



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710127411.7

[45] 授权公告日 2009年12月16日

[11] 授权公告号 CN 100570543C

[22] 申请日 2002.7.3

[21] 申请号 200710127411.7

分案原申请号 02813433.8

[30] 优先权

[32] 2001.7.4 [33] GB [31] 0116310.4

[73] 专利权人 新型转换器有限公司

地址 英国伦敦

[72] 发明人 达赖厄斯·M·沙利文

[56] 参考文献

CN1219003A 1999.6.9

US5691959A 1997.11.25

US5591945A 1997.1.7

US5986224A 1999.11.16

审查员 何明伦

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 周少杰

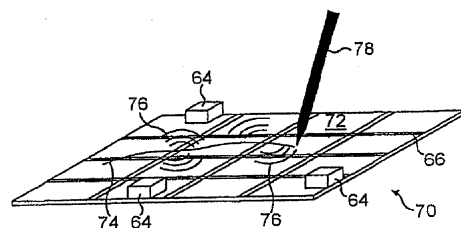
权利要求书1页 说明书18页 附图14页

[54] 发明名称

接触敏感装置

[57] 摘要

一种接触敏感装置，该装置包含：构件，能够支持弯曲波；安装在该构件上的第一传感器，用于测量该构件中的弯曲波振动，该传感器确定第一测量弯曲波信号；及处理器，用于从该第一测量弯曲波信号计算与该构件上的接触有关的信息，该处理器根据支持该弯曲波的该构件的材料的色散关系应用校正；其特征在于：该装置包含第二传感器，用以确定第二测量弯曲波信号，该第二测量弯曲波信号与该第一测量弯曲波信号同时测量；以及该处理器计算两个测量弯曲波信号的色散校正函数，以确定与该接触有关的信息，该色散校正函数选自由色散校正相关函数、色散校正卷积函数、色散校正相干函数以及其它相位等价函数所组成的群组。



1. 一种接触敏感装置，该装置包含：构件，能够传输弯曲波；安装在该构件上的第一传感器，用于测量该构件中的弯曲波振动，该传感器确定第一测量弯曲波信号；处理器，用于从该第一测量弯曲波信号计算与该构件上的接触有关的信息，该处理器根据传输该弯曲波的该构件的材料的色散关系应用校正；以及第二传感器，用以确定第二测量弯曲波信号，该第二测量弯曲波信号与该第一测量弯曲波信号同时测量；其中，该处理器计算两个测量弯曲波信号的色散校正函数，以确定与该接触有关的信息，该色散校正函数选自由色散校正相关函数、色散校正卷积函数、色散校正相干函数以及其它相位等价函数所组成的群组。

2. 一种在接触敏感装置上确定有关接触的信息的方法，该方法包含以下步骤：

提供能够传输弯曲波的构件及安装在构件上以测量该构件中的弯曲波振动的第一传感器；

使用该传感器确定第一测量弯曲波信号；

提供安装在该构件上的第二传感器，以确定第二测量弯曲波信号，

与该第一测量弯曲波信号同时测量该第二测量弯曲波信号，

计算两个测量弯曲波信号的色散校正函数，该色散校正函数选自由色散校正相关函数、色散校正卷积函数、色散校正相干函数以及其它相位等价函数所组成的群组，以及

处理各测量弯曲波信号，以通过应用该色散校正函数来计算与该接触相关的信息。

接触敏感装置

本申请是申请日为2002年7月3日、申请号为02813433.8、发明名称为“接触敏感装置”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

本发明与接触敏感装置有关。

背景技术

视觉显示器(Visual display)通常包括某种形式的接触敏感屏幕(touch sensitive screen)。随着下一代手持式多媒体装置,例如掌上型电脑(palm top computer)的出现,这种视觉显示器变得越来越普遍。用波来检测接触的最为确立的技术是表面声波(Surface Acoustic Wave; SAW), SAW会在玻璃屏幕的表面上产生高频波,而其通过手指接触的衰减可用来检测碰触位置。这项技术就是“飞行时间”(time-of-flight),其中传到一或多个传感器的扰动(disturbance)时间可用来检测该位置。当媒介按非色散方式进行时,亦即波速在相关的频率范围上变化不大时,此类方法才有可能使用。

和WO 01/48684相反,本发明申请提出一种使用上述技术的接触敏感装置及其使用方法。该装置包含:一构件,能够支持弯曲波振动;一传感器,安装在该构件上,以用于测量该构件中的弯曲波振动,及用于传输信号至处理器,由此可从该构件中因接触而产生的弯曲波振动变化,来计算有关于该构件表面上造成接触的信息。

通过弯曲波振动的意思就是例如通过接触的激发,可造成构件部分平面位移。许多材料都会弯曲,有些是具有理想平方根色散关系的纯弯曲(pure bending),有些则是具有纯弯曲与剪断弯曲(shear bending)的混合。色散关系说明波频率的横向(in-plane)波速的相关性。

所提出的两种接触敏感装置,一种是被动传感器,其中在构件中的弯曲波振动只能由接触激发;另一种是主动传感器,其中该接触敏感装置进一步包含一个发射变换器,可用来激发构件中的弯曲波振动,以便探测与接触有

关的信息。在主动传感器中，与接触有关的信息的计算方法是，将没有接触的发射变换器所产生的波响应和有接触的机械限制所造成的响应相比较。

弯曲波所提供的好处诸如可对表面刮痕增加强健性与减少敏感性。然而，弯曲波具有色散性，亦即弯曲波速与频率相关，因此“飞行时间”也与频率相关。一般而言，脉冲含有宽范围的分量频率(component frequency)，因此如果脉冲行进很短的距离，高频分量就会首先到达。该效应必须校正。

在 WO 01/48684 中，可应用校正从非色散性的波源将测量弯曲波信号转变成传播信号，因此，可应用雷达与声纳领域所使用的技术来检测接触的位置。该校正应用如图 1a 至 1d 所示。

图 1a 显示一理想媒介中的脉冲具有平方根色散关系，并且显示色散性媒介并不会保持脉冲的波形。发出波(60)在时间 $t=0$ 很明显，而回波(echo)信号(62)则随着时间展开，造成精确接触位置的确定问题。

