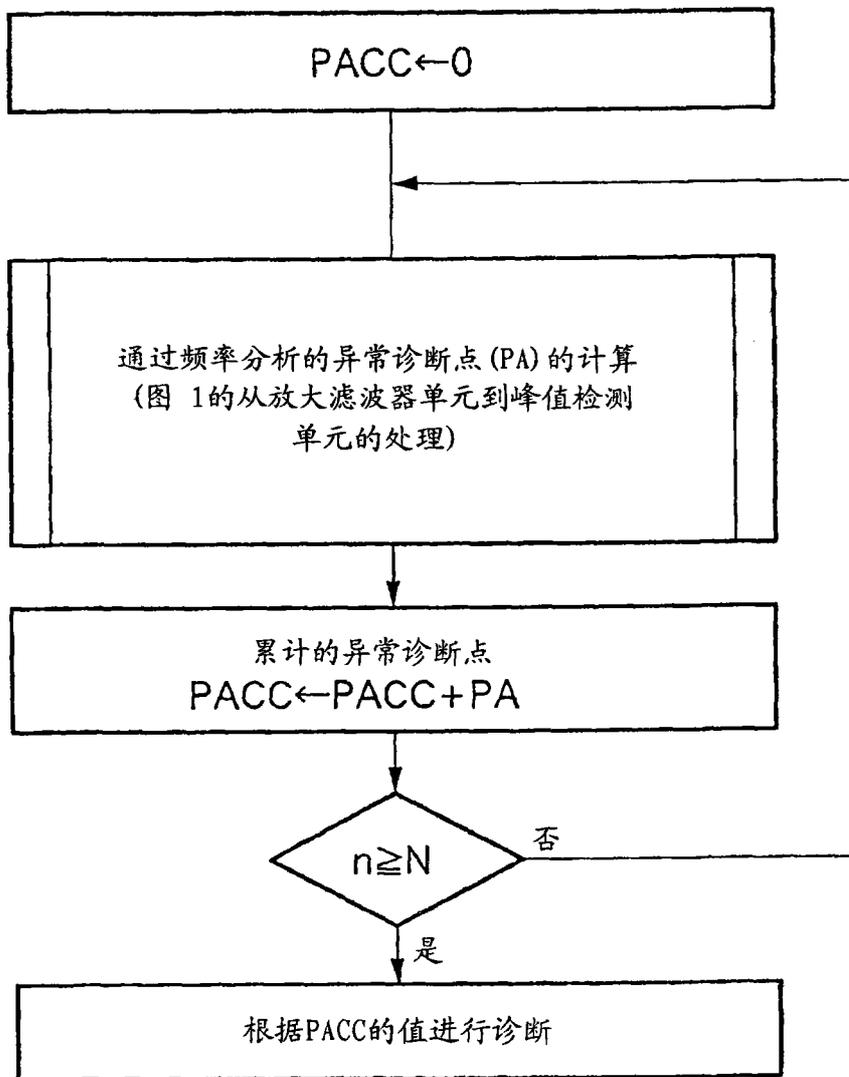


图 6

将振动数据进行了包络线处理的频谱

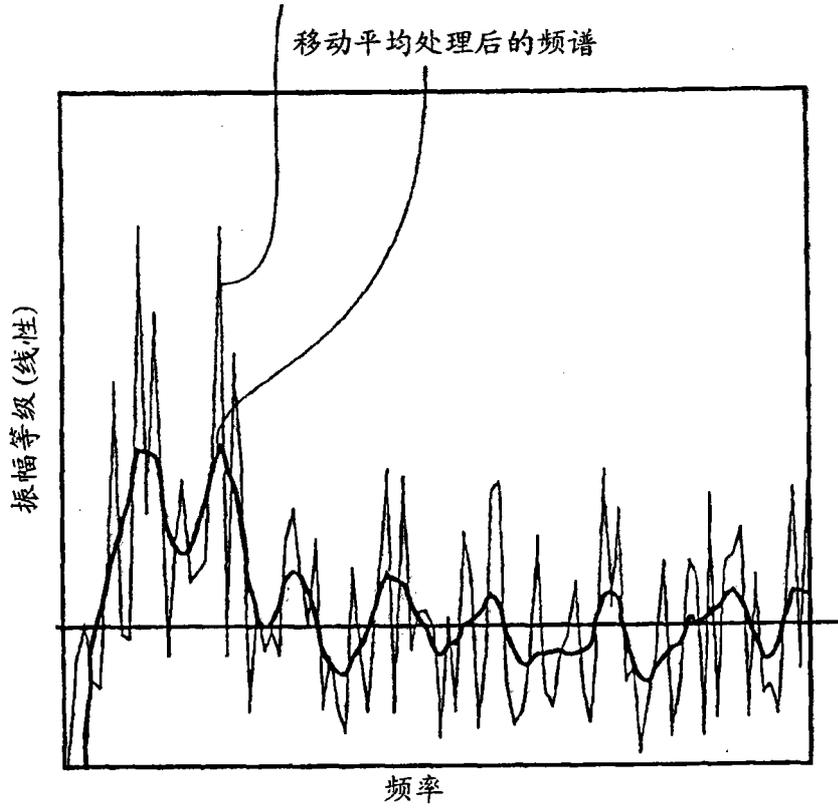


图 7

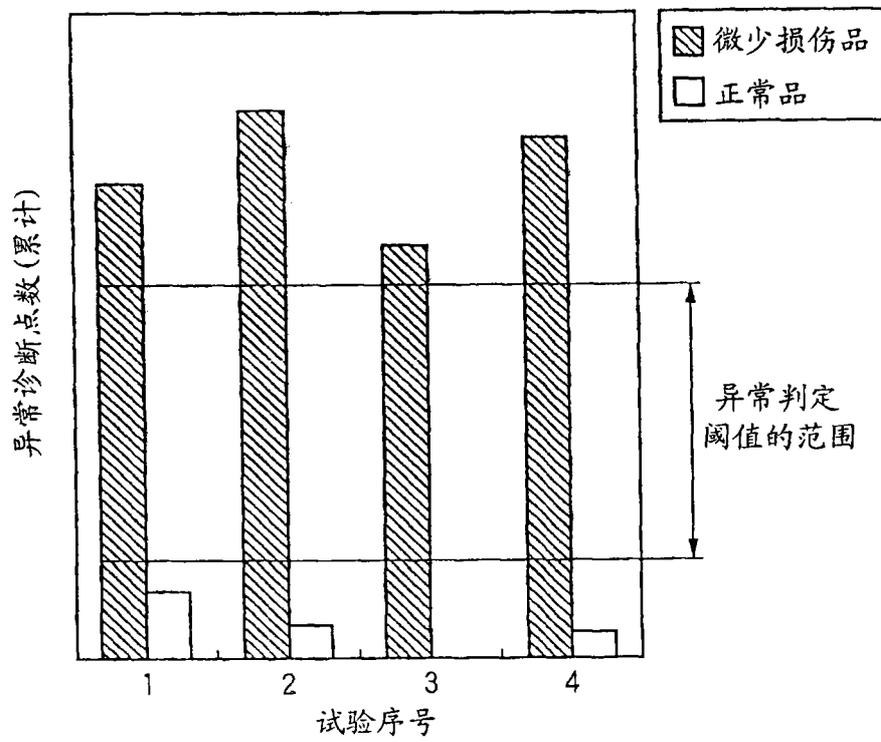


图 8

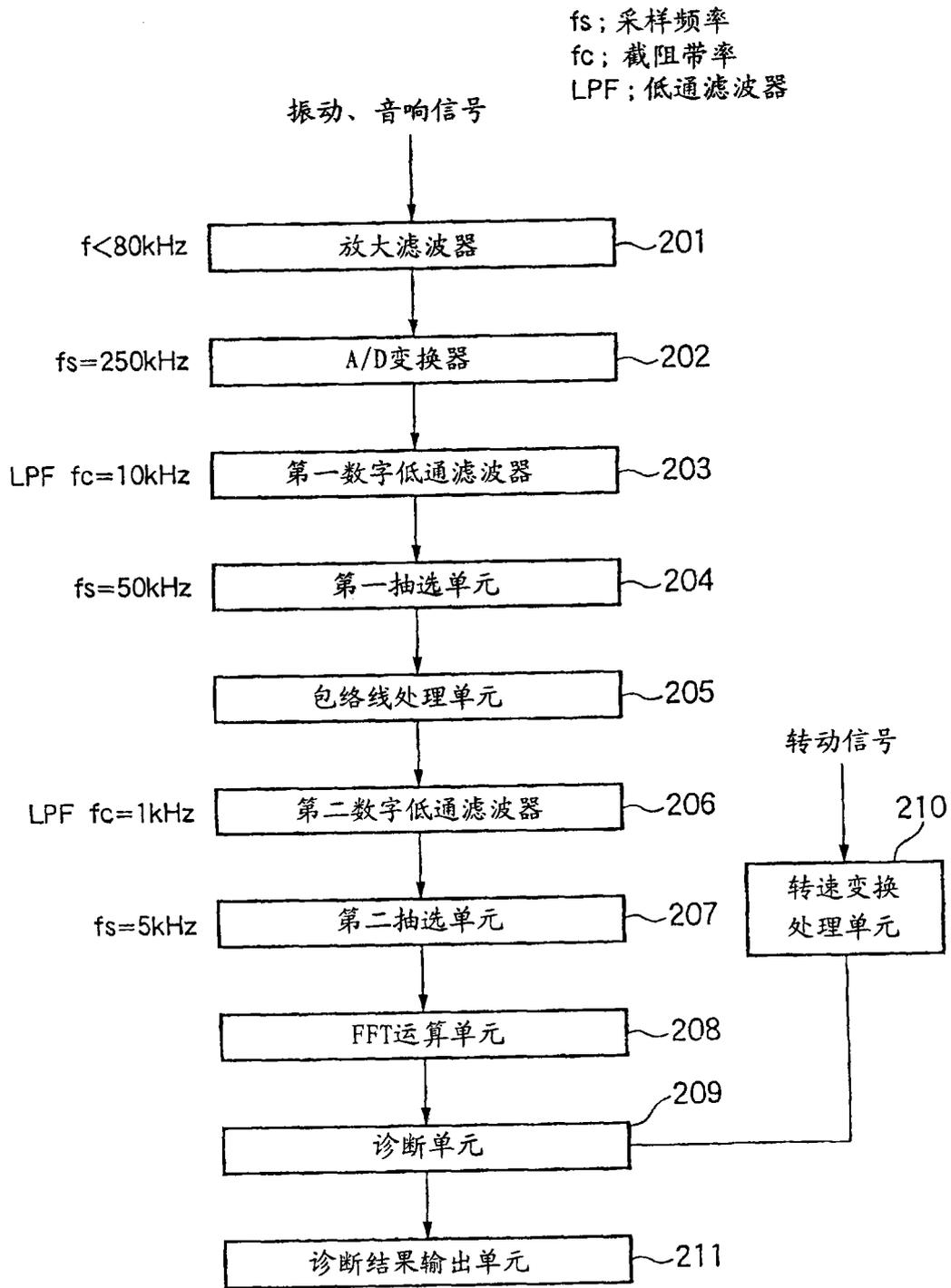


图 9

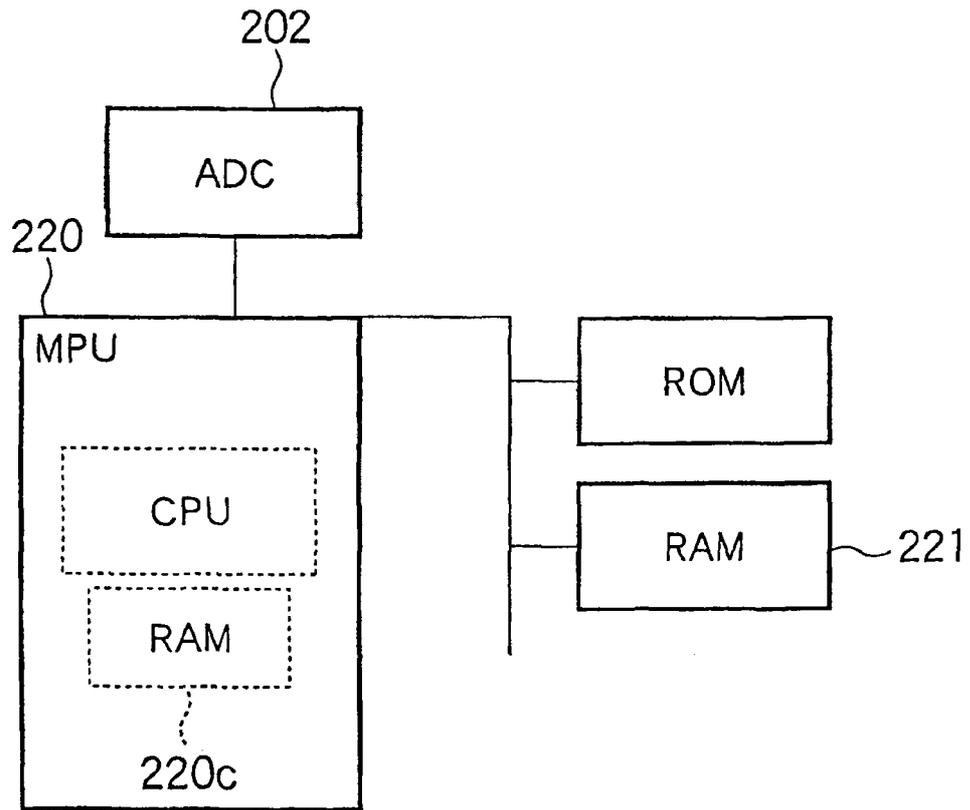


图 10

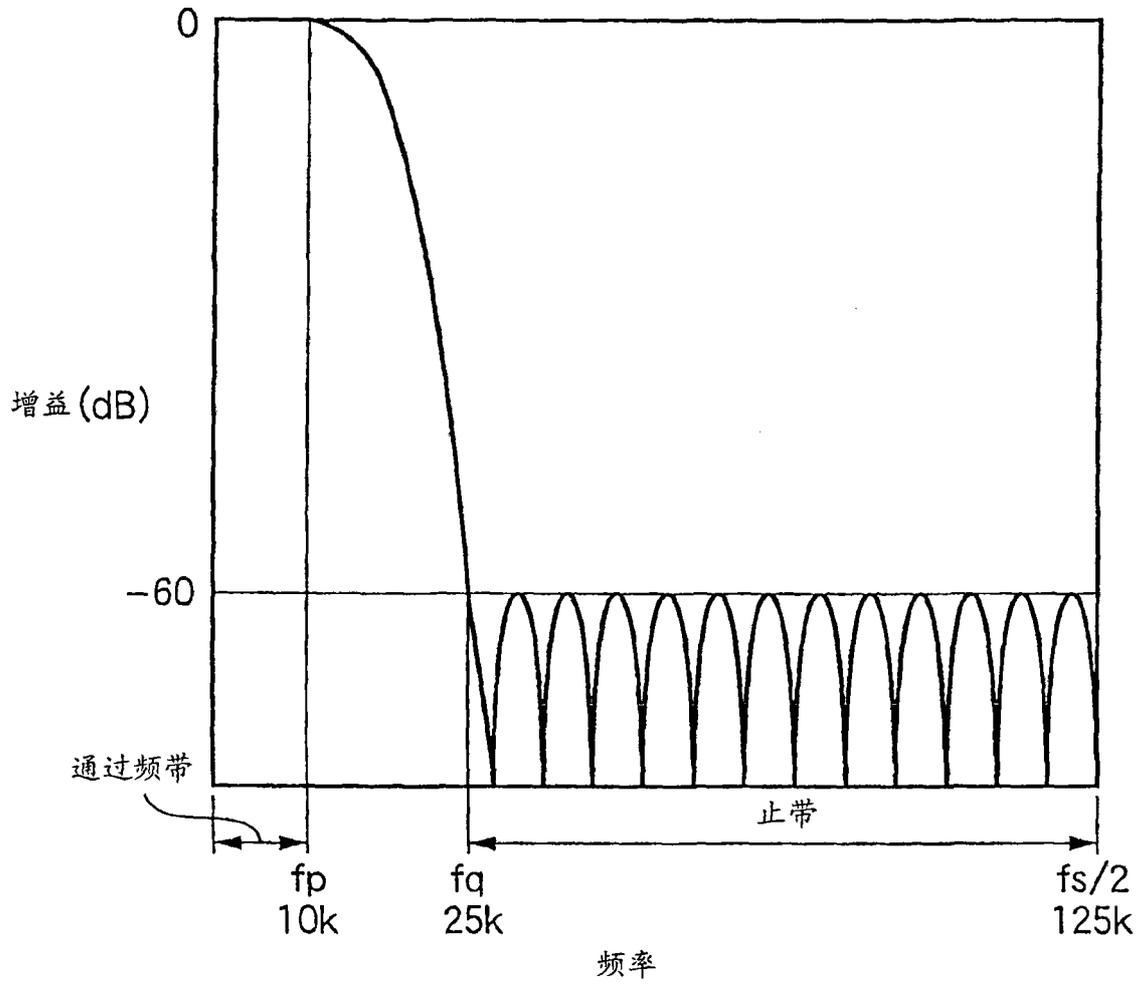


图 11

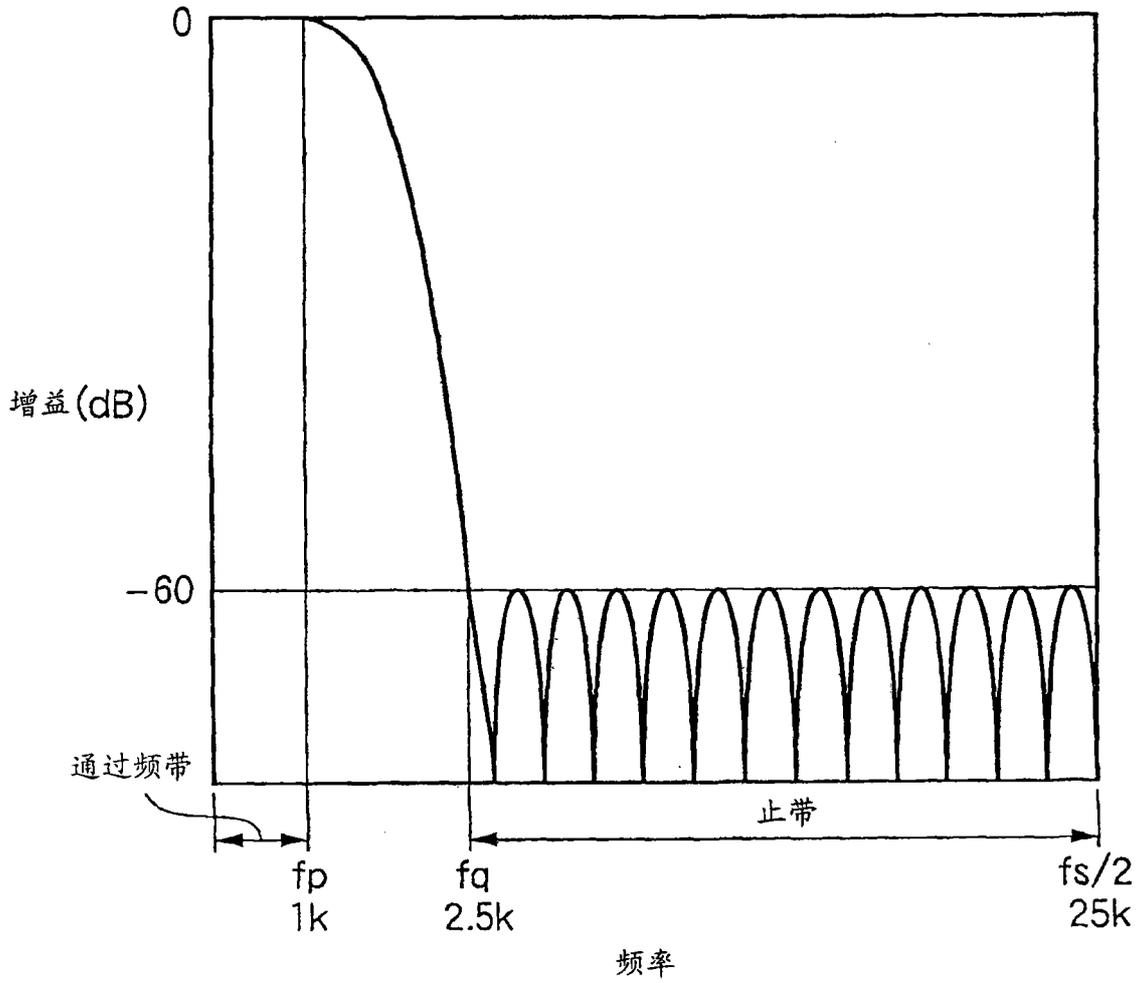


图 12

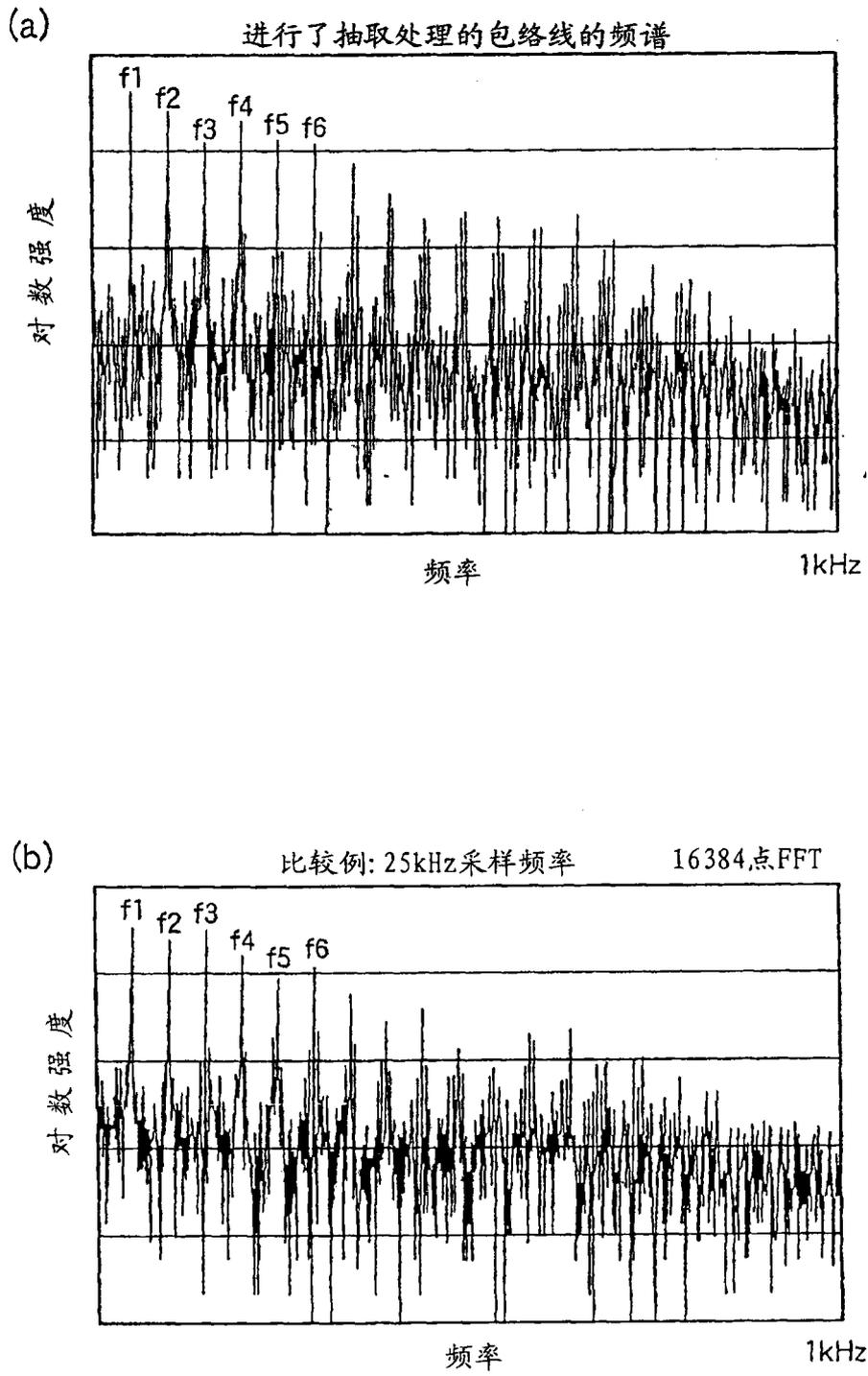


图 13

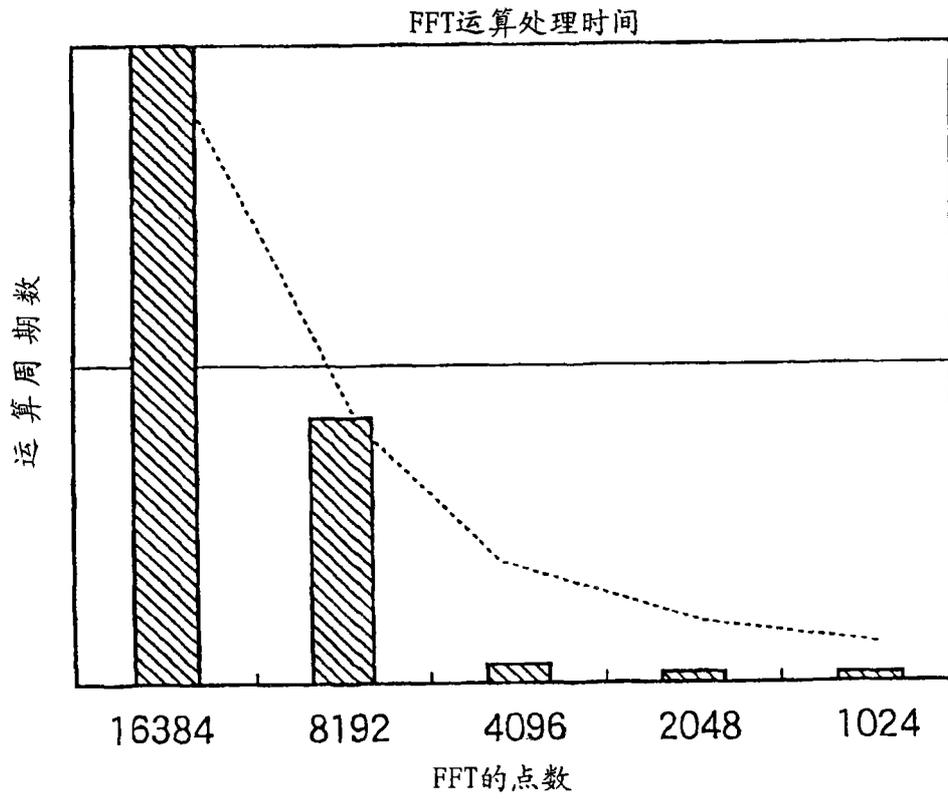
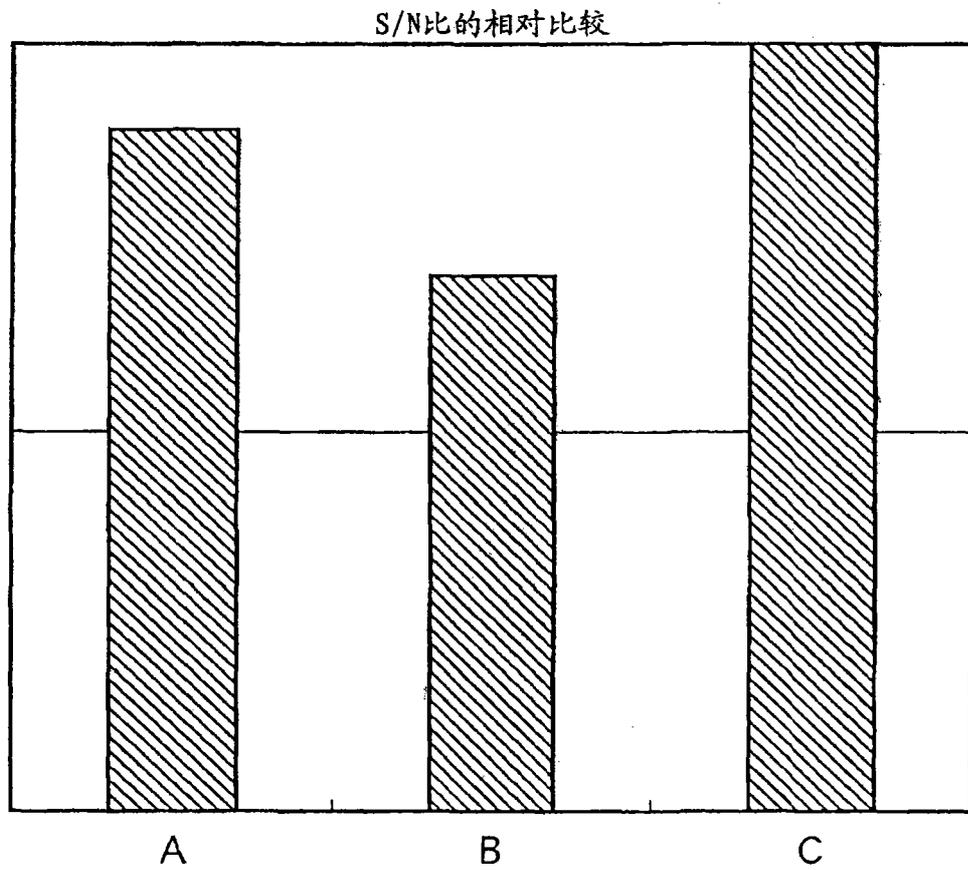


图 14



A: 25kHz采样频率,
16384点FFT

B: 将采样频率以5kHz二次采样后,
4096点FFT

C: f_c 1kHz数字低通滤波后,
将采样频率以5kHz二次采样后,
4096点FFT

图 15

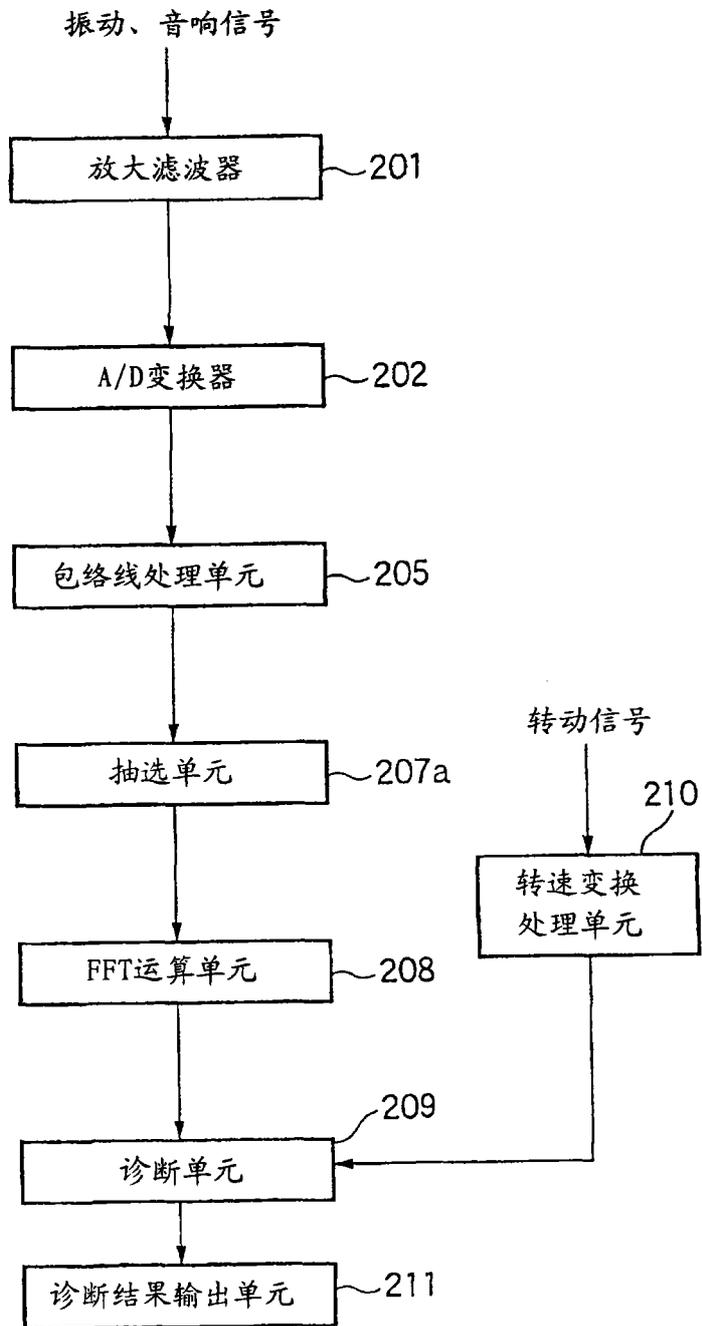


图 16

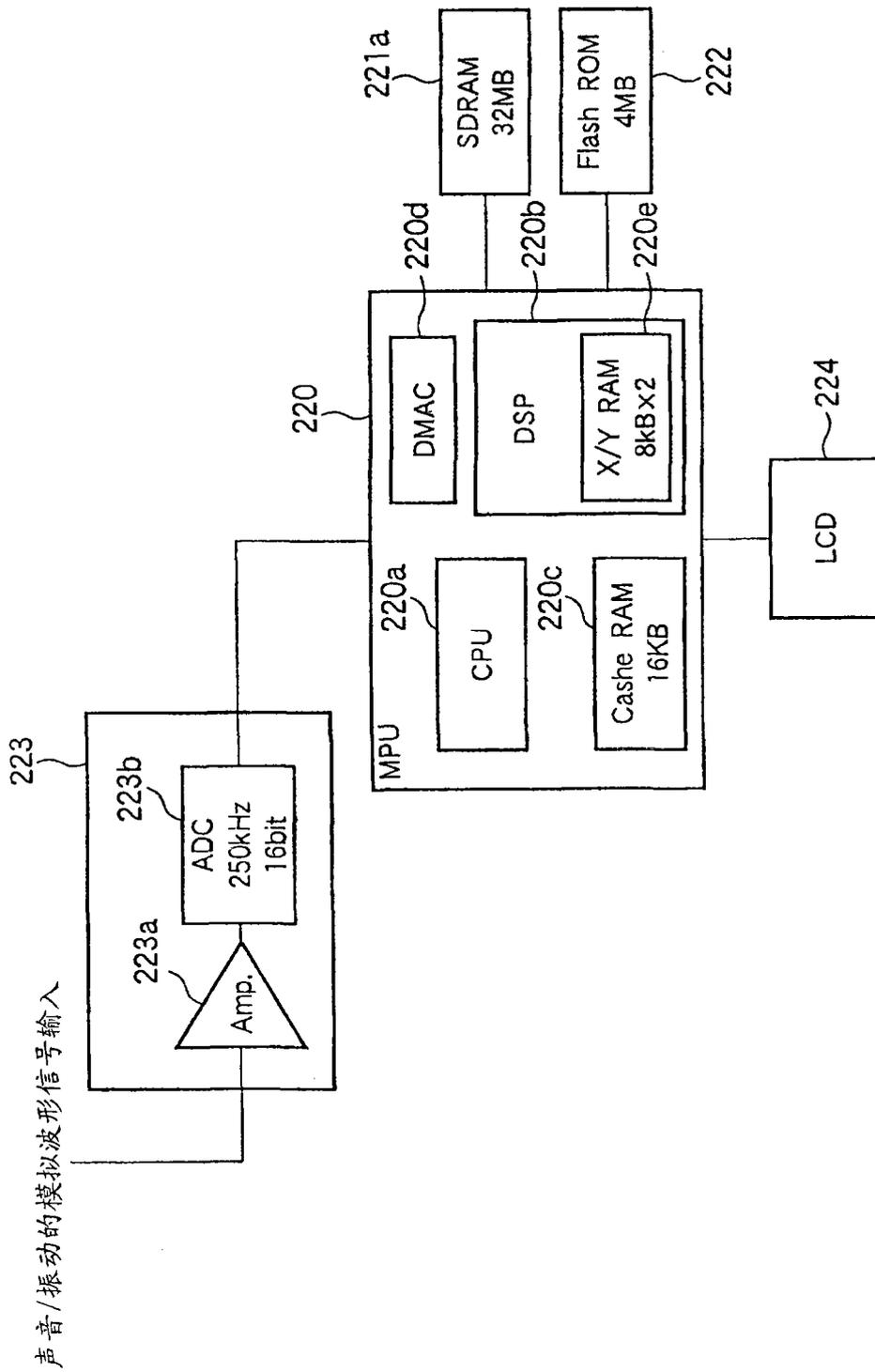


图 17

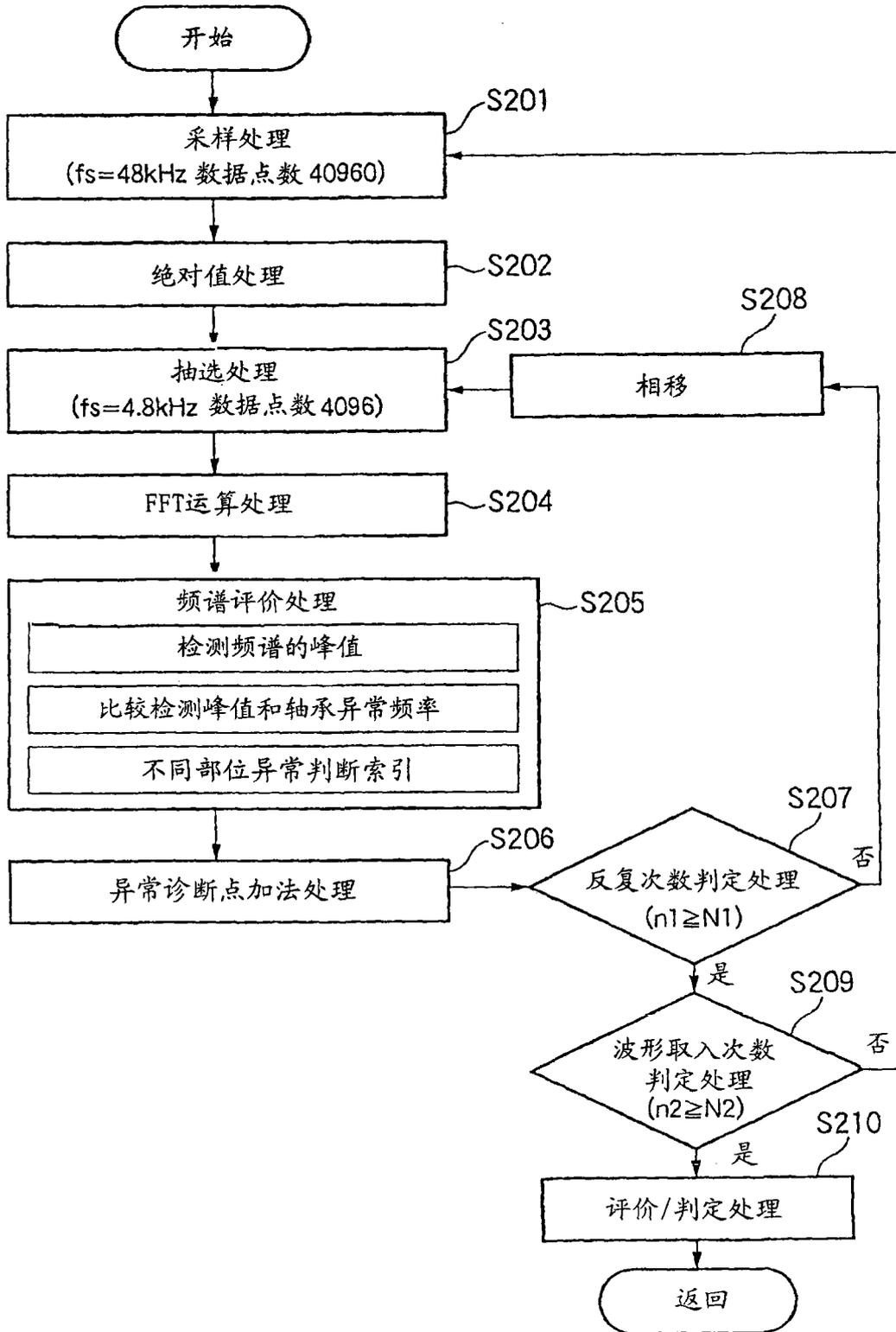


图 18

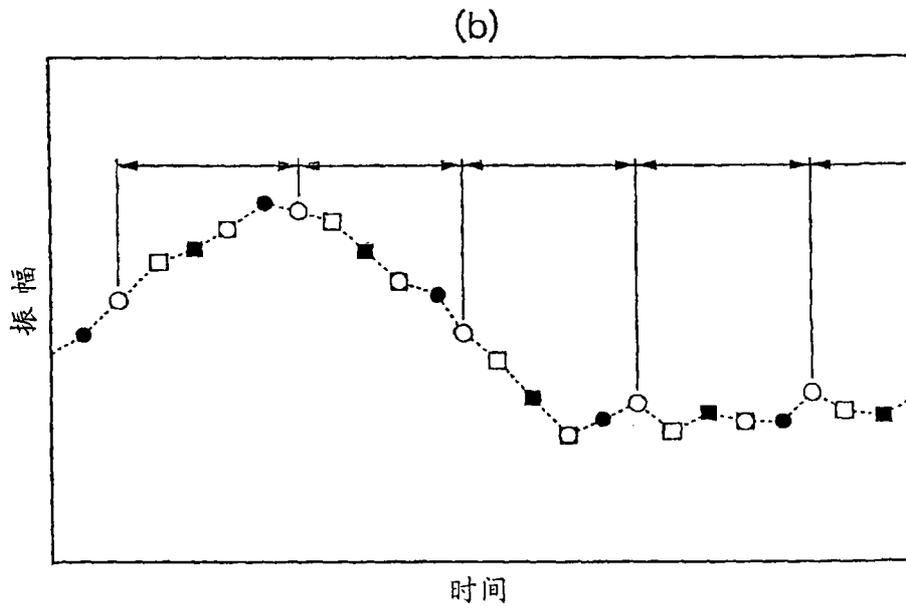
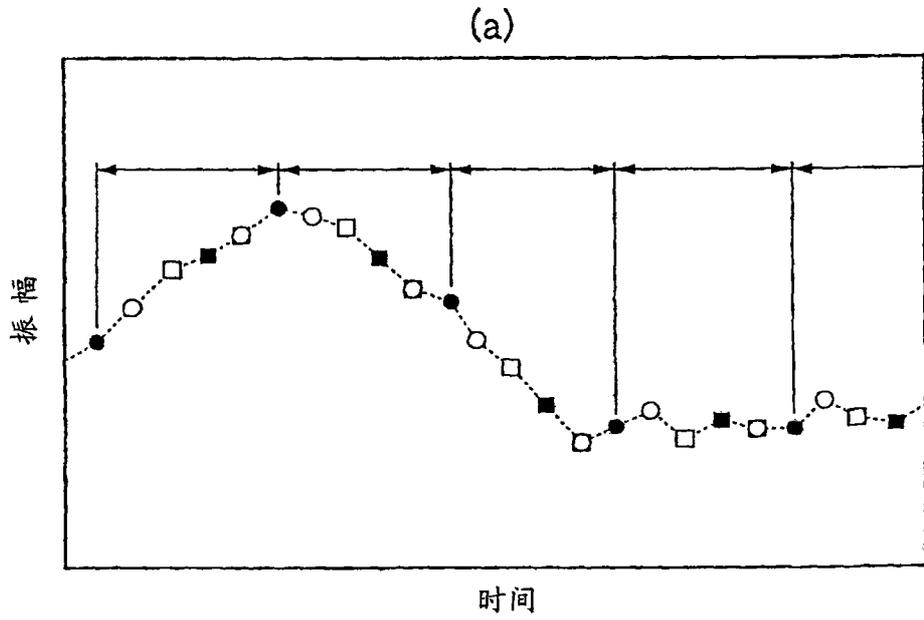