在诸如空气的非色散的媒介中，频率响应的周期变化属于反射特性，通常称为梳形滤波(comb filtering)。实际上，频率响应的周期变化从适合源与反射器间的波长数导出。当频率增加及适合此空间的波长数增加时，反射波与发出波的干涉在相长(constructive)干涉与相消(destructive)干涉间振荡。

计算图 1a 的色散性脉冲响应的傅立叶(Fourier)转换，便会产生如图 1b 所示的频率响应。该频率响应属于非周期性，而波长的周期变化则会转为频率变化，使得随频率递增而变慢。此乃平方根色散的推论，其中波长与频率倒数的平方根成正比。频率响应上的面板效应因而可根据面板色散将响应延伸(stretch)作为频率的函数。因此，通过在频域(frequency domain)中应用反向伸展(stretch)可应用面板色散校正，从而恢复存在于非色散性情况中的周期性。

利用反向面板色散弯曲(warp)频率轴，图 1b 可转换成非色散性情况的频率响应(图 1c)，其中激发频率与波长倒数成正比。这种简单的关系可将随波长递减的周期变化转换成随频率递增的周期变化，如图 1c 所示。

在图 1c 的记录(trace)上应用反向快速傅立叶转换(fft)，产生已进行色散校正的脉冲响应，如图 1d 所示，其中恢复了清楚的反射。如图 1d 所示，在时间上保持了脉冲的任何特定波形，因为非色散性媒介中行进的波具有安装的行进速度，与其频率无关。因此，回波位置的任务是相对地直接向前。发出波(50)在时间 $t=0$ 时明显，而且在 4ms 处具有清楚的反射(52)。反射(52)

幅度约为发出波(50)幅度的四分之一。

所述程序在脉冲于未知时间 t_0 发生时无法应用,而且从响应到初始脉冲的距离 x 只能在脉冲发生于 $t_0=0$ 时计算。

本发明的一个目的在于,提供一种替代接触敏感装置,该装置是利用弯曲波振动来提取与接触有关的信息。

发明内容

根据本发明一方面,提供一种接触敏感装置,该装置包含:构件,能够传输弯曲波;安装在该构件上的第一传感器,用于测量该构件中的弯曲波振动,该传感器确定第一测量弯曲波信号;处理器,用于从该第一测量弯曲波信号计算与该构件上的接触有关的信息,该处理器根据传输该弯曲波的该构件的材料的色散关系应用校正;以及第二传感器,用以确定第二测量弯曲波信号,该信号与该第一测量弯曲波信号同时测量;其中,该处理器计算二测量弯曲波信号的色散校正函数,以确定与该接触有关的信息,该色散校正函数选自由色散校正相关函数、色散校正卷积函数、色散校正相干(coherence)函数以及其它相位等价函数所组成的群组。

根据本发明第二方面,本发明提供一种在接触敏感装置上确定有关接触的信息的方法,该方法包含以下步骤:提供能够传输弯曲波的构件及安装在构件上以测量该构件的弯曲波振动的第一传感器;使用该传感器确定第一测量弯曲波信号;提供安装在该构件上的第二传感器,以确定第二测量弯曲波信号,与该第一测量弯曲波信号同时测量该第二测量弯曲波信号,计算二测量弯曲波信号的色散校正函数,该色散校正函数选自由色散校正相关函数、色散校正卷积函数、色散校正相干函数以及其它相位等价函数所组成的群组,以及处理各测量弯曲波信号,以通过应用该色散校正函数来计算与该接触相关的信息。

以下特征均可应用于该装置与该方法,其中该处理器适于提供该方法的许多计算或处理步骤。

色散校正函数可计算如下:

计算 $\hat{W}_1(\omega)$ 和 $\hat{W}_2^*(\omega)$, 其分别为两个测量弯曲波信号 $W_1(t)$ 与 $W_2(t)$ 的傅立叶转换与复共轭傅立叶转换; t 代表时间 ω 为 $2\pi f$, 其中 f 是频率。

计算第一中间函数 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$;

计算作为 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ 的函数的第二中间函数 $M(\omega)$;

如以上有关 WO01/48684 的叙述, 在 $M(\omega)$ 上应用频率延伸运算 $f(\omega)$, 以给出色散校正相关函数:

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} M[f(\omega)] \exp(i\omega t) d\omega.$$

中间函数 $M(\omega)$ 可以只是 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$, 其给出一标准色散校正相关函数。另外, $M(\omega)$ 也可以是改变了振幅而非 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ 的相位的函数, 以便给出标准色散校正相关函数的相位等价函数。由于相位等价函数与标准色散校正相关函数具有相同的相位特性, 因此它们在相同位置处具有最大值。在测量弯曲波信号中的相位信息可用来取得有关接触, 特别是其位置的信息。该位置可从在该函数中产生最大值的时间来计算。

$M(\omega)$ 可从以下函数中选出, 这些函数可产生标准色散校正相关函数的相位等价函数:

$$a) M(\omega) = \frac{\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)}{|\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)|}$$

因此, $M(\omega)$ 可将 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ 的振幅标准化为一, 以产生标准化的色散校正相关函数, 或称为色散校正相干(coherence)函数。

$$b) M(\omega) = \frac{\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)}{\sqrt{|\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)|}}$$

因此, $M(\omega)$ 可作用为 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ 的振幅, 以产生具有改变峰值形状的色散校正相关函数。

$$c) M(\omega) = \hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega) \varphi\left[\frac{\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)}{|\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)|}\right], \text{ 其中 } \varphi(x) \text{ 是实值函数}$$

因此, $M(\omega)$ 可应用一般改变, 以产生具有不同振幅的标准相关函数的相位等价函数。

$$d) M(\omega) = \hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega) \psi(\omega), \text{ 其中 } \psi(\omega) \text{ 是实值函数}$$

因此, $M(\omega)$ 可应用一般频率相关比例(scaling), 以产生具有不同振幅的标准相关函数的相位等价函数。此类比例亦称为增强(amphasis)。

另外, $M(\omega)$ 也可以是函数 $\hat{D}(\omega)$, 该函数是相关函数 $D(t)$ 的傅立叶转换:

$$D(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{W}_1(t+t')\hat{W}_2^*(t') dt'$$