图 19

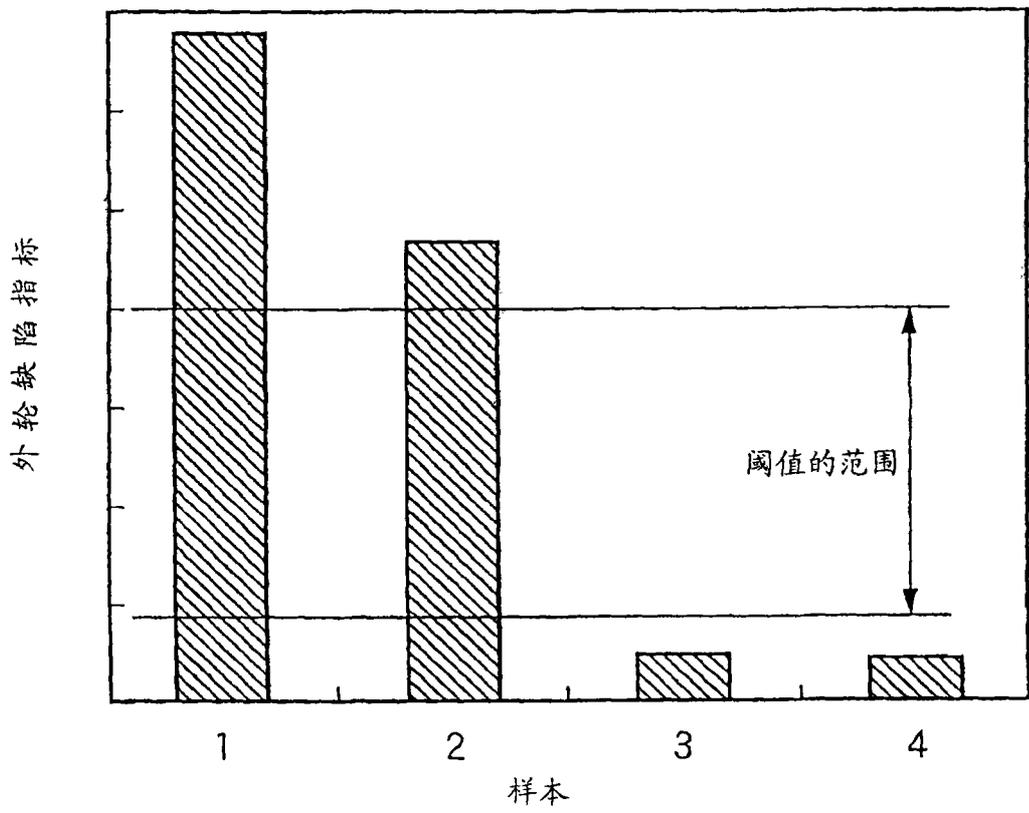


图 20

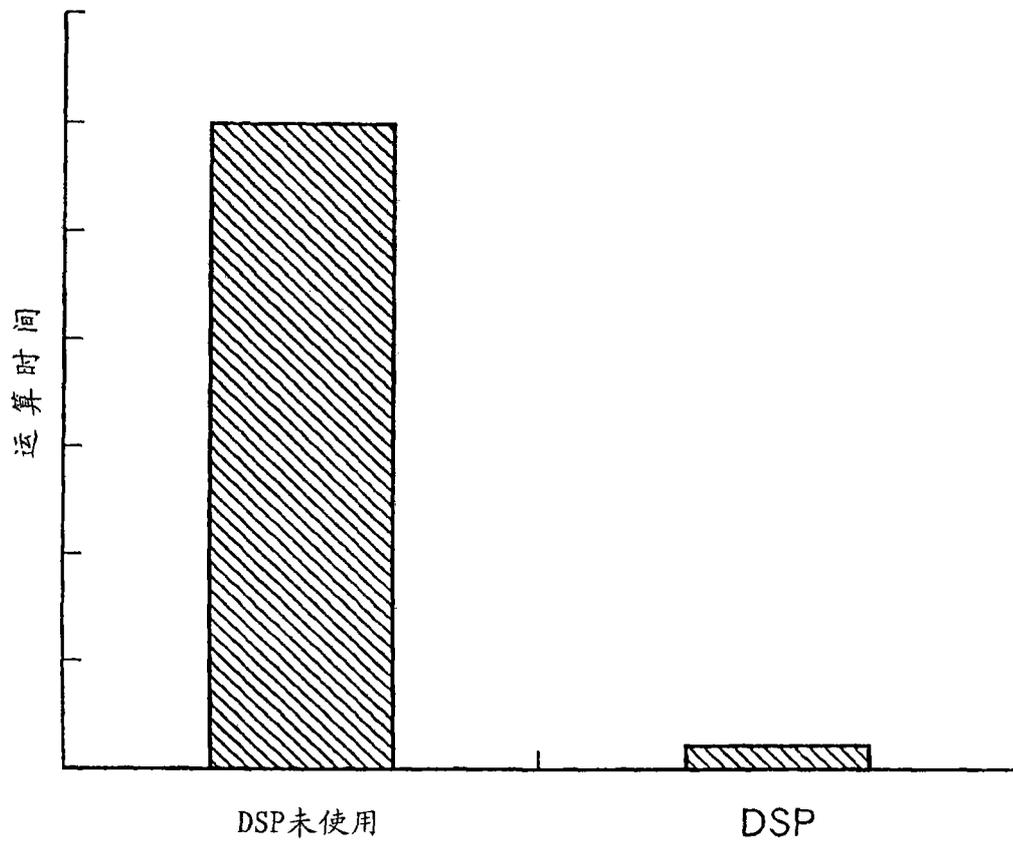


图 21

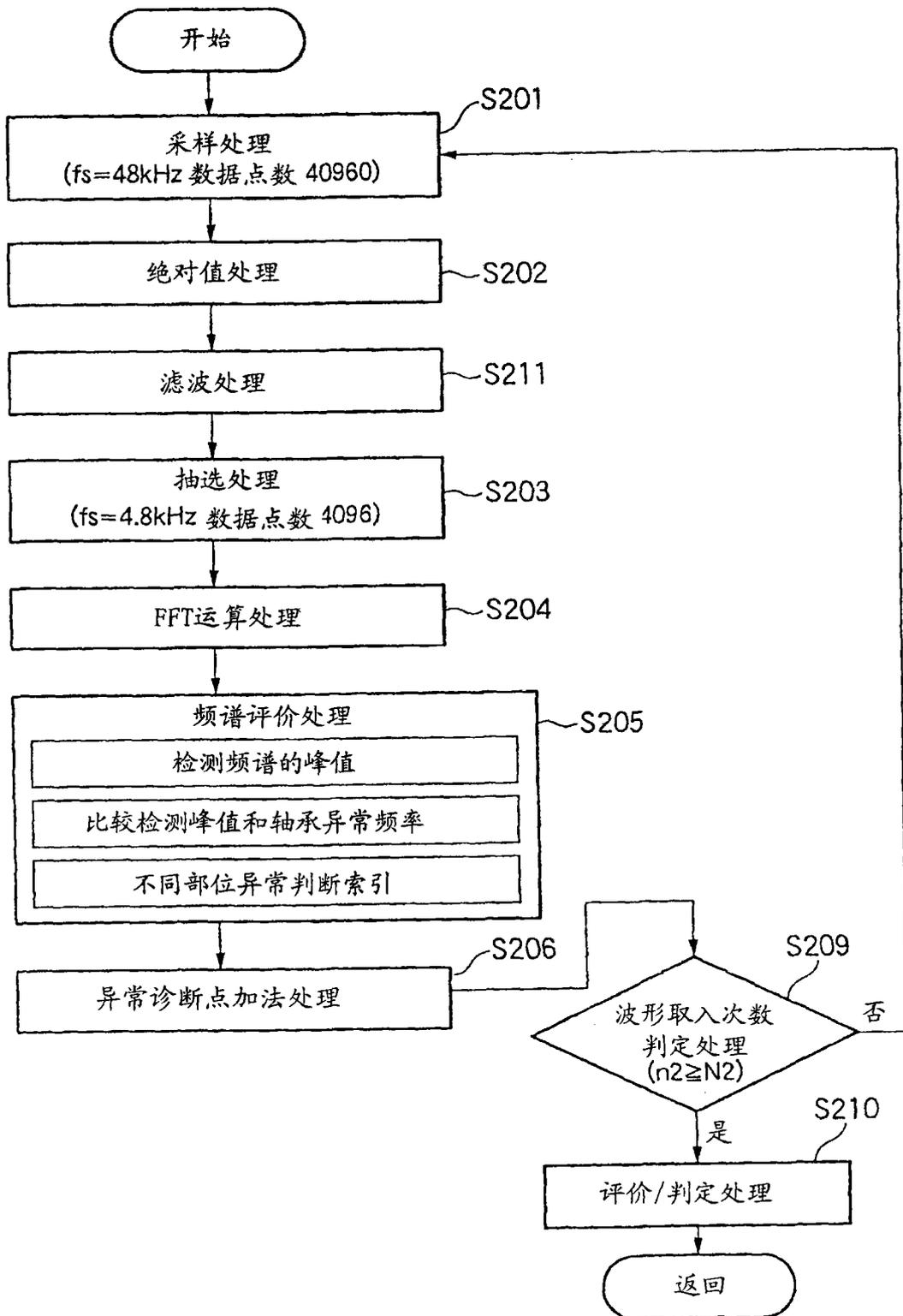


图 22

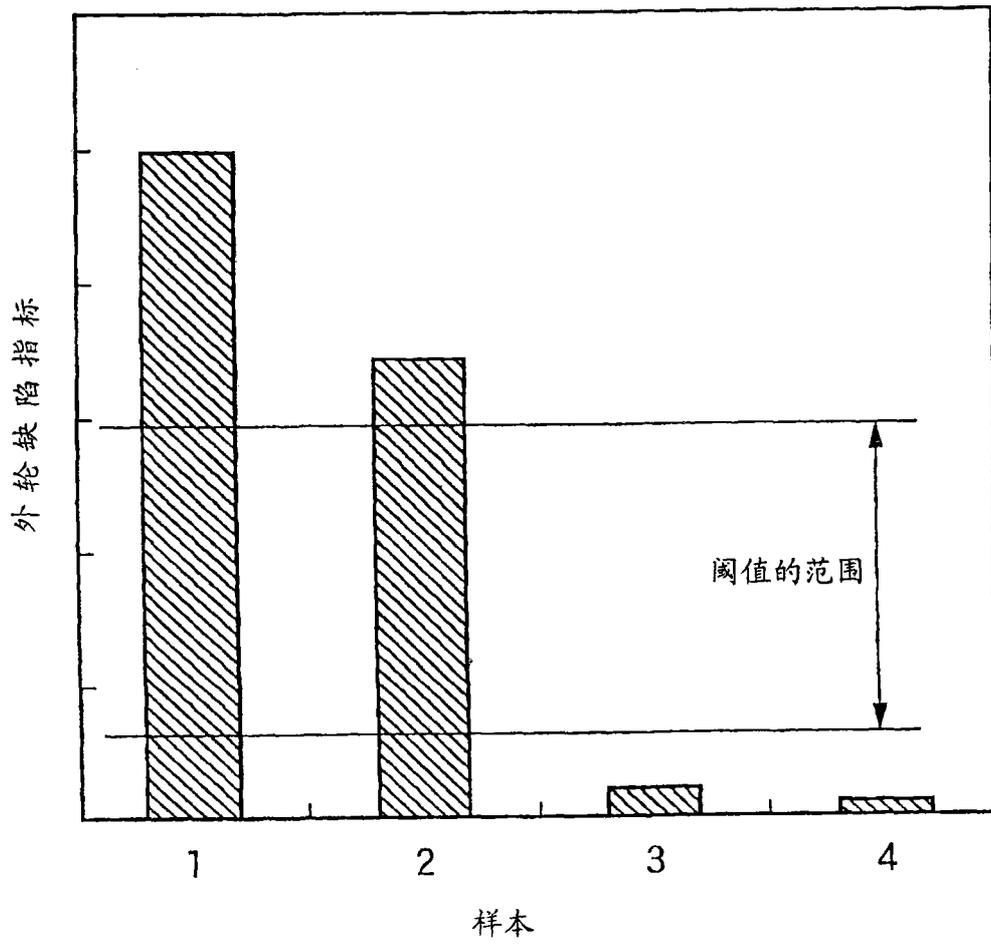


图 23

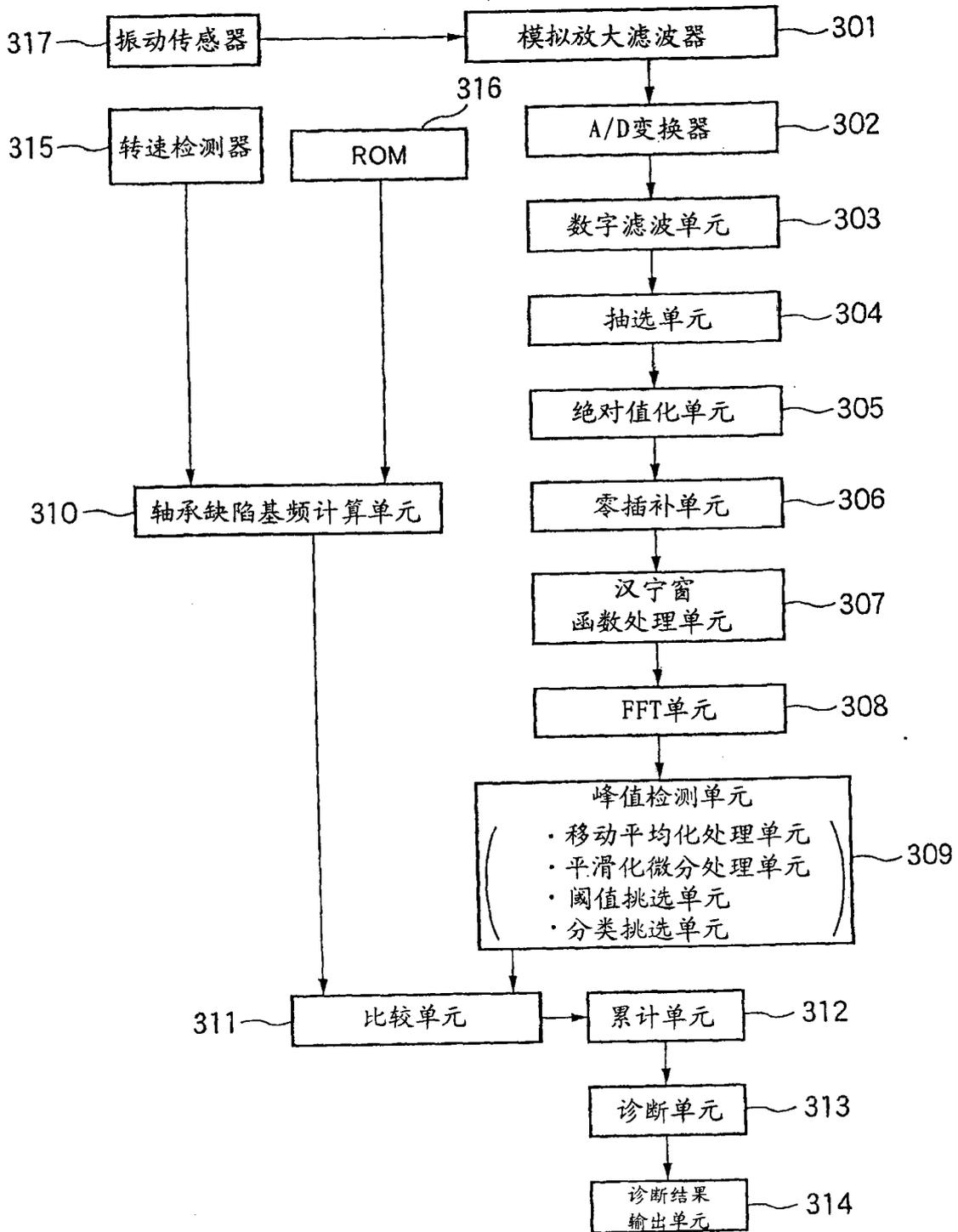


图 24

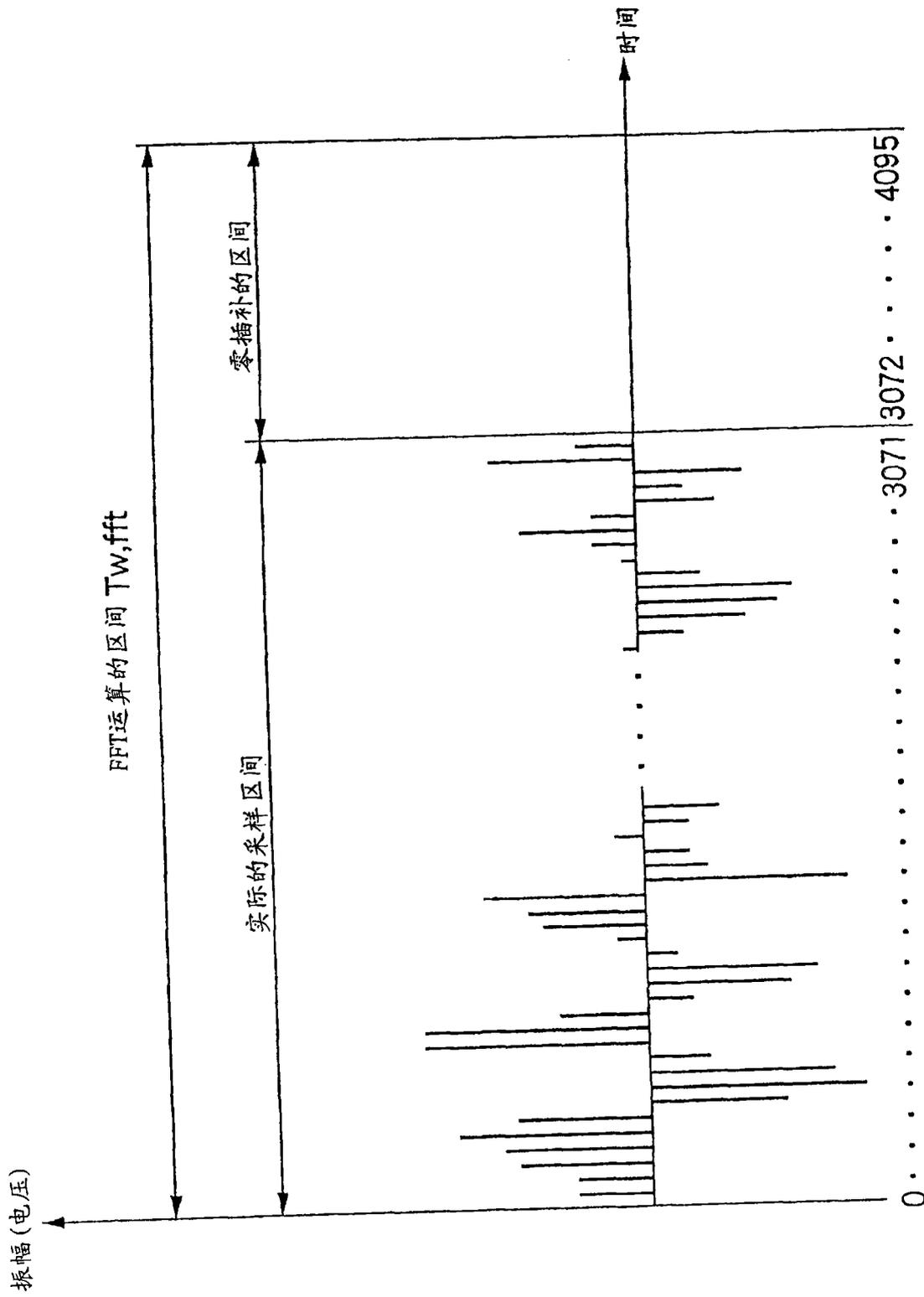


图 25

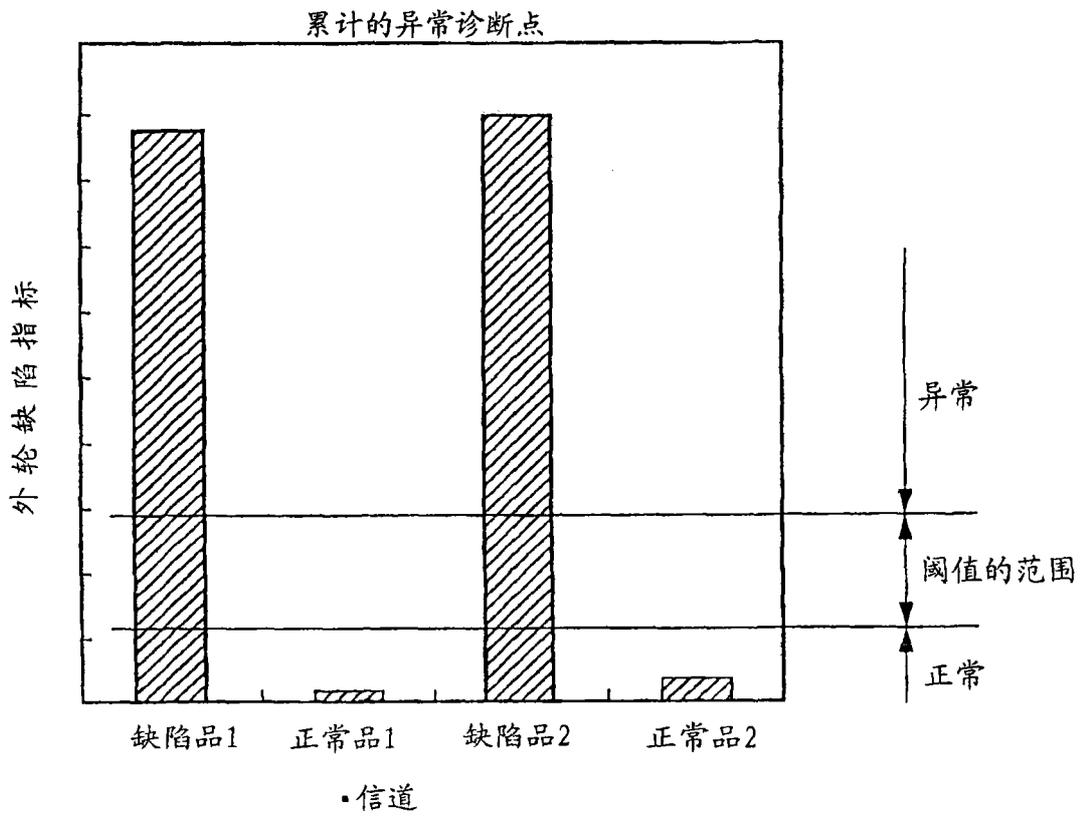