$\hat{D}(\omega)$ 在数学上等于 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ ，而且不用计算 $\hat{W}_1(\omega)$ 和 $\hat{W}_2^*(\omega)$ 即可求得。这是计算标准色散校正相关函数的替代方法。其步骤是：计算 $D(t)$ 、计算 $\hat{D}(\omega)$ 以及应用频率延伸运算，以求得色散校正相关函数：

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{D}[f(\omega)] \exp(i\omega t) d\omega .$$

使用色散校正相关函数的一个好处是，其可用于精确时间 t_0 的状况，其中发生的接触是未知的。这是因为响应函数中的偏移 t_0 （即 $t_0 \neq 0$ ）表示为傅立叶转换 $\hat{W}_1(\omega)$ 和 $\hat{W}_2^*(\omega)$ 的附加因数 $\exp(i\omega t_0)$ ，它在中间函数 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ 中抵消。

变换器可当作第一与第二传感器，由此，该色散校正相关函数为自动相关函数。应用使用 $W_1(t) = W_2(t)$ 的色散校正相关函数的相同步骤，可计算该自动相关函数。

如关于图 1a 至 1d 的叙述，通过 $\hat{\Omega}(\omega) = \hat{W}[f(\omega)]$ 可确定频率延伸运算，其中选定 $f(\omega)$ 使 $\hat{\Omega}(\omega)$ 代表媒介的虚数响应，媒介中所有频率的弯曲波可按相同的相速度行进。例如，就依照波向量 k 与角频率 $k = C\sqrt{\omega}$ 的平方根关系的弯曲模式振动而言，频率延伸运算 $f(\omega) = \nu C\sqrt{\omega}$ 给出具有固定的任意相速度 ν 的虚数响应 $\Omega(t)$ 。 C 为常数并可通过 $C = (\mu/B)^{1/4}$ 来定义，其中 $\mu =$ 每单位面积质量及 $B =$ 弯曲硬度。

可检查反向傅立叶转换 $\Omega(t)$ 以确定到接触地点的距离。 $\Omega(t)$ 集中于数值 t_1 处，该值是与接触地点和各传感器间的距离成正比。

色散校正相关函数也可用来确定接触的精确定位。例如，就函数 $G(t)$ 而言，该相关函数的中心位于 $t = (x_1 - x_2)/\nu$ ，其中 x_1 与 x_2 为接触点到各自振动传感器的距离。色散校正相关函数因而可用来确定接触地点与二传感器间的路径长度差（即 $x_1 - x_2$ ）。此量 $x_1 - x_2$ 定义面板表面上接触的可能位置的双曲线。如果提供第三传感器，则第二色散校正相关函数从传感器位置的不同组合提供第二路径长度差，例如 $x_1 - x_3$ 。另外，第二对传感器可安装在该构件上，以提供第二色散校正相关函数。在许多情况中（例如当该传感器位于矩形面板的四个角落中时），两个可由这两个路径长度差定义的双曲线具有唯一交叉点，其明确确定该接触的位置。

使用色散校正相关函数的另一好处是从该构件边界反射的波处理。该反射波可产生位于物理边界外的虚拟源的效应，特别在该边界轴反射的接触地

点处。由接触产生的脉冲可显示对应于“回波”的特征，该回波是于该脉冲的直接波后到达。通过将该色散校正应用于 $t=0$ 处的脉冲，可将分离的反射分辨为校正的脉冲响应的峰值。这些峰值的位置可作为用来确定接触位置的附加信息。这对传感器的灵敏度或接受度与入射波方向无关时特别有效，因为对应该接触的直接路径的测量信号可能比由反射波所造成的信号更微弱。

色散校正自动相关函数可用来找到该传感器以及从该边界处反射出现的弯曲波的真实与虚拟源间的路径差。此类信息有助于确定接触位置。

通过放置一吸收材料与该构件边缘接触，即可抑制反射波。另外，该处理器经调整后，可从该测量弯曲波信号去除反射波贡献。要达到这点的根据为：在一色散性媒介中，亦即具有 $k=C\sqrt{\omega}$ 形式的色散关系的媒介中，沿着该直接路径行进的低频分量会在第一高频反射波后到达。此处理器经调整后，可在该原始测量弯曲波信号上，提供一移动平均低通滤波运算，其中平均视窗宽度会随着 $\Delta t \propto t^2$ 时间座标进行局部改变。

该测量弯曲波信号会被转换为一响应，其中由该直接与反射波所造成的信号均会随着固定但不同的周期振荡。例如，来自于时间 $t=0$ 的一接触的一测量弯曲波信号 $W(t)$ ，会通过使用 $U(\tau)=W(1/\tau)$ 而在时间轴上受到转换。在函数 $U(\tau)$ 中，来自在一色散性构件上传播的一尖锐脉冲的信号会按固定周期振荡。另外，来自该直接波的振荡具有比反射波更长的周期。反射波贡献因而可通过 $U(\tau)$ 上的一低通滤波器运算来去除。该响应然后会被转换回如 $W'(t)=U(1/t)$ 的线性时间单位。此程序可一般化成其它形式的色散关系。

就反射波的理想截止(rejection)而言，必须知道该构件中的色散关系、接触发生的时间 t_0 、以及接触地点与传感器之间的距离 x 。然而，一般而言，只能知道第一项。因此，该处理器经调整后，可提供 t_0 与 x 的估计或替代，以替代至可去除该反射波的计算。例如，时间 t_0 的估计可以是由该构件上任何传感器首先检测该接触的时间，亦即，该测量信号首先通过预设阈的时间。距离 x 可设定为相关传感器与该构件上最远(furthest)点或该构件的最大尺寸(如直径)之间的距离。这些替代的使用应让直接路径信号保持不动。也可以使用由其它的方法取得的 t_0 与 x 的估计。

在该构件上可以有多个传感器(即 n 个)，因此明确的相关函数的数量是 $n(n-1)/2$ 。该处理器经调整后，可产生一映射函数以映射各相关函数的该构件的表面，由此，该色散校正相关函数 $G(t)$ 掠过该表面，致使一给定路径长

度差的座标 Δx , 取得数值 $G(\Delta x/v)$ 。然后可计算整组映射相关函数的乘积, 并且可从最大座标确定接触位置。随着传感器数量的增加, 本方法具有反射的递增截止假信号的理想特性。

各传感器及其相关电路可具有相同或不同的相位特性。制造与安装传感器时的机械不一致、或相关放大与滤波电路的分量数值的有限容限, 都会造成相位特性的差异。如果各传感器的相位特性相异, 色散校正相关函数便可使用一些非对称函数来卷积。此非对称函数会导致路径差差异的不正确测量, 因该色散校正相关函数的峰值位置与该传感器的相位特性不再无关。

因而该处理器经调整后, 可执行以下步骤:

- a) 从 $\phi_{12}(\omega) = \left| \sum \hat{W}_{1,j}(\omega) \hat{W}_{2,j}^*(\omega) \exp[-ik(\omega)\Delta x_j] \right|$ 估计一卷积校正系数 $\phi_{12}(\omega)$
 其中 $\{\hat{W}_{1,j}(\omega)\}$ 与 $\{\hat{W}_{2,j}^*(\omega)\}$ 为两个测量弯曲波信号 $\{W_{1,j}(t)\}$ 与 $\{W_{2,j}(t)\}$ 的傅立叶转换与复共轭傅立叶转换, 而 $\{\Delta x_j\}$ 则是路径长度差;
- b) 计算该色散校正相关函数关系利用相位校正如下:

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{W}_1[f(\omega)] \hat{W}_2^*[f(\omega)] \phi_{12}[f(\omega)] \exp(i\omega t) d\omega$$

该相位校正具有去卷积该色散校正相关函数的效应, 致使最大值的位置与接触位置一致。

该处理器经进一步调整后, 可在该确定程序中包括任何有关可预期接触的可用信息。这特别可使用于无法由该色散校正相关函数明确确定一接触位置的情况, 例如, 当反射波与该直接波识别标志(signature)干涉或使用少于三个传感器时。例如, 如果该构件为图形使用者界面的输入装置, 其中向使用者呈现可按下的“按钮”选择, 假设该构件上的任何接触会在对应于该按钮的分离区域之内发生。

另外, 可使用一接触可能发生且根据使用者预期行为的机率图。该装置可包含一具有图形使用者界面(GUI)的软件应用程序, 以便通过应用程序界面(API)与操作系统相互作用, 其中 API 经调整后, 可产生机率图。该机率图可基于图形使用者界面所呈现的对象使用的位置、大小与频率。该机率图还可基于有关所启动的不同 GUI 元件的相关可能性的信息。

该映射相关函数中的信息可与该机率图结合, 以便赋予较高的可靠性。该期望机率还可进一步输入到接受自传感器导出的信息的神经网络。

该构件在其表面上包含升高样式(pattern), 由此, 在该表面上画过的接

触可提供该构件变量力(variable force),以便在该构件中产生弯曲波。此样式可以是周期性或准周期性,并具有统计上定义良好的波动空间分布。该处理器经调整后,可使用该样式的周期性知识,以及使用代表接触(可由触控笔提供)行进到该样式的邻近特征的时间的脉冲间间隔的事实,确定接触位置。该样式可以是随机的,由此,在该构件的表面上方行进的接触会产生随机弯曲波信号。

随机表面样式的使用可与色散校正相关函数不相关。因此,根据本发明另一方面,提供一种接触敏感装置,包含:构件,能够支持弯曲波;传感器,安装在该构件上,以用于测量该构件中的弯曲波振动,以确定第一测量弯曲波信号;以及处理器,从该传感器的测量弯曲波信号计算与该接触相关的信息;其特征为,该构件的表面包含升高样式,由此,画过该面的接触可提供变量力至该构件,以在该构件中产生弯曲波。

该装置可包含:传感装置以确定第二测量弯曲波信号,其是与该第一测量弯曲波信号同时接受测量;以及该处理器可从该二测量弯曲波信号的色散校正相关函数,计算与该接触相关的信息。该色散校正相关函数如上所述,因此,第一与第二实施例的特征可应用于此实施例。该色散校正相关函数在该测量弯曲波信号具有集中于频率上的大带宽时特别有用,该频率在该构件中可赋予弯曲波比该接触的最大横向速度大许多的相速度。

根据本发明另一方面,提供一种接触敏感装置,包含:构件,能够支持弯曲波;传感器,安装在该构件上,以用于测量该构件中的弯曲波振动,以确定第一测量弯曲波信号;以及处理器,从该传感器的测量弯曲波信号计算与接触相关的信息;其特征为,该装置包含:至少一第二传感器,以确定与该第一测量弯曲波信号同时接受测量的第二测量弯曲波信号;以及该处理器从各传感器最佳化一组校正脉冲响应测量的乘积,以确定与该接触相关的信息。

所计算的信息可以是接触发生的时间 t_0 ,因此,将各传感器与该接触地点分开的色散关系 $k(\omega)$ 和距离 x 的形式必须为已知。该校正脉冲响应测量的计算可使用以下步骤:

- 1) 计算测量弯曲波信号 $W(t)$ 的傅立叶转换 $\hat{W}(\omega)$;
- 2) 从位于该触地点处的假设的传感器计算等价响应 $W'(t)$, 其是利用

$$\hat{W}'(\omega) = \hat{W}(\omega) \exp[ik(\omega)x].$$

3) 计算 $W'(\omega)$ 的反向傅立叶转换, 以提供函数 $W'(t)$ 。

因此, 该乘积是 $\prod_j W'_j(t_0)$, 其中函数 $W'(t)$ 显示接触的初始脉冲, 而该接触无色散并且是集中于该脉冲的时间 t_0 。因边缘反射造成的 $W(t)$ 中的特征会在稍后出现于 $W'(t)$ 中, 但不会以该直接脉冲的同样方式为色散进行校正, 因而比较容易识别。

该乘积显示由该直接脉冲所造成的强烈峰值, 以及微弱的背景噪声。通过采用该乘积, 我们可在所有的 $W'_j(t)$ 中, 加强 t_0 处符合的信号, 而由反射所造成的信息则为非相关并且受到抑制。因而此程序是确定 t_0 的可靠方法。

相反地, 与该接触相关的信息可以是该接触的位置, 即取得 $\prod_j W'_j(t_0)$ 最大值的座标 r 与传感器至接触的距离 x_j 以及时间 t_0 必须为已知。

此最佳化过程涉及 r 与 t_0 估计的迭代细化。该初始估计可从已抑制高频 (temporal frequency) 分量的脉冲响应函数导出, 结果是该估计轻易即可取得(较少的局部极大值), 但空间精确度却很低。随着估计细化, 进一步的迭代可逐渐引进较高的频率分量。