图 26

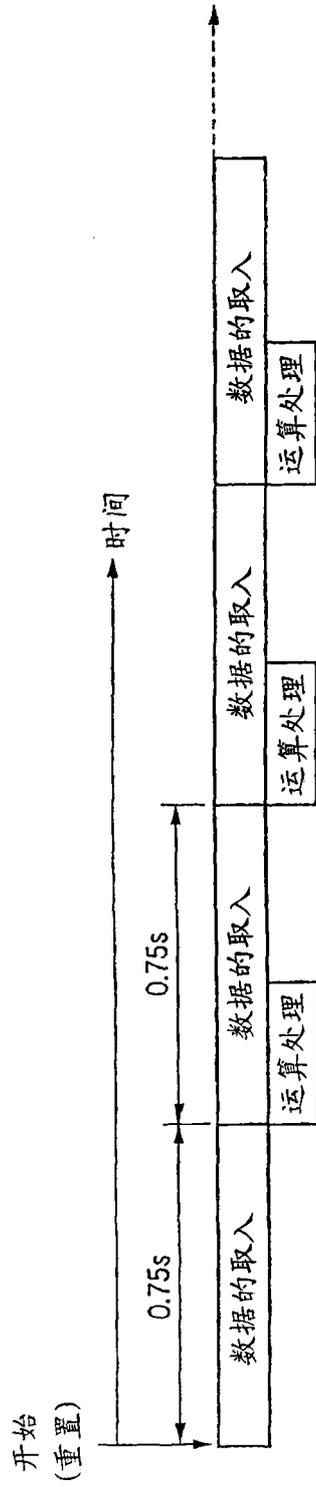


图 27

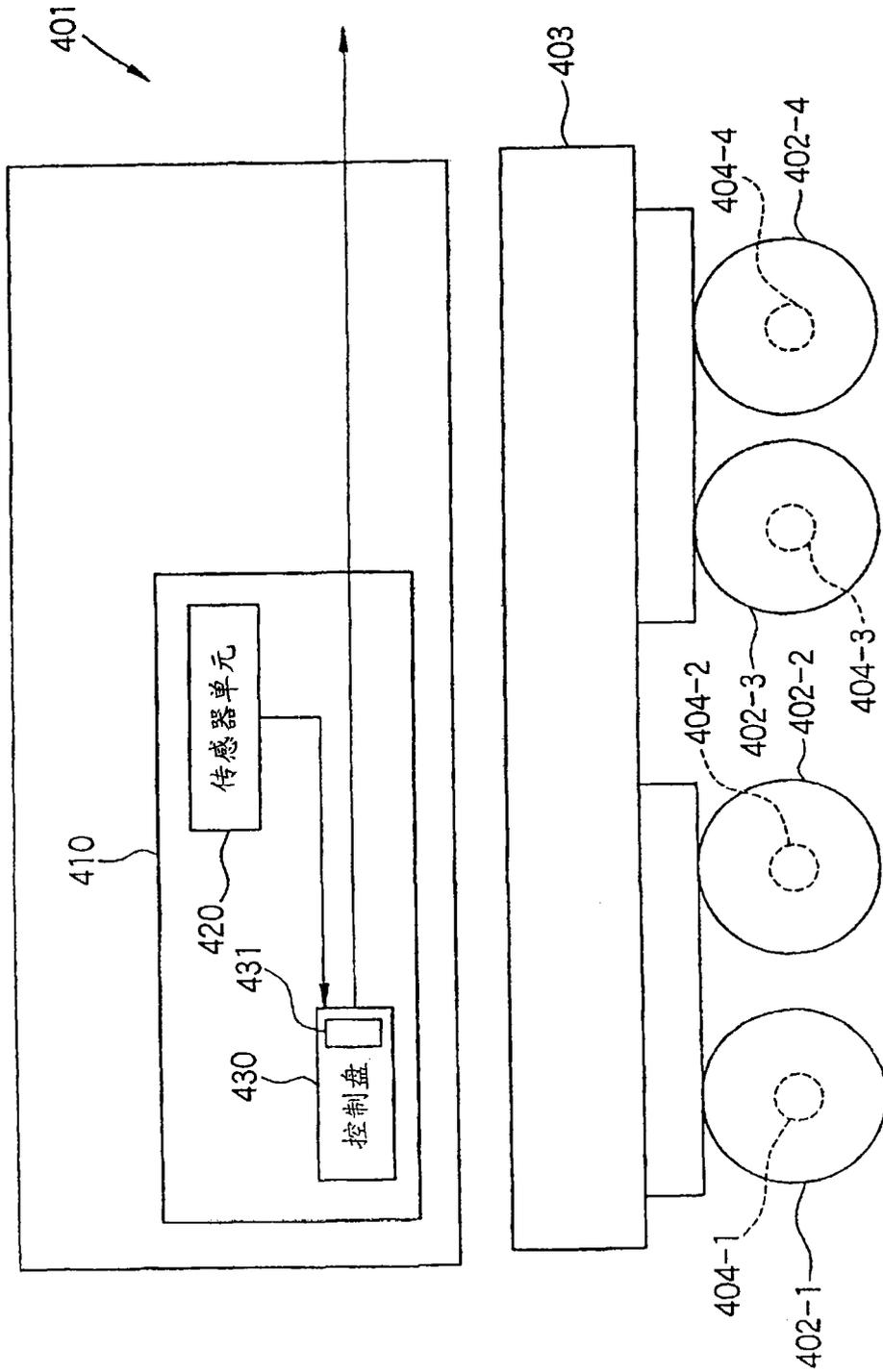


图 28

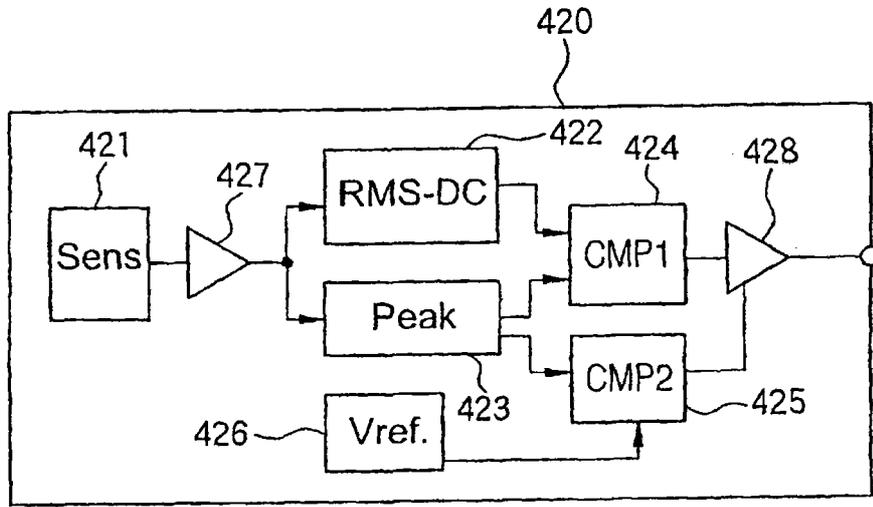


图 29

因占空比的计算而被除去的区间

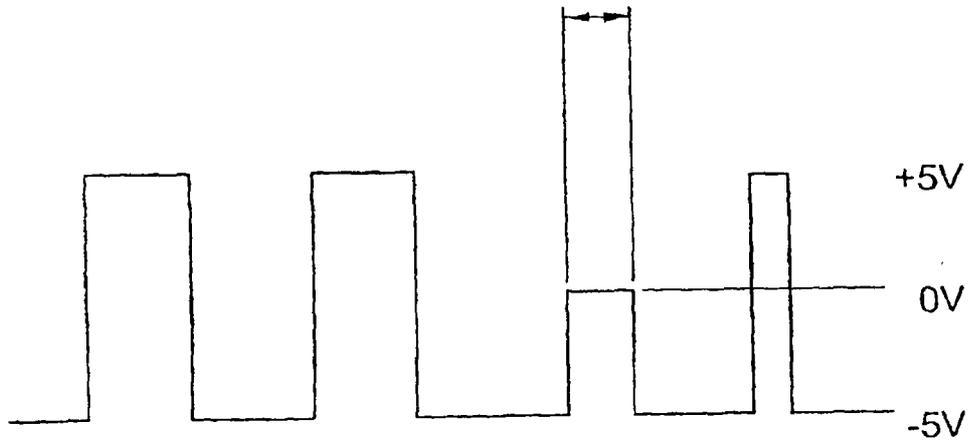


图 30

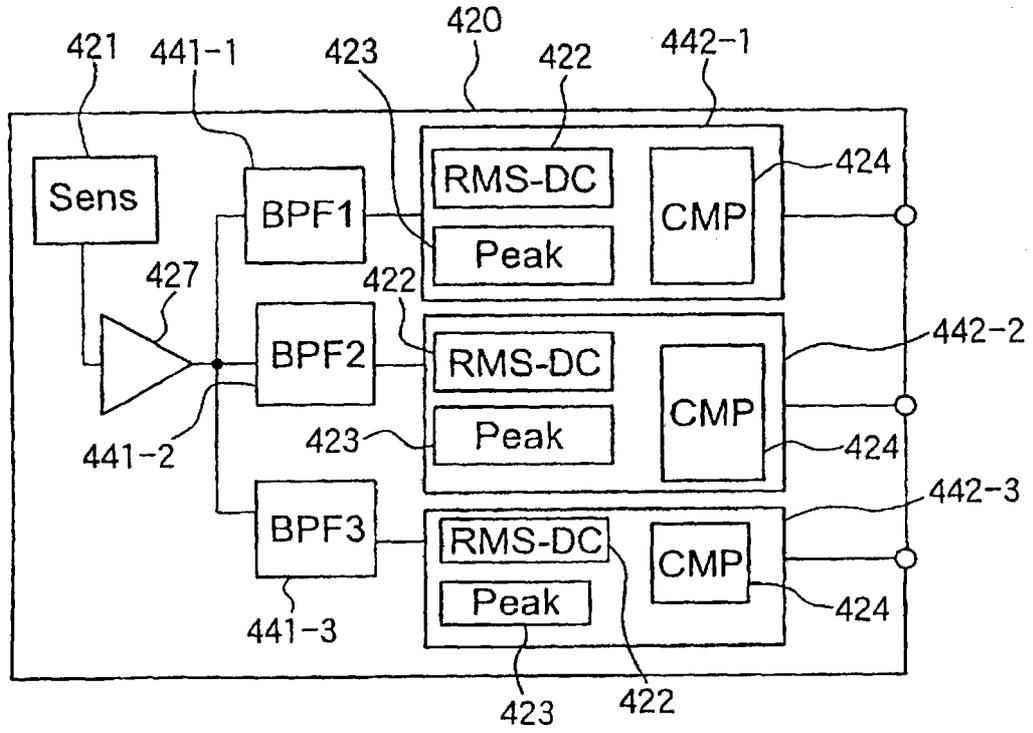
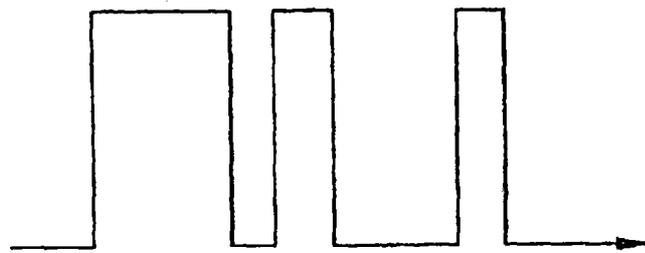