本发明因而提供两种用于确定接触位置的互补方法: 色散校正相关函数的方法, 以及最大化 $\prod_j W'_j(t_0)$ 的方法。

以下特征可应用于本发明的所有实施例。该装置包含从所述传感器或每个传感器记录随着接触移过该构件的时间的测量弯曲波信号的装置。该测量弯曲波信号可记录为时间-序列数据, 即在不同时间所测量的数值序列。

时间-序列数据可分析成数据的序列短区段或“帧”, 其宽度或持续期间可为 10ms。该处理器可将视窗函数应用于帧数据。视窗函数为本技术领域所熟知, 例如见 1992 年剑桥大学出版社 (Cambridge University Press), Press W.H. 等人所著: “C 语言中的数值方法” (Numerical Recipes in C) 的第二版的第 13.4 章。该处理器经调整后, 提取已在该帧持续时间上被平均的该接触信息, 例如移动接触的平均位置座标。该处理器可应用该色散校正相关技术, 以计算各数据帧的平均路径长度差, 以给出序列相对时间的路径差。

另外, 此时间-序列数据还可以使用调节型 (adaptive) 滤波器来分析, 例如 1989 年 Grant PM 等人所著的“模拟与数字信号处理与编码” (Analogue and Digital Signal Processing and Coding) 的第十章中所叙述的滤波器。调节型滤波器可对卷积函数校正, 以从第一与第二测量弯曲波信号来相关时间-序列数据。该卷积函数会随着接触移动的时间慢慢改变, 而且与接触位置相关。

调节型滤波器可计算卷积校正，该卷积校正应用于测量弯曲波信号时，会产生尽可能接近测量输入的信号。来自第一时间 - 序列数据的第一测量弯曲波信号，可传送至该调节型滤波器的参考信号；来自第二时间 - 序列数据的第二测量弯曲波信号，在传送到该调节型滤波器的主输入前，最好通过相关函数的最大期望宽度来延迟，由此可计算卷积校正。该处理器可应用色散校正至卷积函数，以给出由从接触至传感器的路径长度及从接触至传感装置的路径长度间的差值确定其最大值的函数。

所计算的信息可以是接触位置或是其它信息，例如接触的压力或大小。与接触相关的信息可在中央处理器中计算。传感器可安装在该构件上，或与该构件边缘隔开。传感器的形式可以是传感变换器，可转换弯曲波振动为模拟输入信号。

该构件可以是板或面板的形式。该构件可为透明或非透明，例如具有印刷样式。该构件可具有均匀厚度。或者，该构件可具有更复杂的形状，例如曲面和/或可变厚度。通过提供诸如神经网络的适应性算法，从传感器所接收的弯曲波信号解密接触位置，使该处理器可调整用于复杂形状的构件。

该装置可为具有弯曲波振动的纯被动传感器，因而该测量弯曲波信号可通过初始冲击或通过接触的摩擦运动产生。另外，该装置可以是主动传感器，因此该装置可包含发射变换器。该变换器可具有双重功能，亦即可当作发射变换器与传感器。该构件也可以是音频发射器，而该构件中的弯曲波振动可用来产生音频输出。

由接触所造成的弯曲波信号的测量会为音频信号所造成的弯曲波污染，特别是在音频信号和接触所产生的弯曲波信号相似时。通过确保音频信号的频带不同于且不会与传感器和传感装置的测量频带重叠，即可将此效应减到最小。音频与测量信号因而可进行滤波，例如，音频频带可受限于 20kHz 以下的频率，而振动测量可受限于 20kHz 以上的频率。

该装置可为双重主动和被动传感器，并可根据接触是否施加至该装置上，调整为在主动与被动传感模式间切换。该装置可循环于停留在未检测任何接触时的被动传感模式、切换至施加接触时的主动模式传感、以及在该接触一旦去除后就返回被动传感模式以等待进一步的接触之间。这有利于避免该装置处于主动模式时的功率消耗。

接触可以是形式为手持笔形式的触控笔的碰触形式。触控笔在该构件上

的运动可产生连续的信号，此信号会受到触控笔在该构件上的位置、压力及速度的影响。此触控笔可具有如橡胶制的弹性(flexible)尖端，通过施加变量力于其上，即可于该构件中产生弯曲波。此变量力是通过尖端依附或滑过该构件表面来提供。当该尖端移动穿过该构件时，会产生张力，而此张力在某阈时会造成尖端与构件间的附着力中断，使得尖端可滑过表面。

另外，接触可以是手指碰触的形式，其可于构件中产生为被动和/或主动传感所检测的弯曲波。弯曲波可能在超音波区中具有频率分量(>20kHz)。因此被动传感对手指与触控笔的接触都很敏感。

当装置作为主动传感器时，亦即利用产生激发信号的发射变换器，该接触会在该构件上施加非线性力，以便产生该激发信号的谐波。处理器可包含信号处理装置，以隔离激发信号与谐波，致使可使用该谐波按被动传感的类似方式来确定接触位置。该谐波有效构成接触地点的弯曲波的源。

所述或每个发射变换器或传感器可以是直接粘结于该构件的弯曲器变换器，例如压电变换器。另外，所述或每个发射变换器或传感器可以是在单点处耦合该构件的惯性变换器。此惯性变换器可为电力学的或压电的。也可能使用已当作传感和/或发射变换器的音频变换器。

根据本发明的接触敏感装置可纳入移动电话、膝上型电脑或个人数据助理。例如，常规的装在移动电话上的键区可由根据本发明的接触敏感连续铸模(moulding)取代。在膝上型电脑中，当作鼠标控制器的触控板(touchpad)可由根据本发明的接触敏感装置的连续铸模取代。该铸模可实现为鼠标控制器或例如键盘的其它替代选择。另外，该接触敏感装置可以是显示屏幕，例如，包含可用来激发或传感弯曲波的液晶的液晶显示屏幕。该显示器屏幕可呈现与该接触有关的信息。

附图说明

本发明通过举例在附图中以图表说明，其中：

图 1a 至 1d 为根据现有技术的色散校正方法的图示说明，其中图 1a 是为显示对时间响应的任意单位的色散性脉冲响应图。图 1b 为显示对频率响应的任意单位的色散性频率响应图。图 1c 为显示对频率响应的任意单位的非色散性频率响应图。图 1d 为显示对时间响应的任意单位的非色散性脉冲响应图；