图 31



占空比的基准中包含噪声部分

图 32

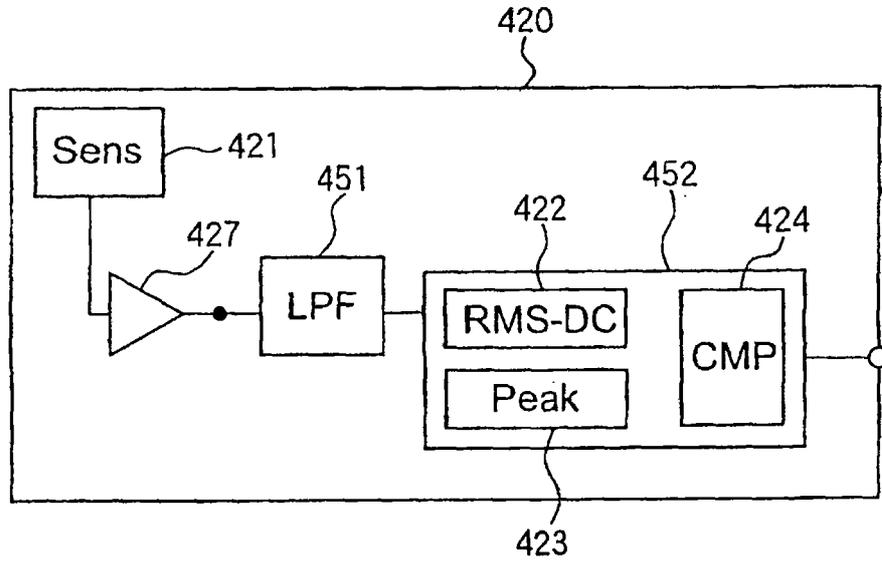


图 33

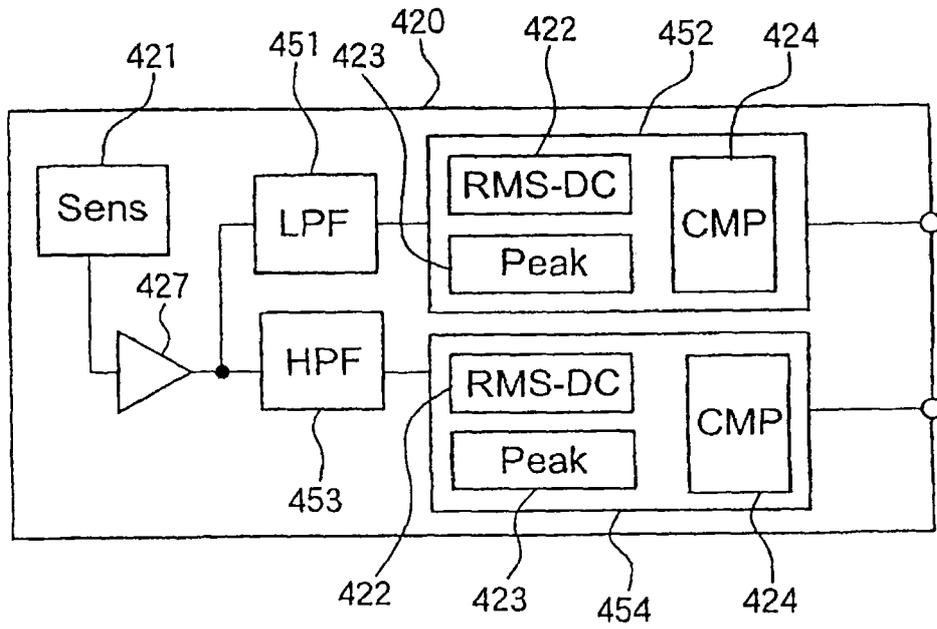


图 34

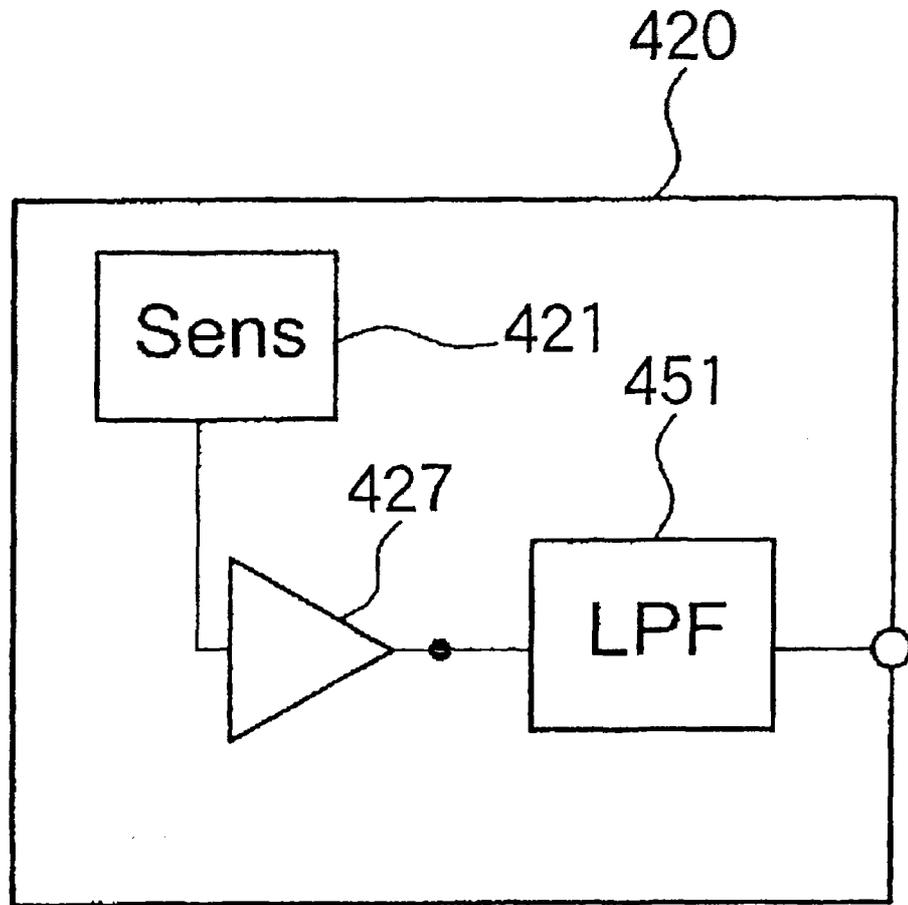


图 35

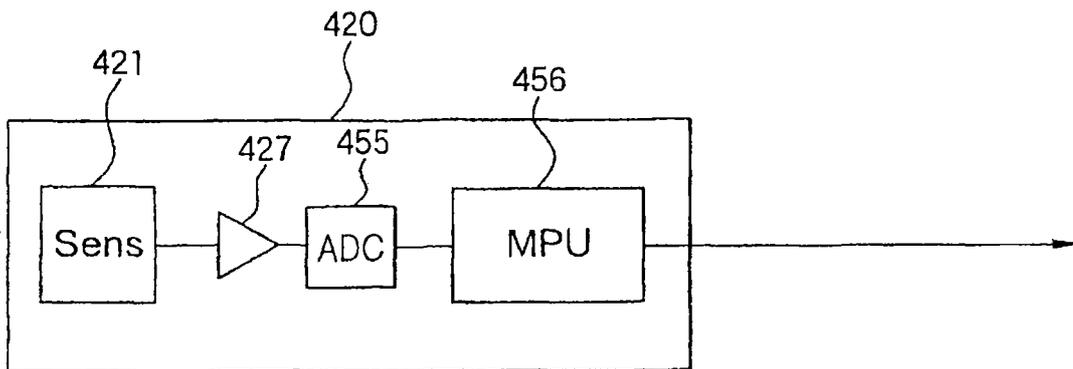


图 36

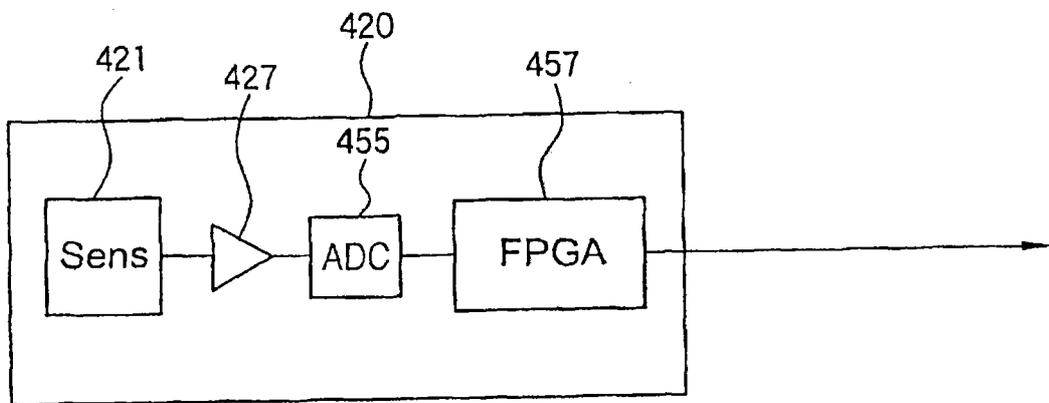


图 37

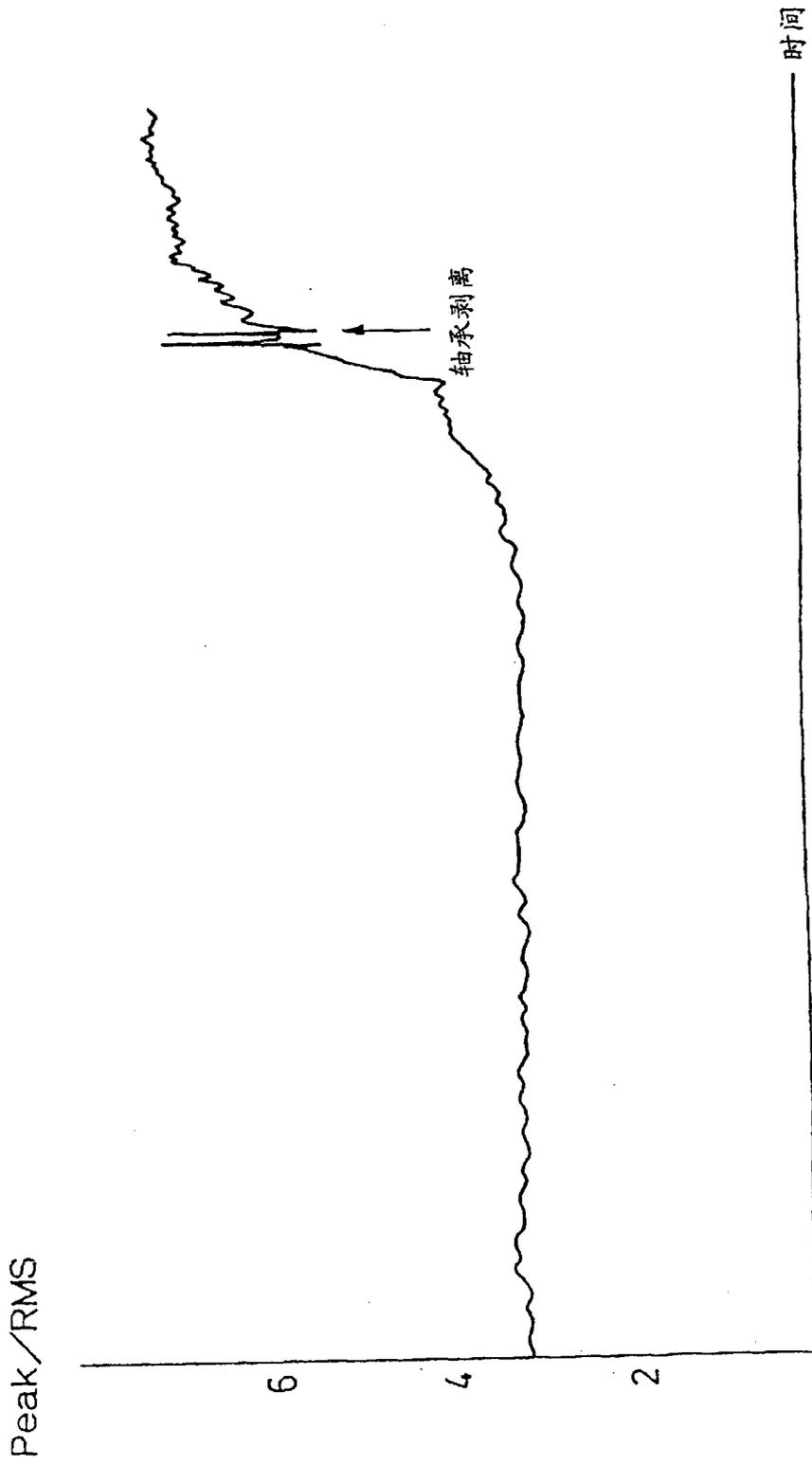


图 38

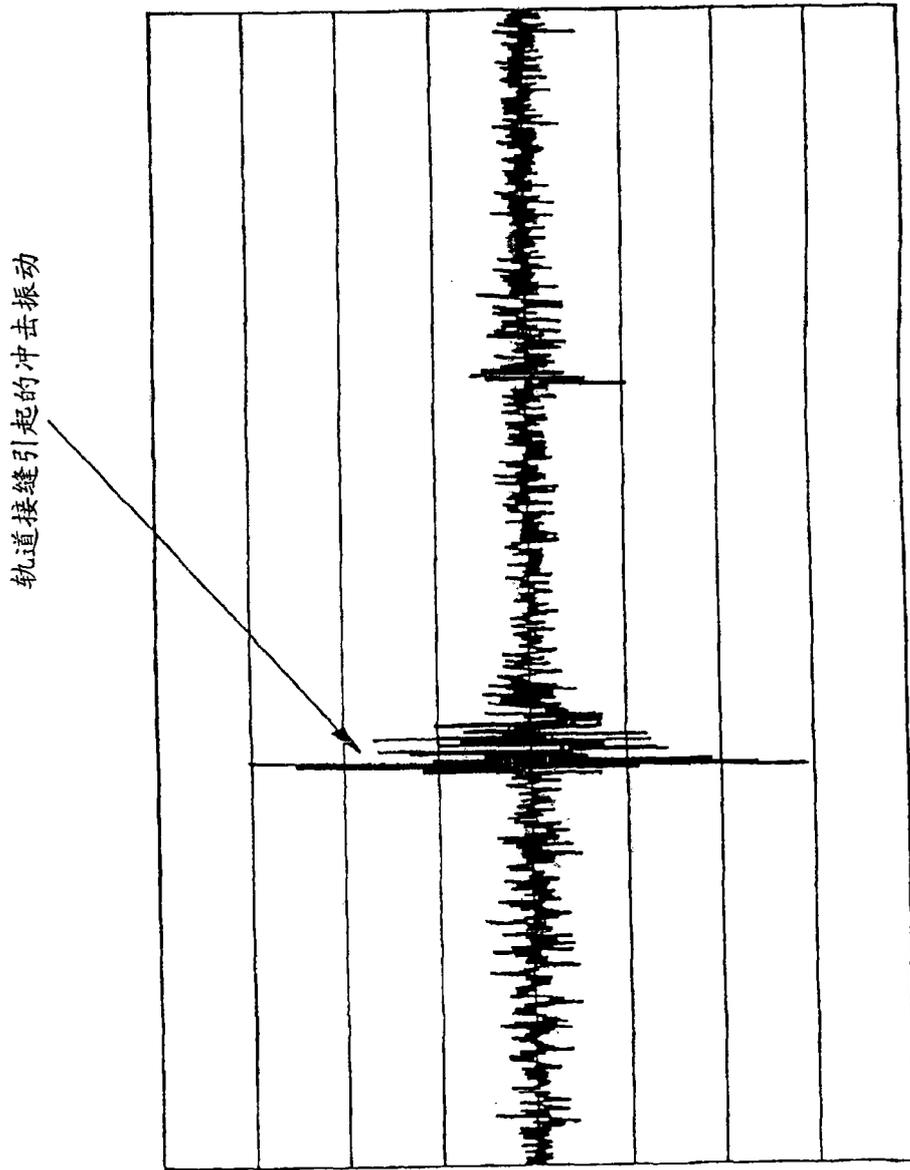


图 39

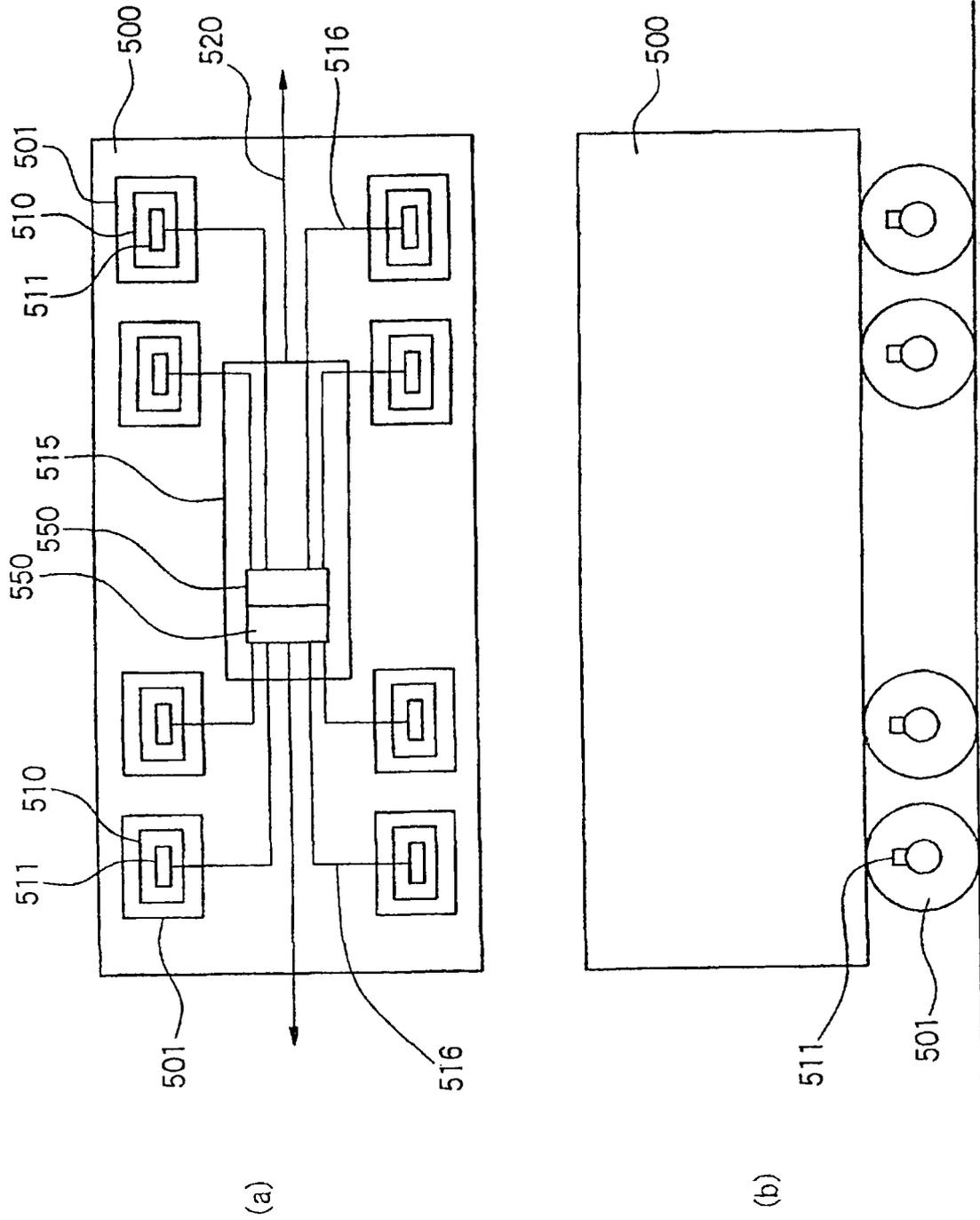


图 40

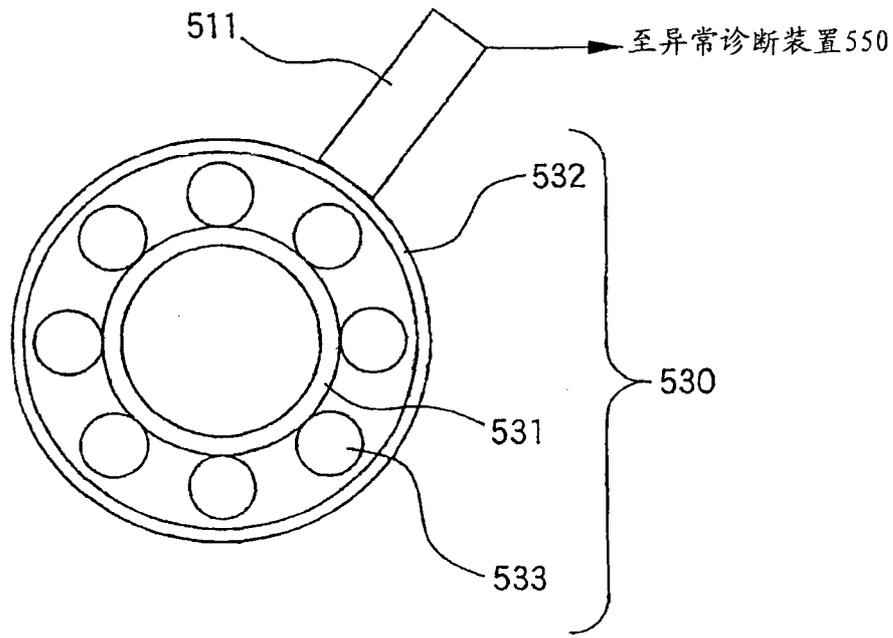


图 41

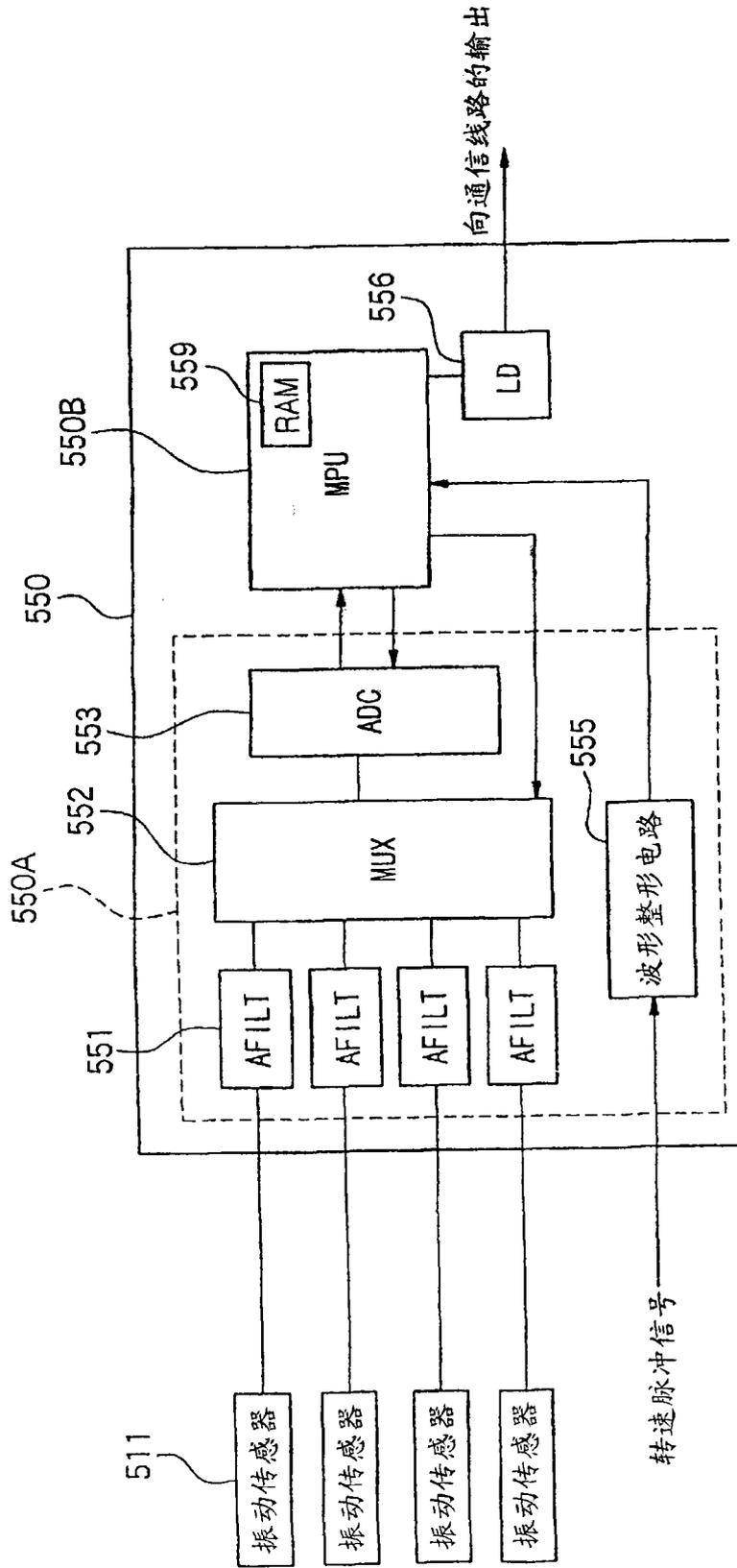


图 42

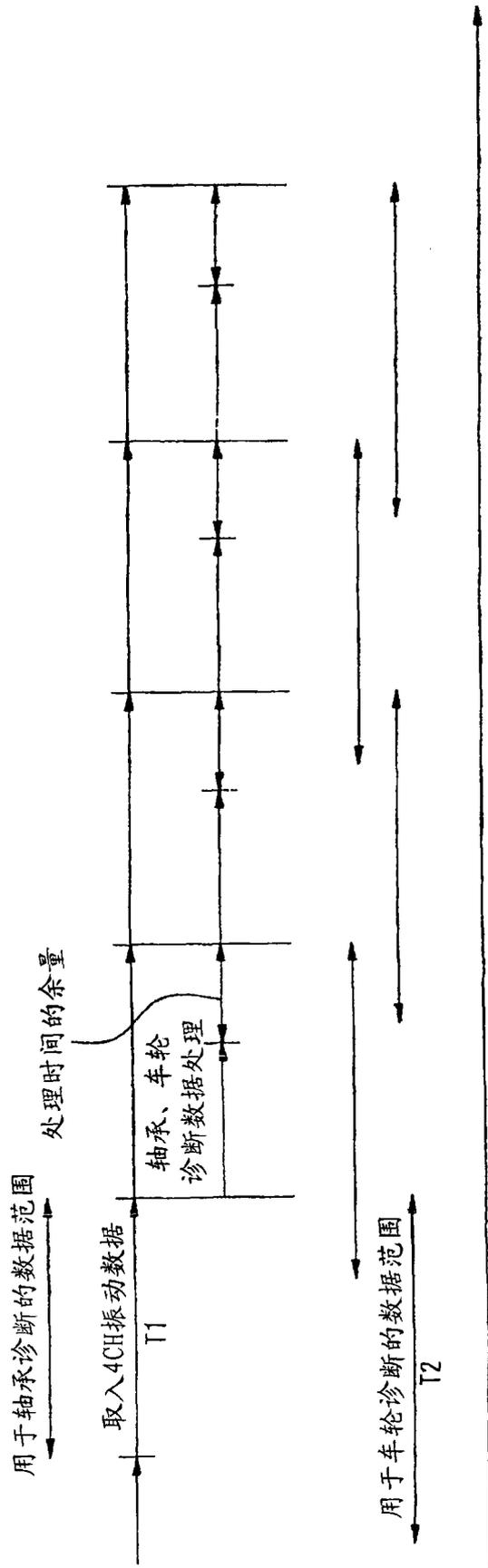


图 43

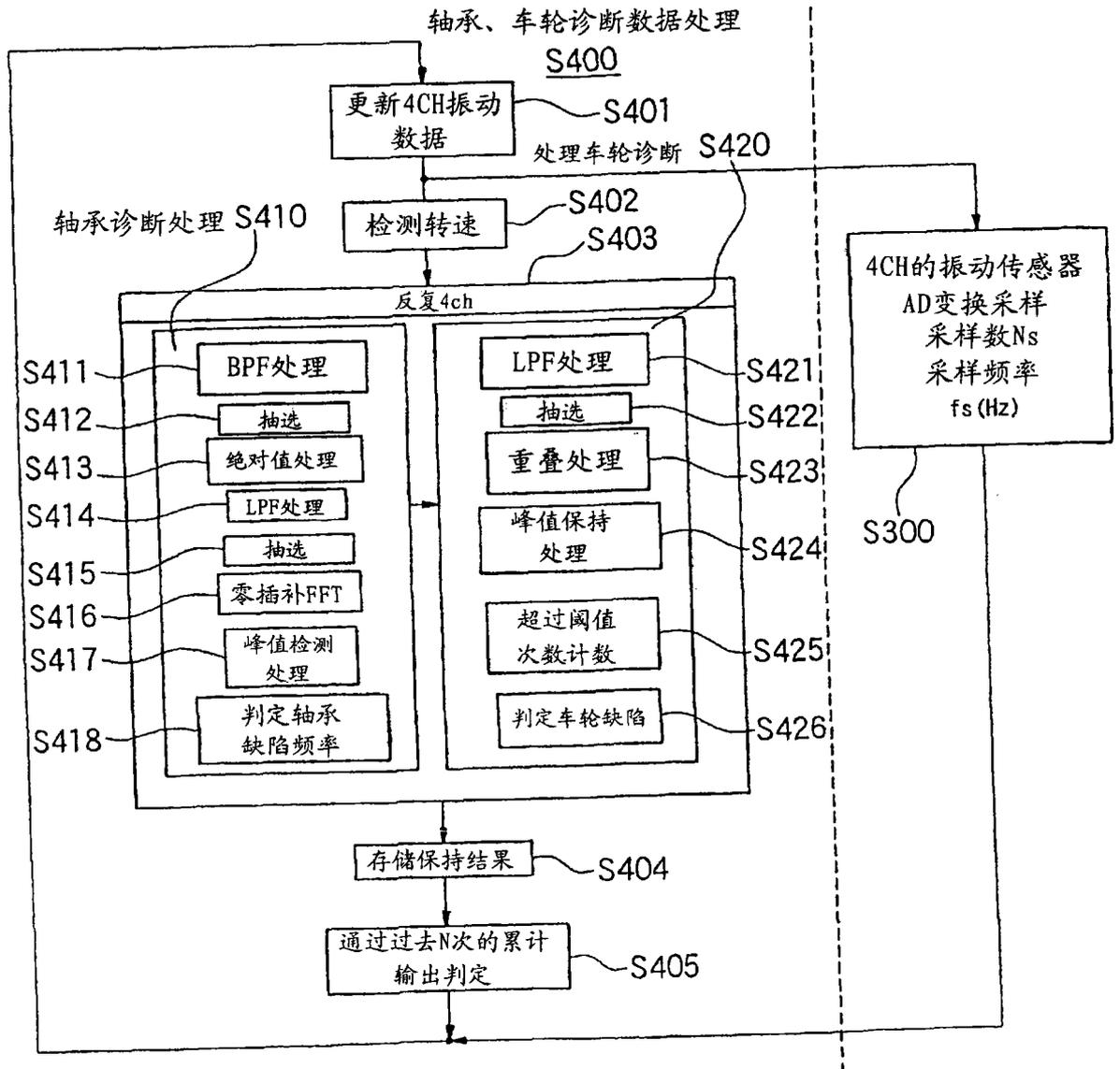


图 44

轴承的部位	与部位对应的频率
内轮 (Si)	$Zf_i = \frac{fr}{2} \left(1 + \frac{Da}{dm} \cdot \cos \alpha \right) Z$
外轮 (So)	$Zf_c = \frac{fr}{2} \left(1 - \frac{Da}{dm} \cdot \cos \alpha \right) Z$
转动体 (Sb)	$2f_b = fr \left(1 - \frac{Da^2}{dm^2} \cdot \cos^2 \alpha \right) \frac{dm}{Da}$
保持器 (Sc)	$f_c = \frac{fr}{2} \left(1 - \frac{Da \cdot \cos \alpha}{dm} \right)$

f_r : 内轮(外轮)转速 [Hz]
 f_c : 保持器转速 [Hz]
 f_b : 转动体自转速度 [Hz]
 dm : 转动体节距圆直径 [mm]

Z : 转动体的数
 f_i : $f_r - f_c$
 Da : 转动体直径 [mm]
 α : 接触角 [rad]

图 45

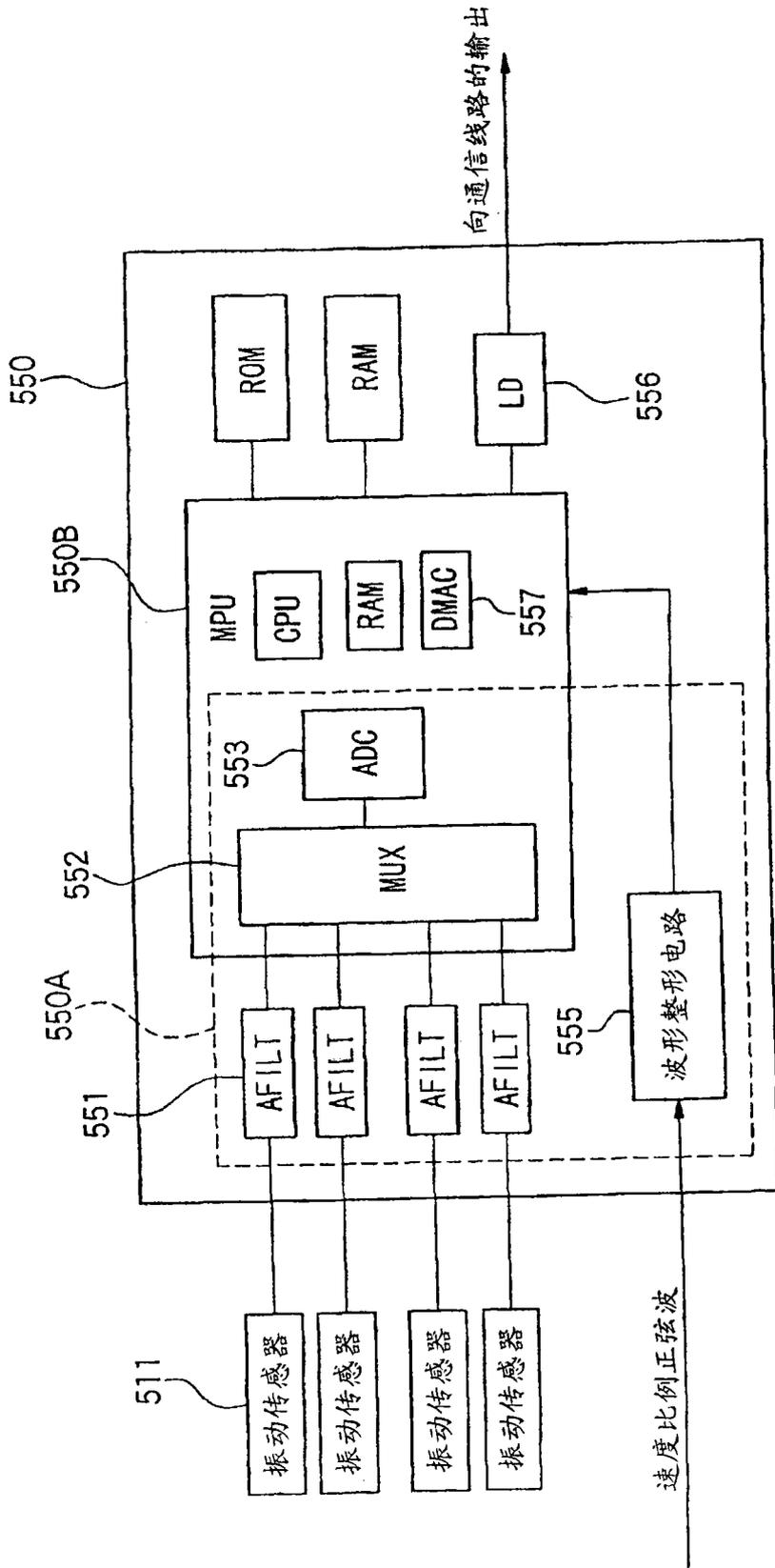


图 46

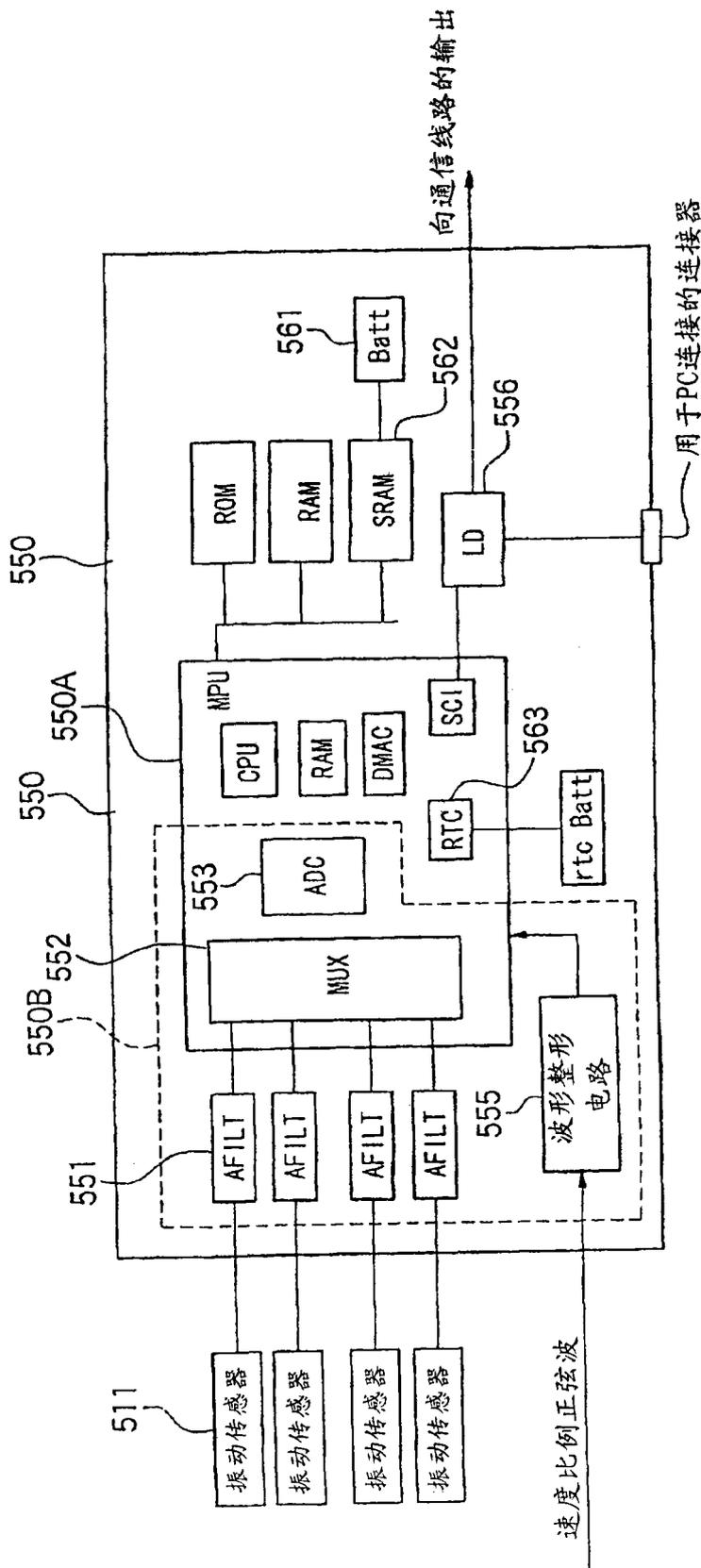


图 47

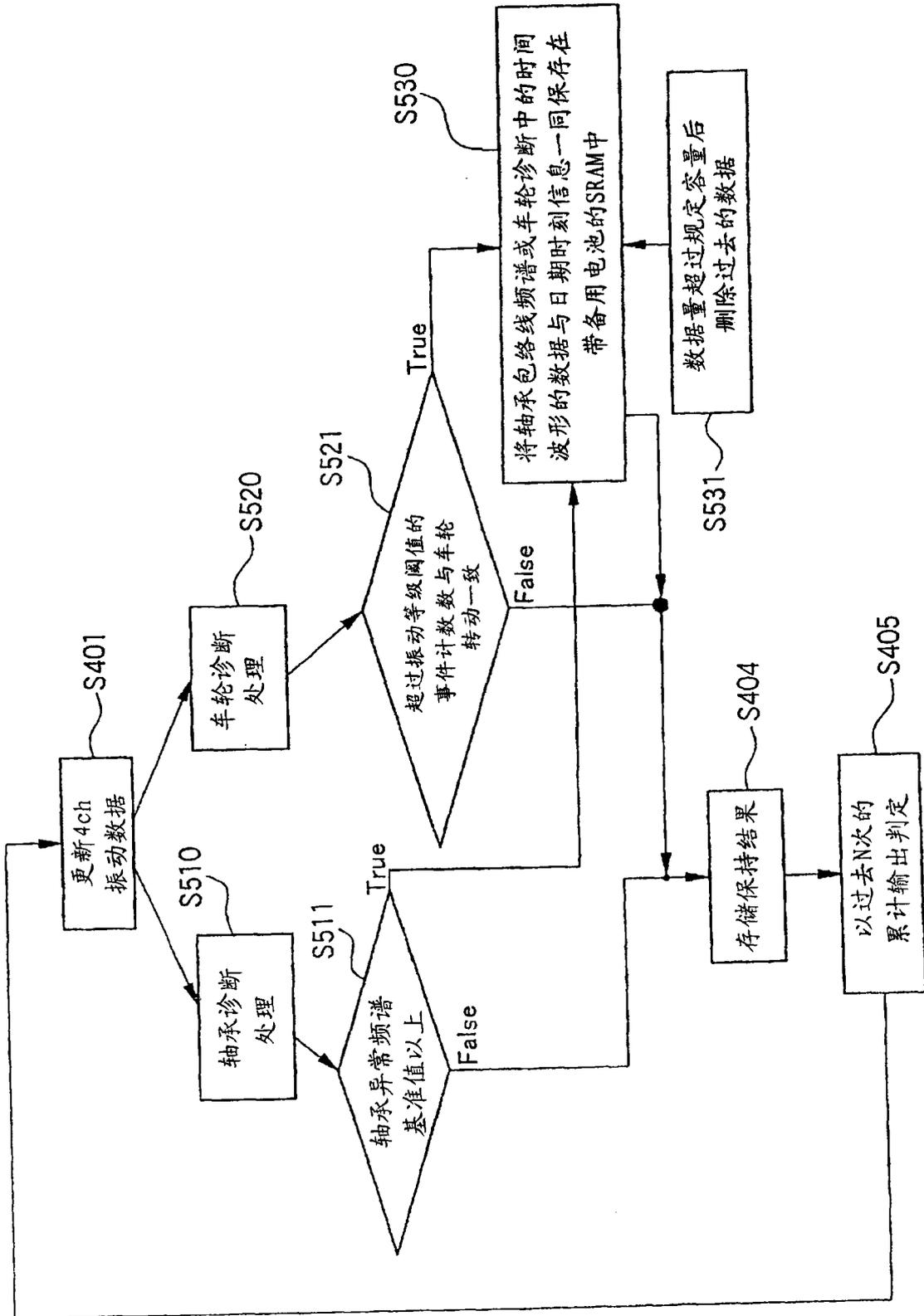


图 48

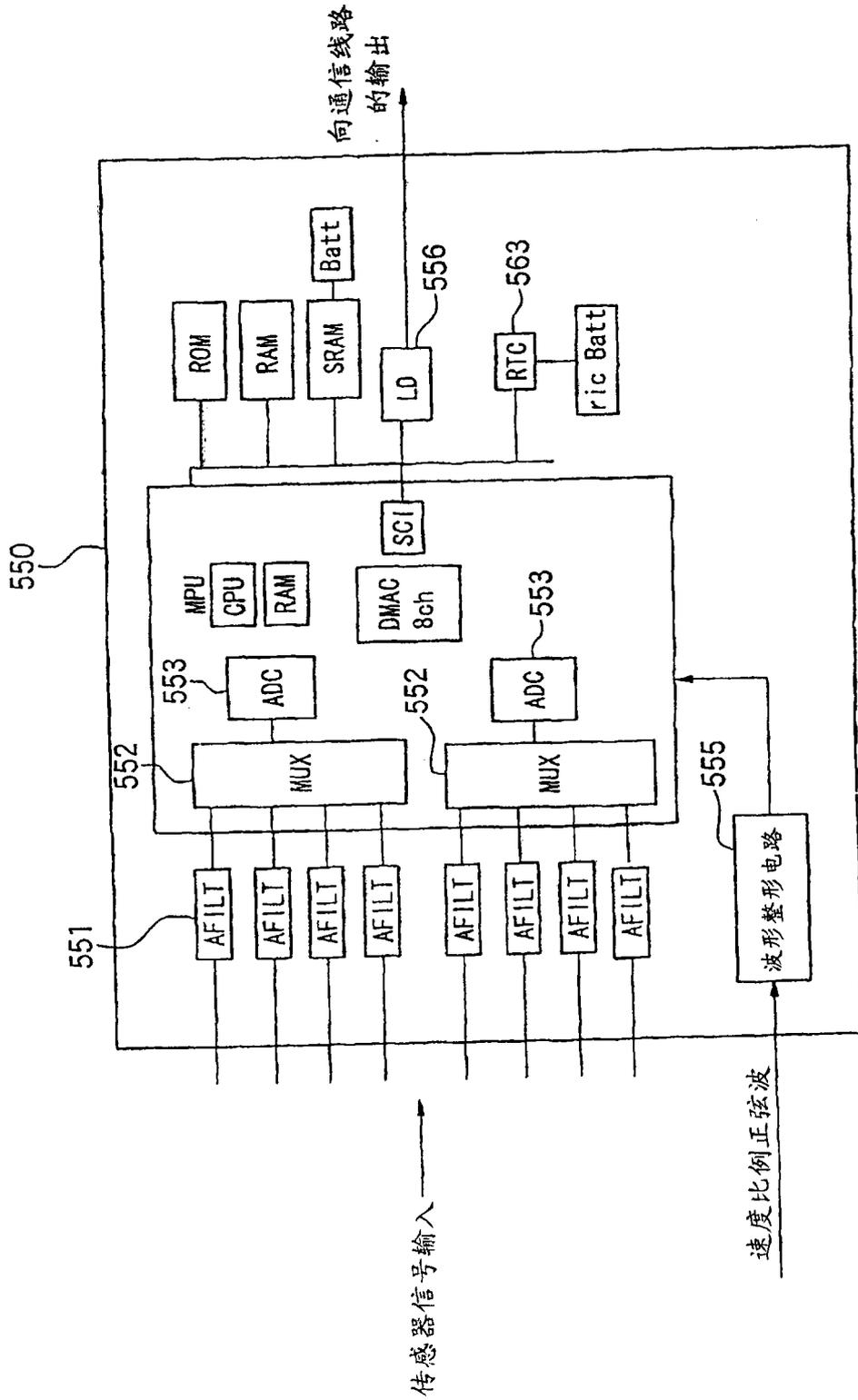


图 49

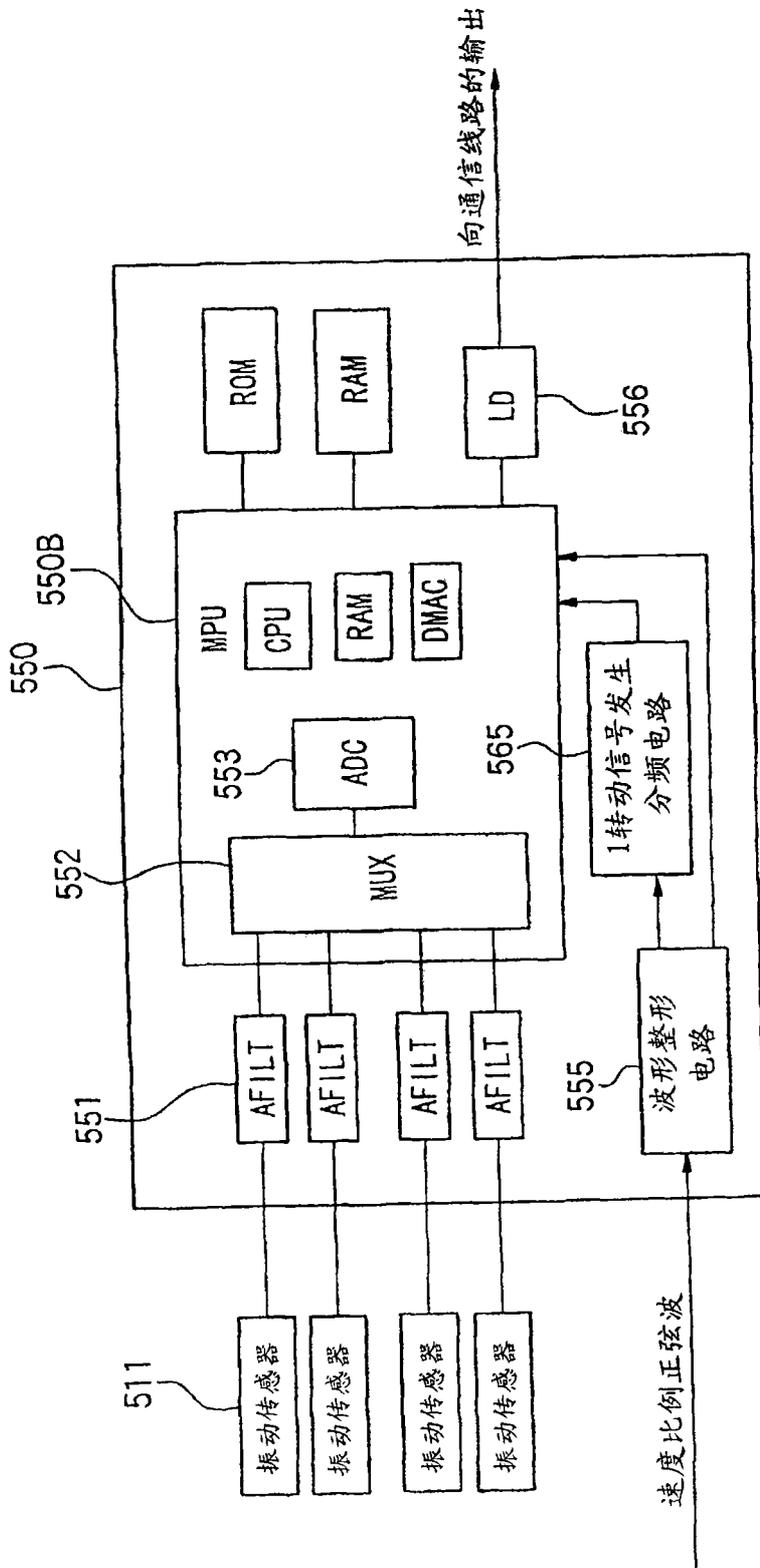


图 50

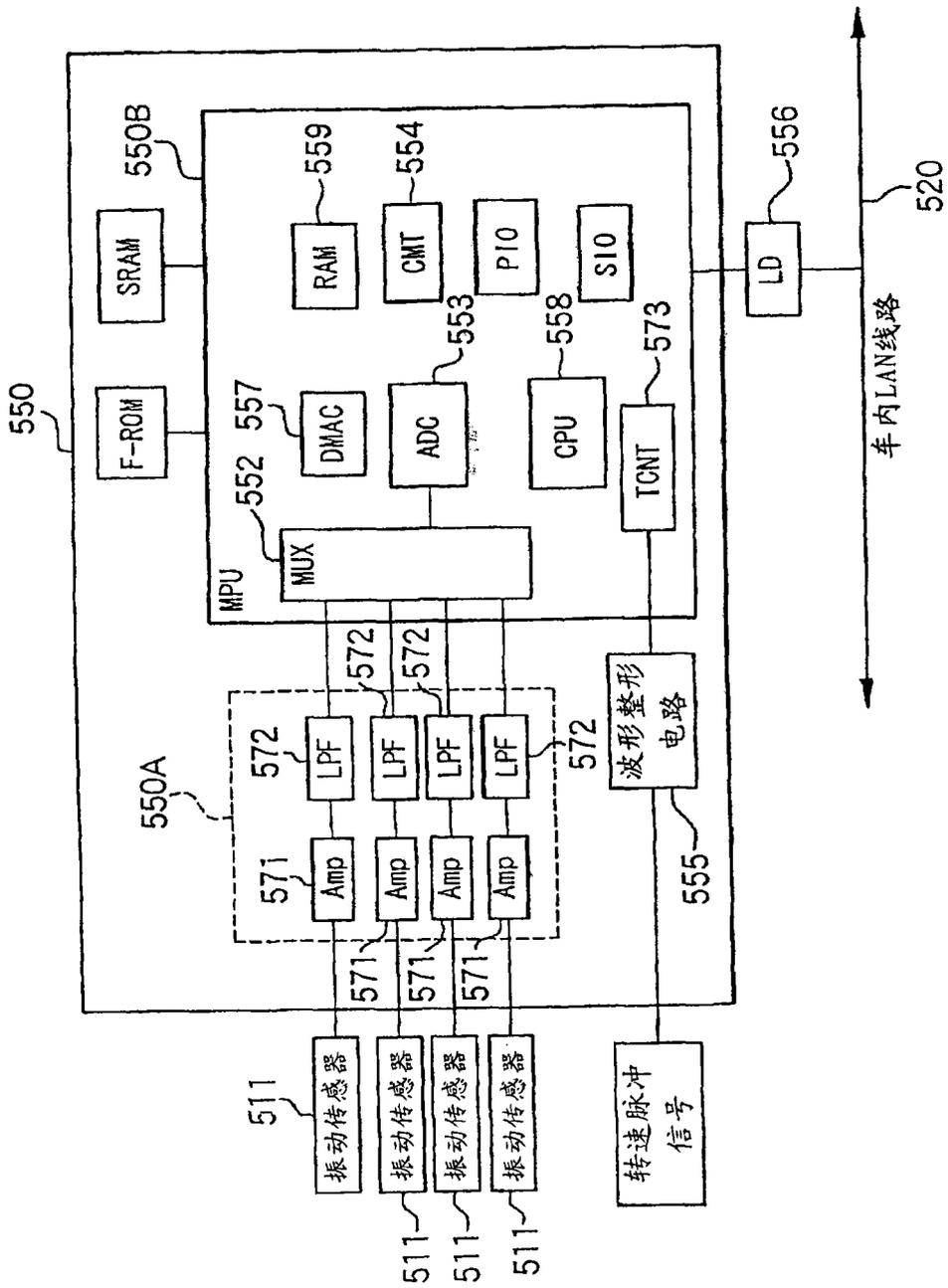