- 图 2 为根据本发明的接触敏感装置的平面图；
- 图 3 为结合被动接触传感的第一装置的透视图；
- 图 4 为结合被动接触传感的第二装置的透视图；
- 图 5 为用于图 3 与 4 的被动传感的处理算法的方块图；
- 图 6 为结合主动接触传感的第一装置的透视图；
- 图 7 为结合主动接触传感的第二装置的透视图；
- 图 8 的流程图显示计算接触与两个测量点间的路径长度差的方法，它使用色散校正相关函数；
- 图 8a 为应用图 8 方法的装置的平面示意图；
- 图 8b 为色散校正相关函数对时间的图；
- 图 9 的流程图显示从测量弯曲波信号去除反射的第一方法；
- 图 10 的流程图显示从测量弯曲波信号去除反射的第二方法；
- 图 11a 与 11b 为根据本发明另一方面的接触敏感装置的示意透视图与平面图；
- 图 12 为可用于图 11 的装置的处理算法的示意方块图；
- 图 12a 为显示用于图 12 的滤波器与放大器的组合传送函数 $H(f)$ 对频率 (f) 的曲线图；
- 图 12b 为测量弯曲波信号对时间的曲线图；
- 图 13 为用于取得经验相位校正的步骤的流程图；
- 图 13a 为在用于图 13 的方法的构件上所定义的格栅的平面图；
- 图 14 为根据本发明的另一方面的接触敏感装置；
- 图 15 为可用于不同装置的调节型噪声消除器的电路图；
- 图 16a 为亦可操作为扬声器的接触敏感装置的示意方块图；
- 图 16b 为图 16a 的装置中用于分开音频信号与测量弯曲波信号的方法；
- 图 17 的流程图显示计算接触位置的方法，其使用色散校正自动相关函数；
- 图 17a 为应用图 17 方法的装置的示意平面图；
- 图 17b 为色散校正自动相关函数对时间的图；以及
- 图 18 的方块图显示如何使用调节型滤波器计算有关接触信息。

具体实施方式

图2显示包含透明接触敏感板12安装在显示器装置14前方的接触敏感装置10。显示器装置14可为电视、电脑屏幕或其它视觉显示器装置。笔型触控笔18可用于在接触敏感板12上书写文字20或其它内容。

透明的接触敏感板12是一种构件，例如能够支持弯曲波振动的音频装置。在板12上安装有三个变换器16。其中至少两个变换器16当作传感器或传感装置，因此对接触敏感板中的弯曲波振动敏感而且能够加以监控。第三个变换器16也可以是传感变换器，致使系统对应图3或4的被动接触敏感装置。

另外，第三个变换器可以用来在接触敏感板中激发弯曲波振动的发射变换器，致使系统对应图5的主动传感器。在图6或7实施例中，该主动传感器可当作组合扬声器与接触敏感装置。

图3与4是两个接触敏感装置32、33的更详细的图。接触敏感装置32、33包含：一面板24形式的构件，该构件能够支持弯曲波振动；以及三个传感变换器26形式的传感器，用来在其各自安装点处传感弯曲波振动。当压力施加于一接触点30时，便会产生振动样式28。另外，可将该装置考虑为被动接触敏感装置，因为该装置并未包含一发射变换器。如此，板中的弯曲波面板振动可仅仅由接触产生。

在被动传感器中，在面板24的主体中的脉冲启动一朝着面板24边缘行进的弯曲波。该弯曲波是由等距离安装在边缘周围的三个传感变换器26来检测，如图3所示，或是由安装在面板24表面上但与面板24边缘隔开的三个传感变换器来检测，如图4所示。处理测量的弯曲波信号以确定所施加脉冲的空间原点与力量剖面(profile)。

图5显示用来处理在图3或图4的各传感变换器26所传感的弯曲波信息处理的可能实现。在图5中，面板中的弯曲波由三个传感变换器26来传感。传感变换器26测量模拟弯曲波信号 $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$ 与 $W_3(t)$ ，这些信号可传输到复用模拟数字转换器(ADC)54。所产生的数字输入信号传输到中心处理器34，从该处理器即可确定与接触脉冲的位置与剖面有关的信息58。

图6和7是替代的组合接触敏感和音频装置35、37的详细图。该装置每个包含：一面板24，能够支持弯曲波振动；以及一发射变换器31，用来在面板24中激发弯曲波振动。图6的装置35进一步包含两个传感变换器26，用于在其各自安装点处传感弯曲波振动；而图7的装置37则只包含一

个传感变换器 26。当压力施加于一接触点 30 时，振动样式 28 中断。可将该装置考虑为主动接触敏感装置，因为该装置包含一发射变换器 31。

在图 6 中，该传感和发射变换器 26、31 是在面板 24 的边缘周围等距离间隔，而在图 7 中，该传感和发射变换器 26、31 则与面板 24 的边缘隔一段距离并安装在其表面上。

图 8a 显示的实施例具有两个传感器 102 安装在构件 100 上，其中一接触施加于接触位置 104 处。图 8 显示揭示接触位置 104 与传感器 102 间路径长度差的色散校正相关函数的计算方法。该方法包含如下步骤：

- (a) 测量两个弯曲波信号 $W_1(t)$ 与 $W_2(t)$;
- (b) 去除测量信号的反射并计算 $W'_1(t)$ 与 $W'_2(t)$ ，例如通过使用图 9 陈述的方法；
- (c) 计算 $W'_1(t)$ 与 $W'_2(t)$ 的傅立叶转换以得到 $\hat{W}_1(\omega)$ 与 $\hat{W}_2(\omega)$ ，因而得到中间函数 $\hat{W}_1(\omega)\hat{W}_2^*(\omega)$ ；其中 $\hat{W}_2^*(\omega)$ 是复共轭傅立叶转换；
- (d) 和 (e) 在执行步骤 (a) 至 (c) 的同时，频率延伸运算 $f(\omega) = vC\sqrt{\omega}$ 可使用预设面板色散关系 $k = C\sqrt{\omega}$ 来计算；
- (f) $\hat{W}_1(\omega)$ 和 $\hat{W}_2(\omega)$ 与 $f(\omega) = vC\sqrt{\omega}$ 可组合以得到色散校正相关函数：

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{W}_1[f(\omega)]\hat{W}_2^*[f(\omega)]\exp(i\omega t)d\omega$$
；以及
- (g) 对时间标绘色散校正相关函数，在时间 t_{12} 出现峰值，如图 8b 所示；
- (h) Δx_{12} 可从 t_{12} 来计算； Δx_{12} 是从第一与第二传感器到所述接触的路径长度 x_1 与 x_2 的路径长度差；
- (i) 用 Δx_{12} 来计算接触位置。

或者，在步骤 (e)，可使用下面陈述的具有相位校正 ϕ_{12} 的色散校正相关函数。 ϕ_{12} 的计算于图 13 中说明。

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{W}_1[f(\omega)]\hat{W}_2^*[f(\omega)]\phi_{12}[f(\omega)]\exp(i\omega t)d\omega$$

图 9 显示从脉冲测量去除反射的方法，其中脉冲发生于 $t = 0$ 处。该方法包含如下步骤：

- i) 测量一弯曲波信号 $W_1(t)$;
- ii) 使用 $U(\tau) = W(1/\tau)$ 来转换时间轴上的信号；
- iii) 应用一低通滤波器，例如，如所示的 $U'(\tau)$ 来去除所有反射信号。来自

预设面板色散关系 $k = C\sqrt{\omega}$ 的常量 C 用来定义卷积函数 $\Delta \tau$ 的宽度;

iv) 然后可将响应转换回时间的线性单位, 如 $W'(t) = U(1/t)$ 。

图 10 显示从脉冲测量去除反射的替代方法, 其中脉冲发生于 $t=0$ 处。该方法包含如下步骤:

i) 测量一弯曲波信号 $W_1(t)$;

ii) 估计各传感器与接触位置间的距离 x ;

iii) 使用估计值 x 与预设色散关系 $k = C\sqrt{\omega}$ 来确定平均视窗 $N(t, t')$;

iv) 应用平均视窗 $N(t, t')$ 到弯曲波信号 $W_1(t)$ 以去除反射效应。

$N(t, t')$ 为具有高斯形状(Gaussian shape)的平均视窗的实例。可实施矩形视窗以赋予计算效率。矩形视窗的多种应用相当理想, 大量重复应用矩形视窗将产生类似 $N(t, t')$ 的结果。

图 11a 与 11b 显示接触敏感装置 80 包含: 矩形构件 82, 能够支持弯曲波; 及四个传感器 84, 可用来测量该构件的弯曲波振动。传感器 84 是压电振动传感器的形式, 并安装在构件 82 下方的每个角落。发泡体托架 86 粘附在该构件下方且实质上延伸于该构件周边周围。发泡体托架 86 具有粘性表面, 藉此牢固地将构件粘附于任何表面。该发泡体托架可减少来自构件边缘的反射。

两组路径长度差, $\Delta x_{12}=x_1-x_2$ 以及 $\Delta x_{34}=x_3-x_4$, 其计算如图 8 所述; x_i 是从各传感器到所述接触的距离。如图 11b 所示, 其中标绘了由两个路径长度差来定义的双曲线 85, 而接触位置则是两个双曲线的交叉处 87。

图 12 为图 11 的装置中的处理算法的实现图。传感器 84 测量模拟弯曲波信号 $W_1(t)$ 、 $W_2(t)$ 与 $W_3(t)$, 这些信号通过一放大器与一防失真(anti-aliasing)(低通)滤波器 88。放大器与防失真滤波器的组合传送函数 $H(t)$ 的振幅显示于图 12a 中。滤波后的信号由数字化器(digitiser)90 转变成数字信号, 并储存在具有有限长度的先进先出(first-in-first-out)缓冲器中。该缓冲器包含两种储存(store), 触发前(pre-trigger)与触发后(post-trigger)储存 92、93, 分别用于在触发检测过程之前与之后所测量的信号。

中心处理器 94 确定关于该构件的接触位置与剖面的信息, 其步骤如下:

a) 该中心处理器执行一阈测试, 如图 12b 所示。将测量的弯曲波信号 96 与预设阈值 98 相比较。当测量信号通过阈值时, 触发检测过程。

b) 将阵列时间序列数字输入信号从缓冲器传送到处理器。该信号包括该检

测过程在触发之前与之后所进行的测量,因而从接触重建脉冲整个波形的数字测量。

- c) 该处理器根据 t_0 的估计值偏移波形,因此 t_0 设定为零。
- d) 该处理器去除来自数字化信号的反射效应,如上所述,具有 t_0 为零的估计值及作为该构件对角线(diagonal)长度的 x 估计值。
- e) 该处理器应用进一步处理,特别是计算对角线相对的各对传感器的色散校正相关函数,以及计算有关接触的信息。

由处理器所应用的进一步的处理还可以包含将预定的相位校正应用到色散校正相关函数。该项计算如图 13 所示。

- a) 定义格栅,例如,如图 11a 与 11b 所示的具体实施例中,其中具有构件 82,该构件具有四个传感器 84,这可通过向量 $\{r_j\}$ 定义点 71 来完成。在此实例中,该格栅具有 8 行与 7 列,因此该格栅由一组 56 向量 $[r_1, r_2 \dots r_{56}]$ 来定义。
- b) 使用者在格栅中抽出(tap)定义为 r_1 的第一点 71,而第一与第二弯曲波信号 $\{W_{1j}(t)\}$ 与 $\{W_{2j}(t)\}$ 则由各对传感器的第一与第二传感器来测量;
- c) 重复步骤(b)直到使用者在格栅中抽出各点为止;
- d) 计算弯曲波信号的傅立叶转换;
- e) 计算经验相位校正;

$$\phi_{12}^*(\omega) = \left| \sum_j \hat{W}_{1,j}(\omega) \hat{W}_{2,j}^*(\omega) \exp[-ik(\omega)\Delta x_j] \right|$$

其中 Δx_j 是从第一与第二传感器到所述接触的路径长度差 $x_{1,j}$ 与 $x_{2,j}$ 。路径长度可从格栅坐标得知。

图 14 显示接触敏感装置 70 包含:能够支持弯曲波的构件 72;及安装在该构件上的三个传感器 64,可用来测量该构件中的弯曲波振动。构件 72 的表面包含升高的交叉线(raised crossed lines)的周期样式的升高样式(raised pattern)66。触控笔 78 沿着路径 74 画过该构件表面,当触控笔穿过该样式的直线时,便在构件中产生弯曲波 76。