图 51

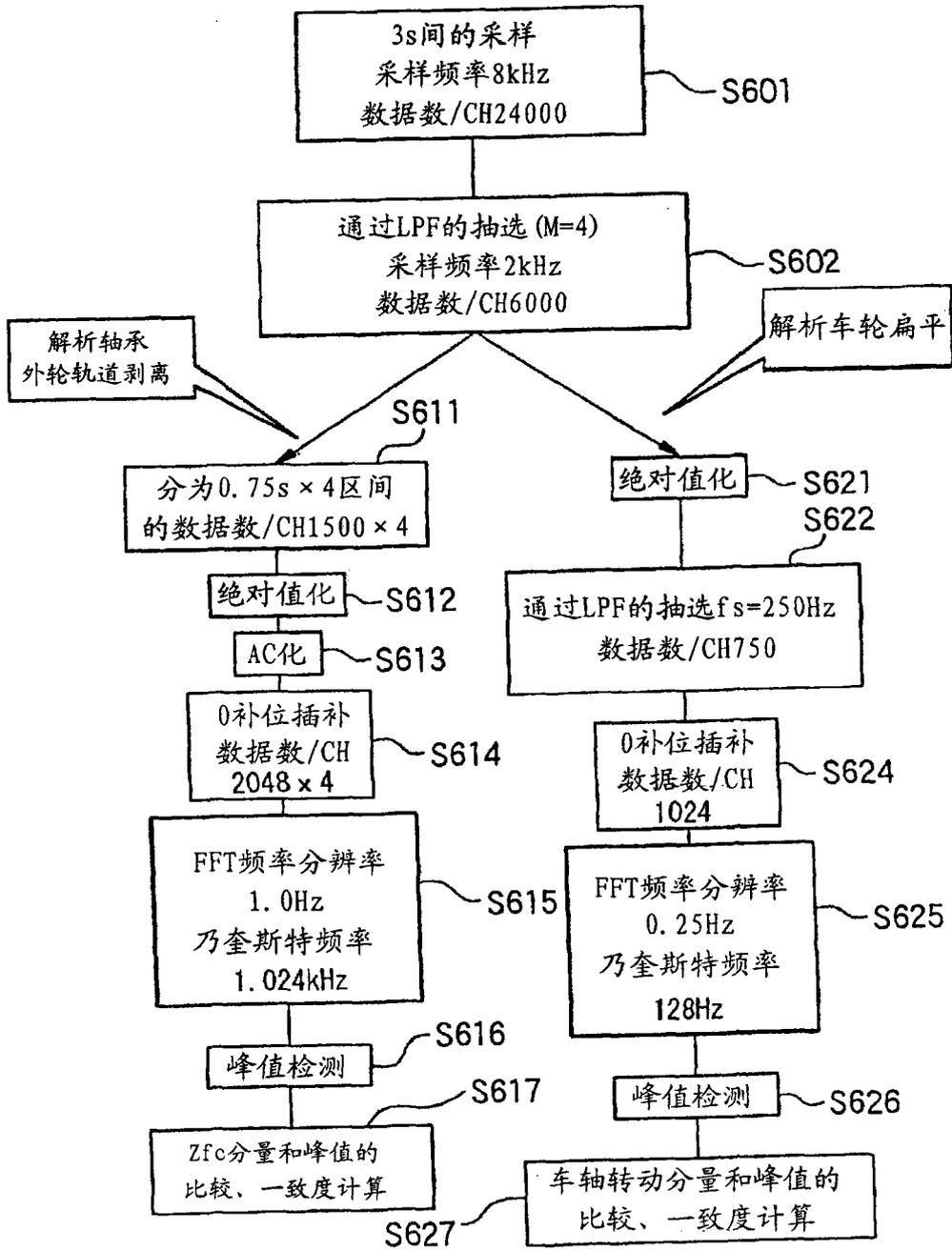


图 52

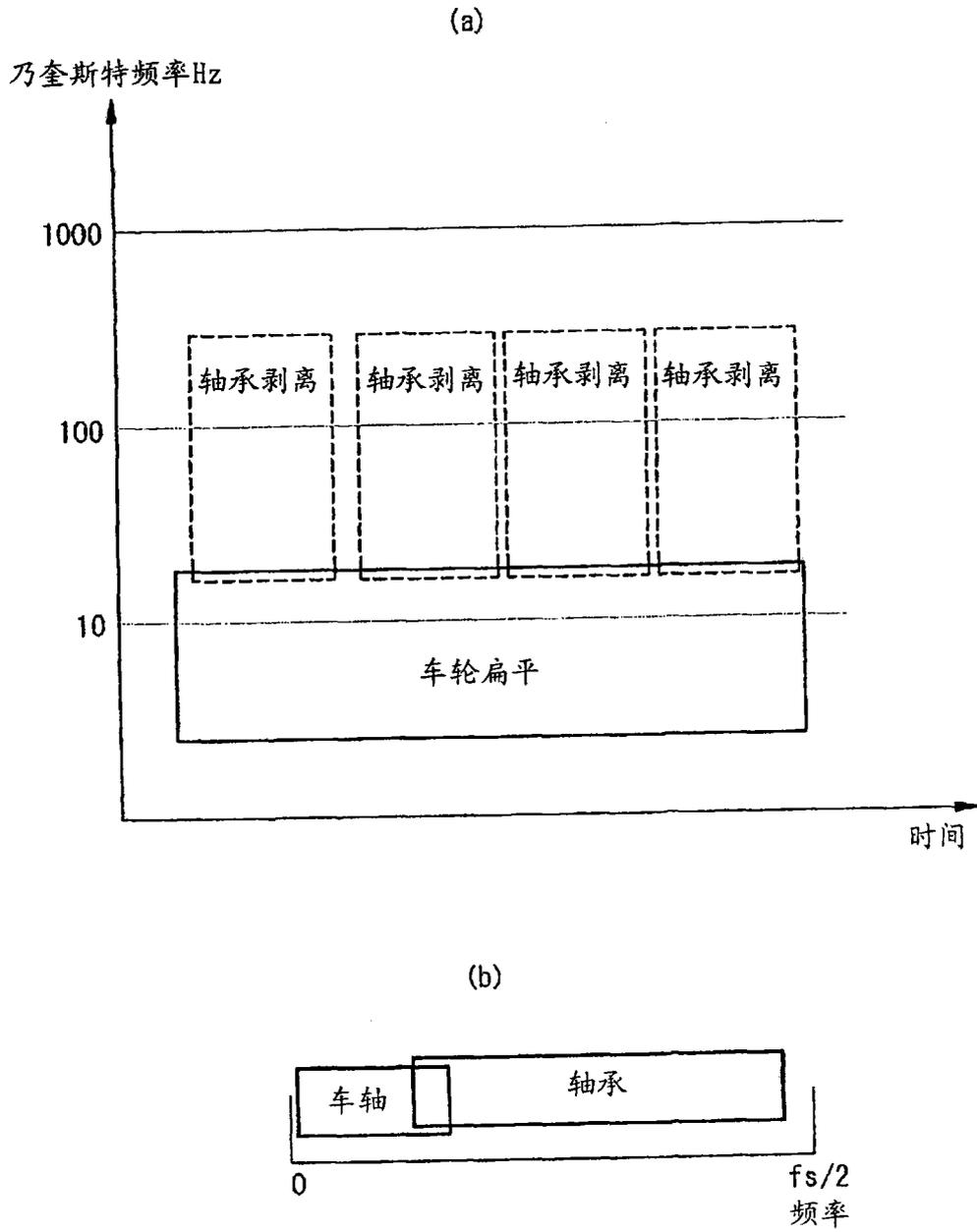


图 53

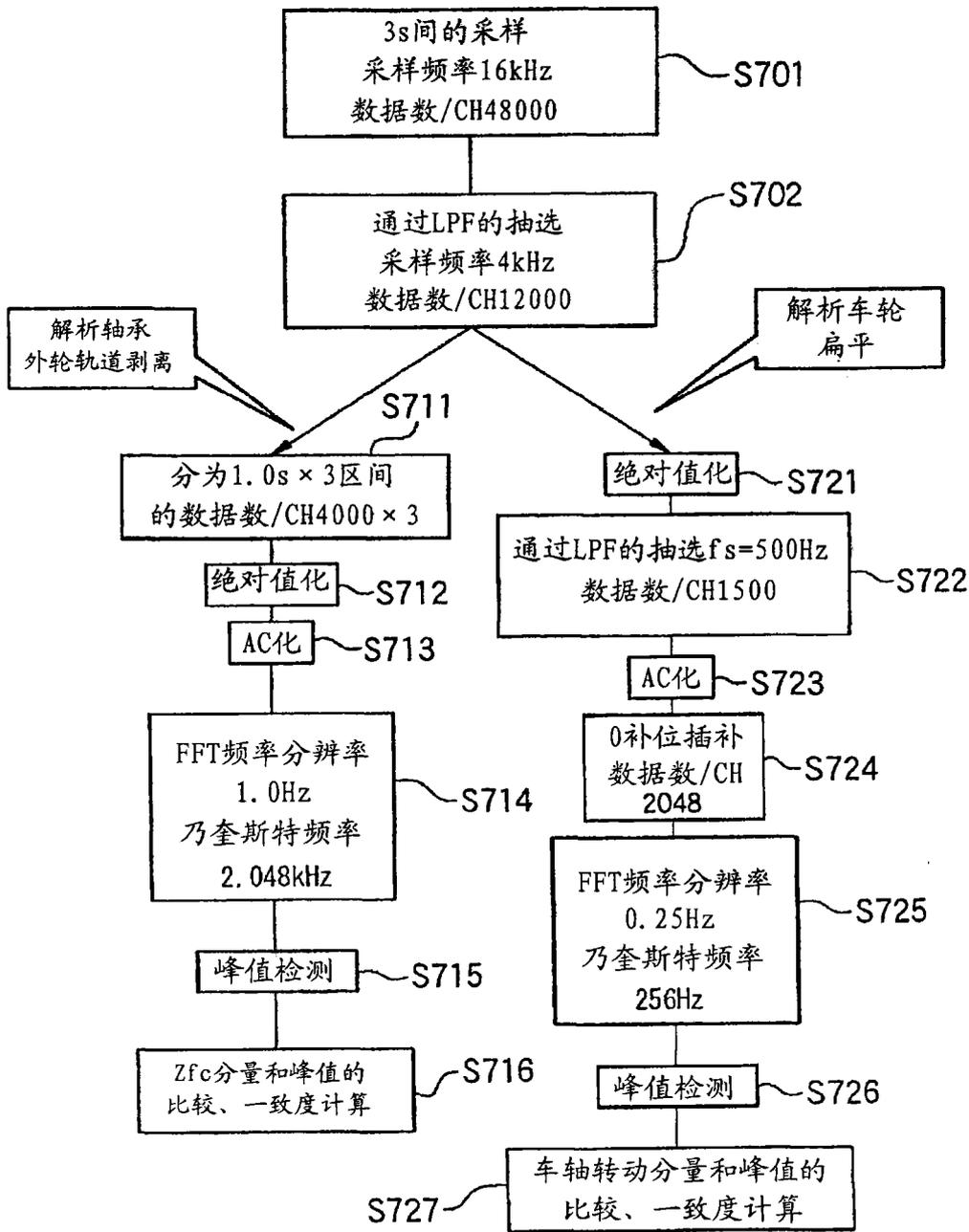


图 54

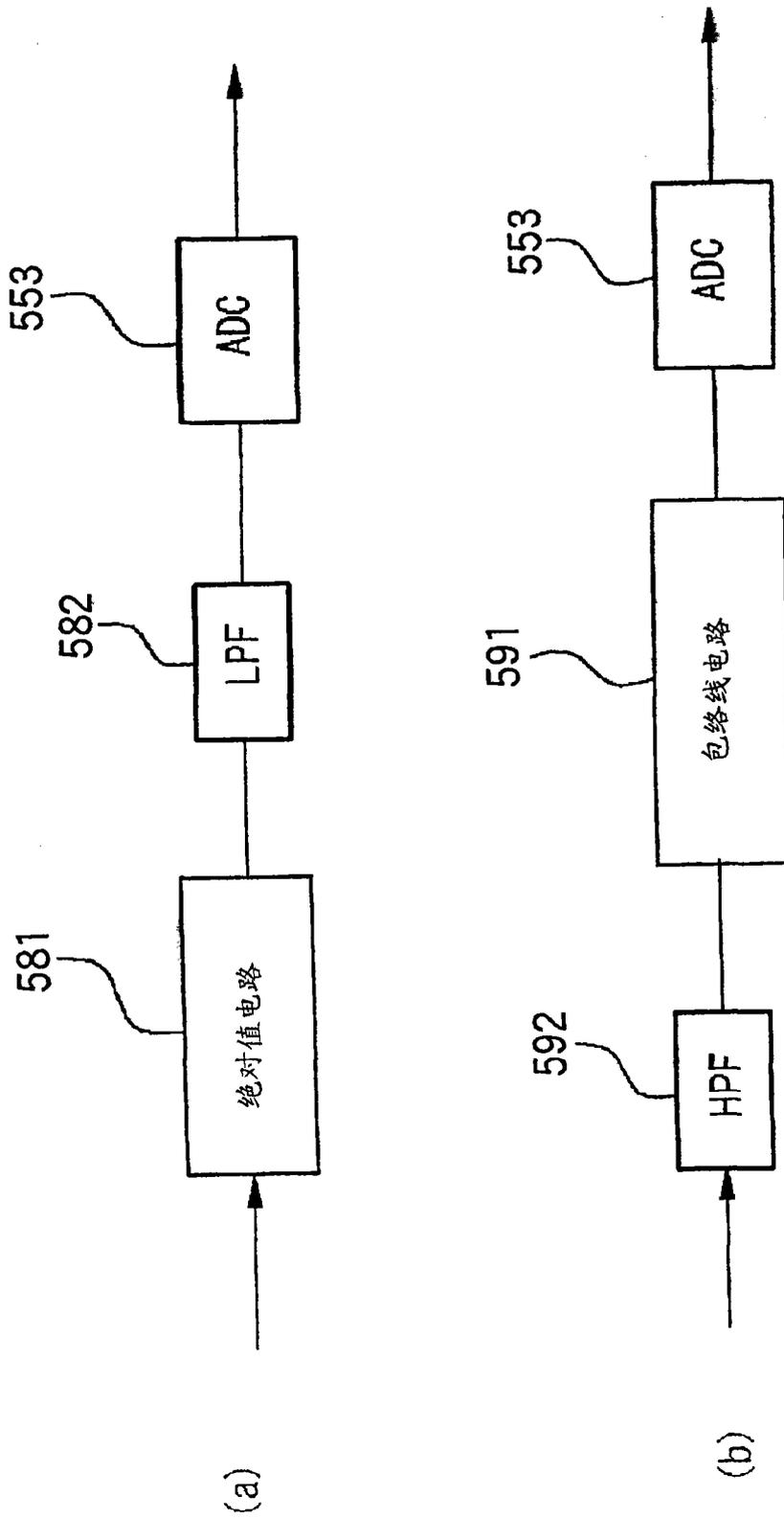


图 55

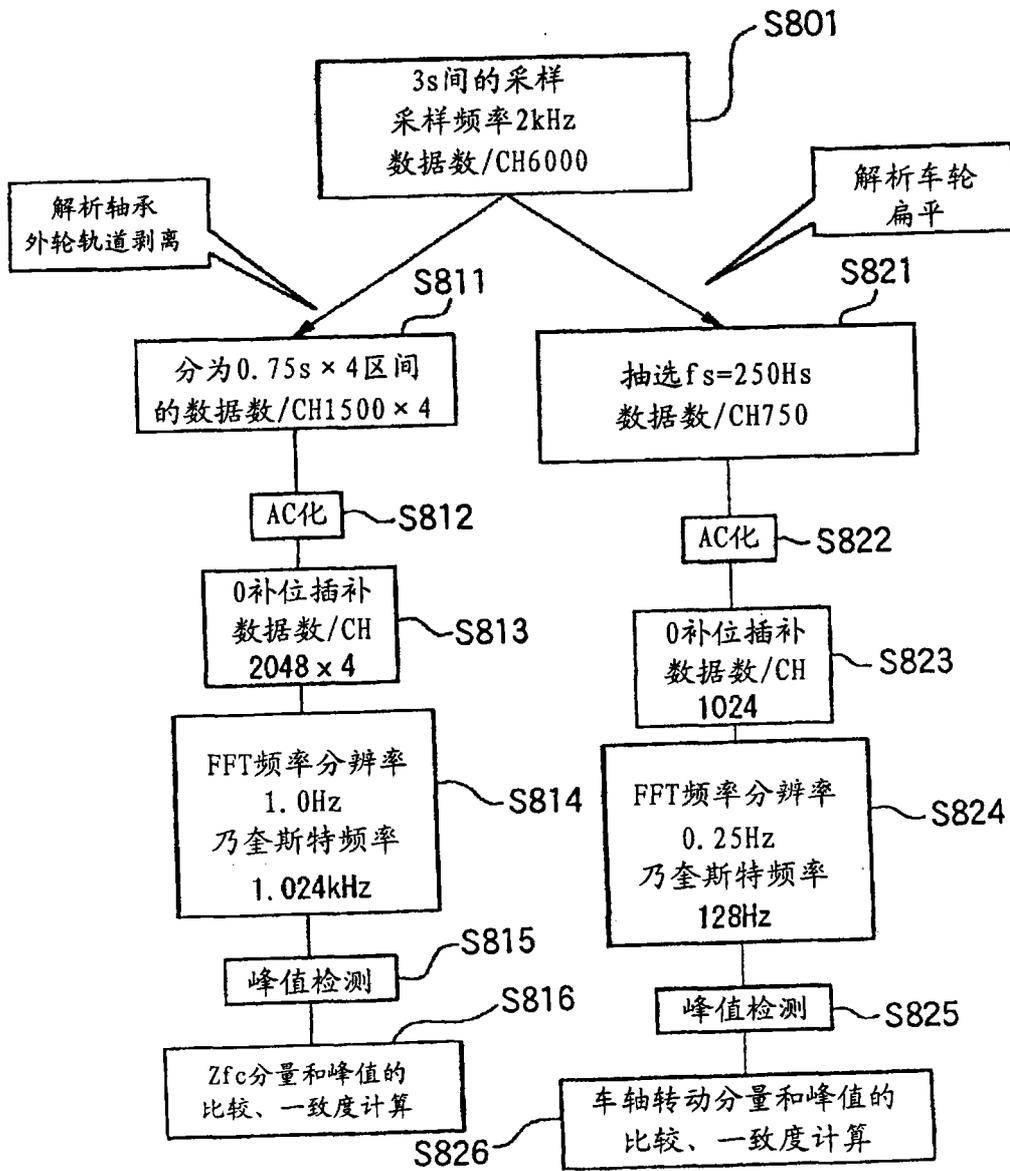


图 56

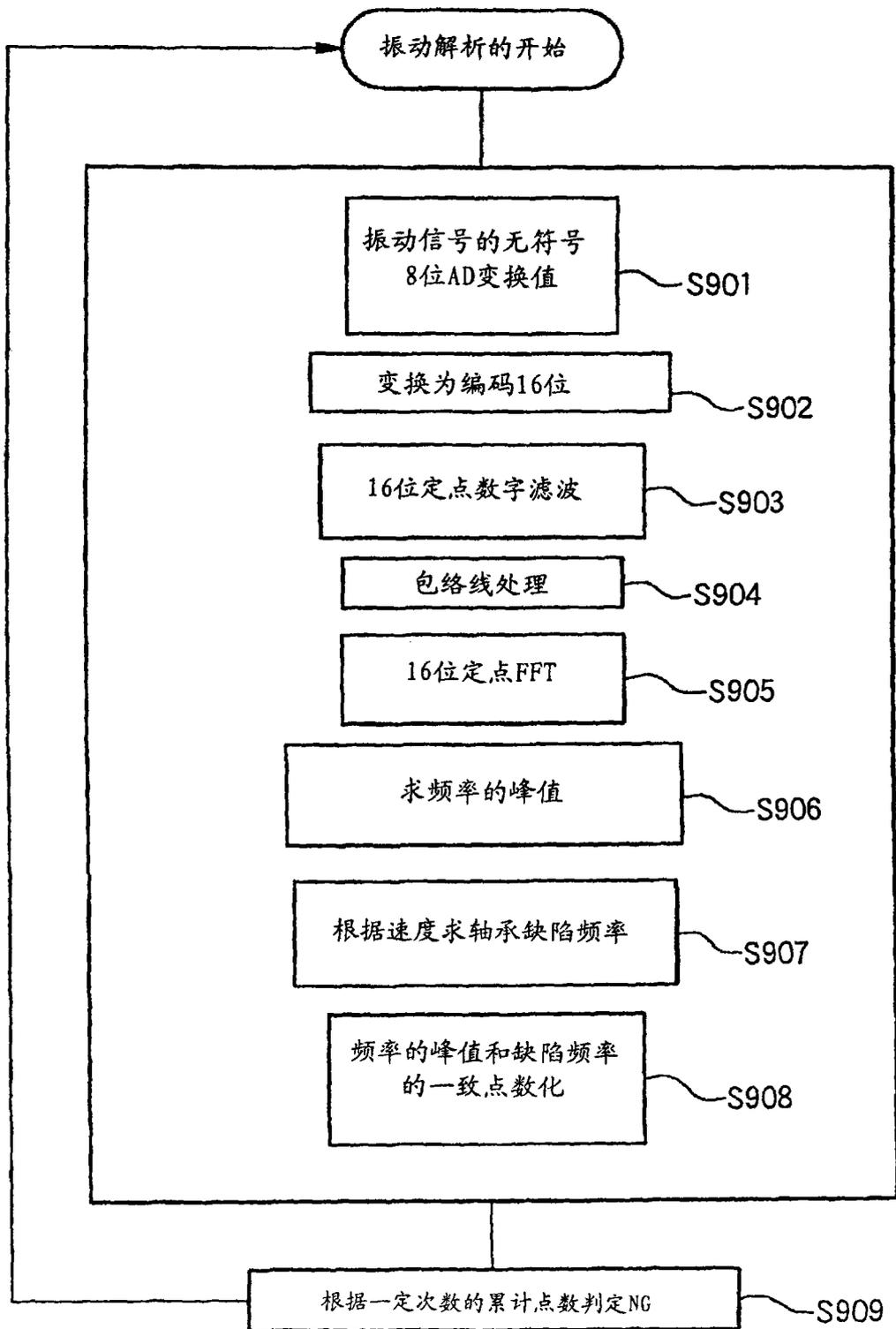


图 57

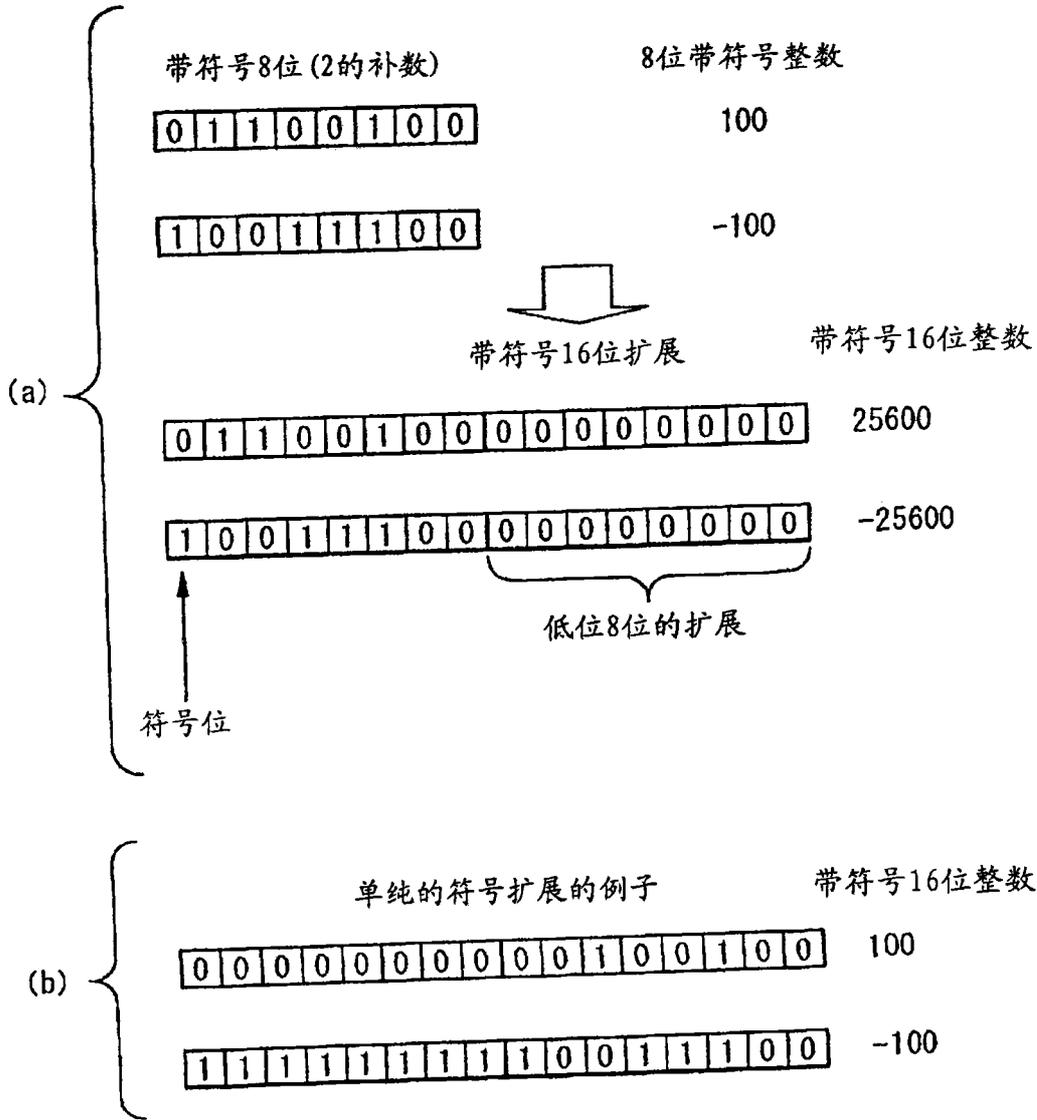


图 58

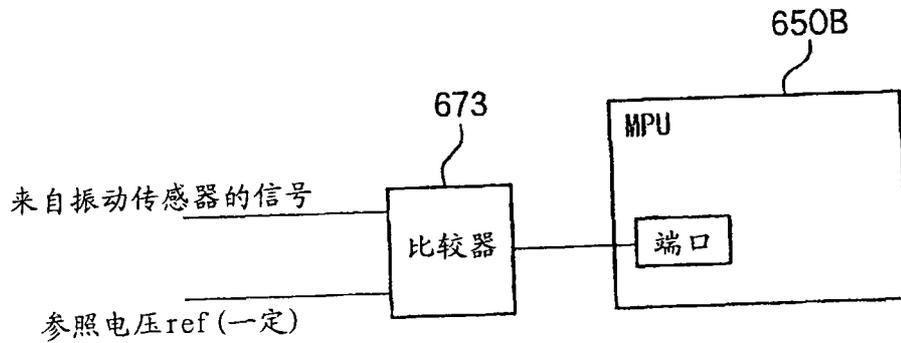


图 59

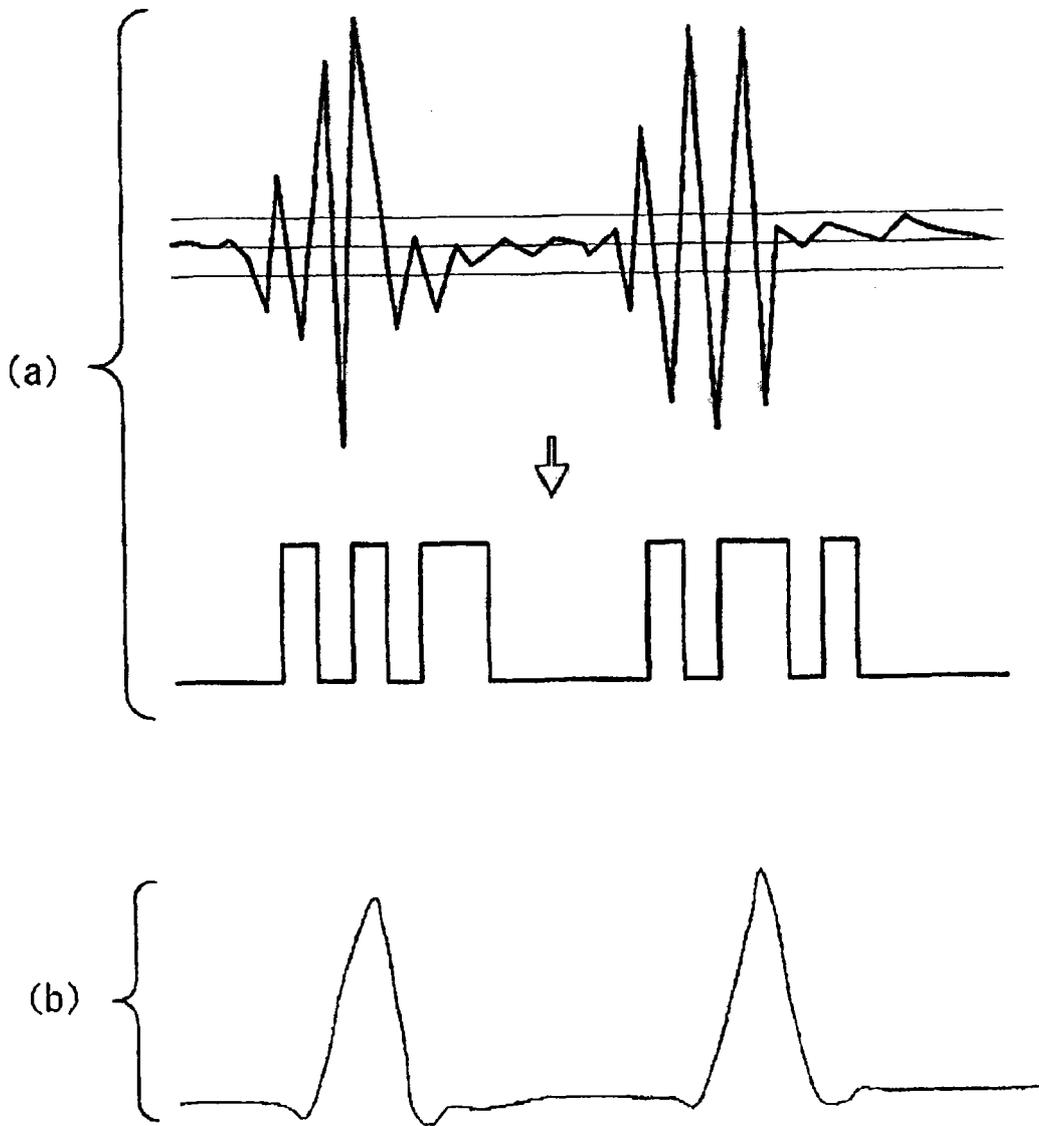


图 60

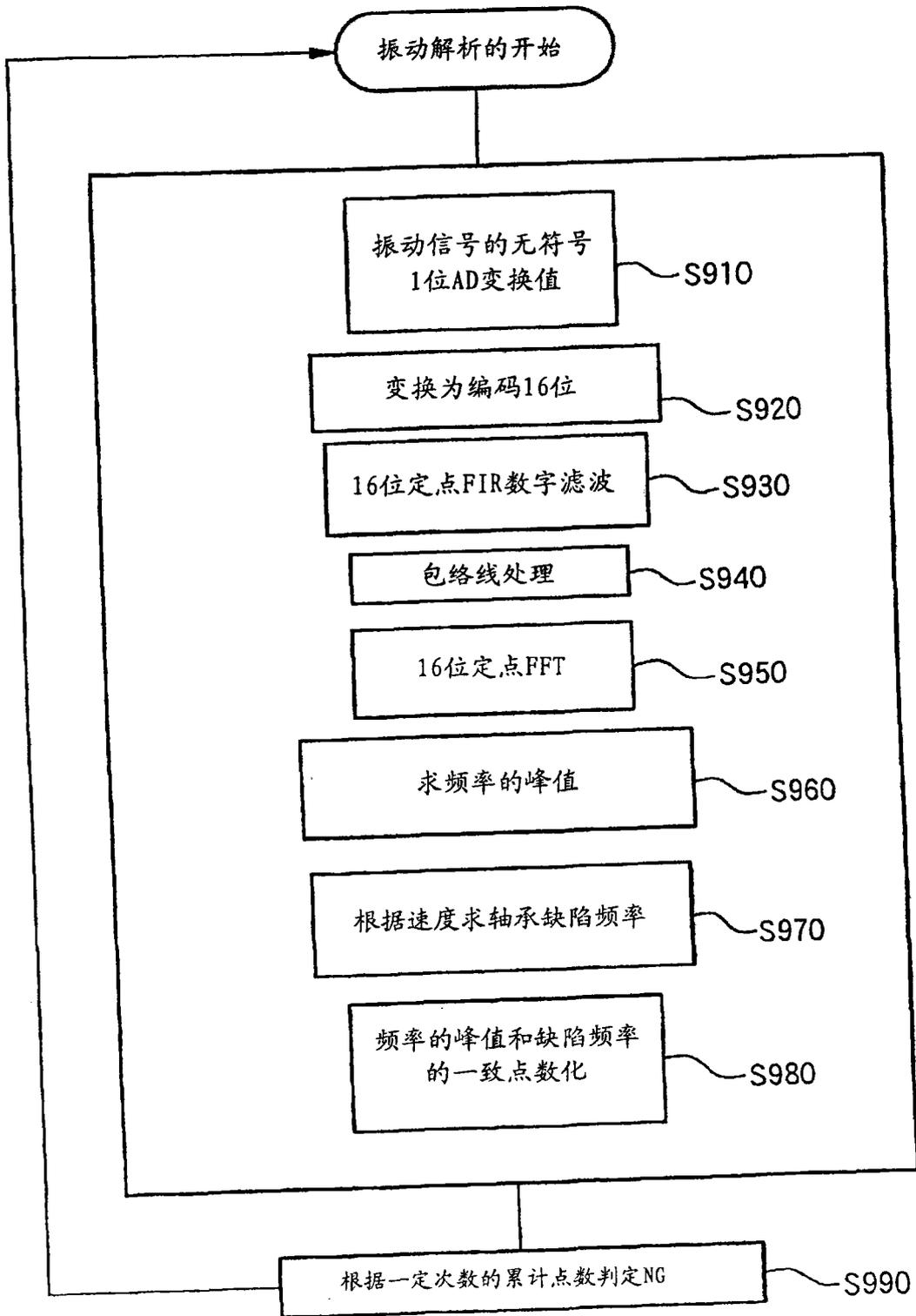


图 61

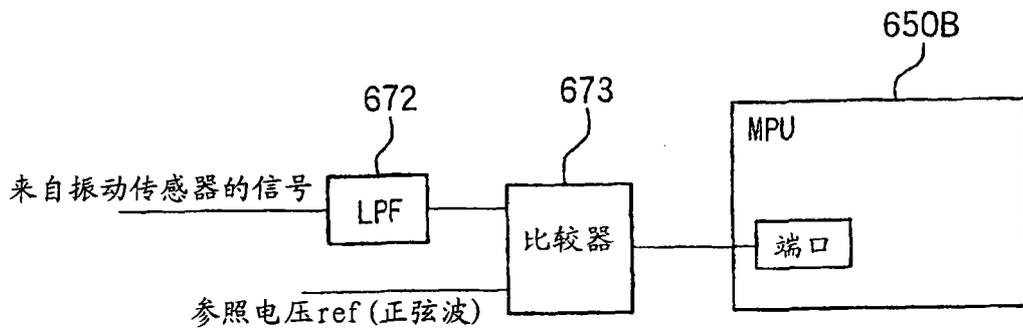


图 62