图 15 显示调节型(adaptive)噪声消除器,例如,其说明如 Widrow 等人的“Adaptive Noise Canceling: Principles and Applications, proceedings of the IEEE, Vol. 63 No. 12 pp. 1692 (1975)”。该调节型噪声消除器包含一调节型滤波器 40,可将初始的音频信号当作参考输入。该消除器可用来在任何进一

步处理发生前从振动传感器的输出去除音频信号的贡献。所示的调节型滤波器是可应用于此任务的调节型滤波器的一个实例。

图 16a 显示亦可操作作为扬声器的接触敏感装置。图 16b 显示将音频信号与测量信号分割成两个区分的频带的方法，致使该音频信号对该处理测量信号的贡献可以受到抑制。该装置包含一构件 106，其中弯曲波是由一发射变换器或致动器 108 以及接触产生。该发射变换器可将音频信号施加于构件 106，以产生声音输出。在施加于该构件之前，该音频信号是由低通滤波器 112 来滤波，该滤波器如图 16b 所示，去除阈频率 f_0 以上的音频信号。

如图 16b 所示，该接触产生具有功率输出的信号，该功率输出基本上在大频带上固定。来自该接触的与该声音信号的信号加起来以给出一组合信号，该组合信号通过高通滤波器 114 以去除阈频率 f_0 以上的信号。然后滤波后的信号传送到数字化器 116 及处理器 118。

图 17a 显示的实施例具有安装在构件 100 上的单一传感器 120，其中一接触施加于接触位置 104 处。弯曲波从构件的边缘反射并产生一位于位置 122 处的虚拟源的图像。图 17 显示计算色散校正自动相关函数以揭示接触位置 104 的方法。该方法包含如下步骤：

- (a) 测量一弯曲波信号 $W_1(t)$;
- (b) 计算 $W_1(t)$ 的傅立叶转换以得到 $\hat{W}_1(\omega)$;
- (c) 在执行步骤(a)与(b)的同时，频率延伸运算 $f(\omega) = vC\sqrt{\omega}$ 可使用预设面板色散关系 $k = C\sqrt{\omega}$ 来计算;
- (d) $\hat{W}_1(\omega)$ 与 $f(\omega) = vC\sqrt{\omega}$ 可组合以得到色散校正自动相关函数：

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{W}_1[f(\omega)] \hat{W}_2^*[f(\omega)] \exp(i\omega t) d\omega; \text{ 以及}$$

- (g) 对时间标绘色散校正相关函数，在时间 t_{11} 和 $-t_{11}$ 出现峰值，如图 17b 所示;
- (h) Δx_{11} 可从 t_{11} 来计算; Δx_{12} 是从第一与第二传感器到所述接触的路径长度 x_1 与 x_1' 之间的路径长度差;
- (i) 用 Δx_{12} 来计算接触位置。

图 18 显示图 15 的调节型滤波器也可用来从包含两个传感器的装置来计算接触的位置。一般而言，调节型滤波器包含一有限脉冲响应(FIR)滤波器。FIR 滤波器相当于具有某卷积函数 $\phi(t)$ 的卷积运算。

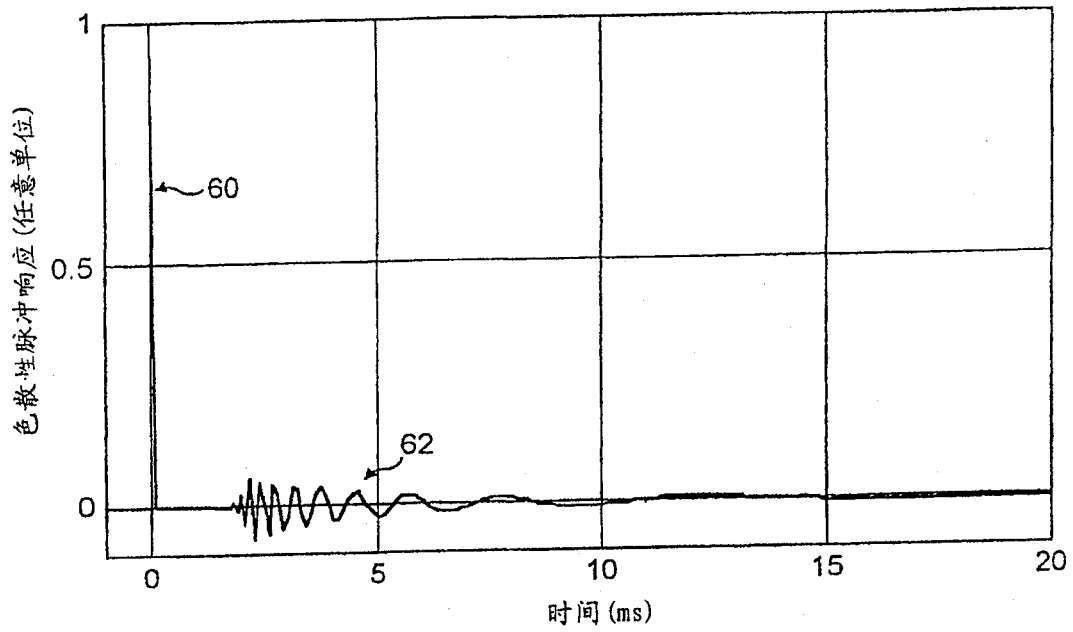
由第一传感器测量的信号 $W_1(t)$ 可传送到调节型滤波器 40，而由第二传感器测量的信号 $W_2(t)$ 则传送到一延迟单元 41。该延迟单元可延迟来自第二传感器的信号，最好依照卷积函数的最大期望宽度。然后该延迟信号传送到调节型滤波器的主输入。该调节型滤波器持续更新卷积函数，因而可从参考输入 $W_1(t)$ 得到主信号输入 $W_2(t)$ 的估计 $\tilde{W}_2(t)$ 。卷积运算的定义如下：

$$\tilde{W}_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} W_1(t') \Phi(t-t') dt'$$

在处理器中计算接触位置的步骤如下：

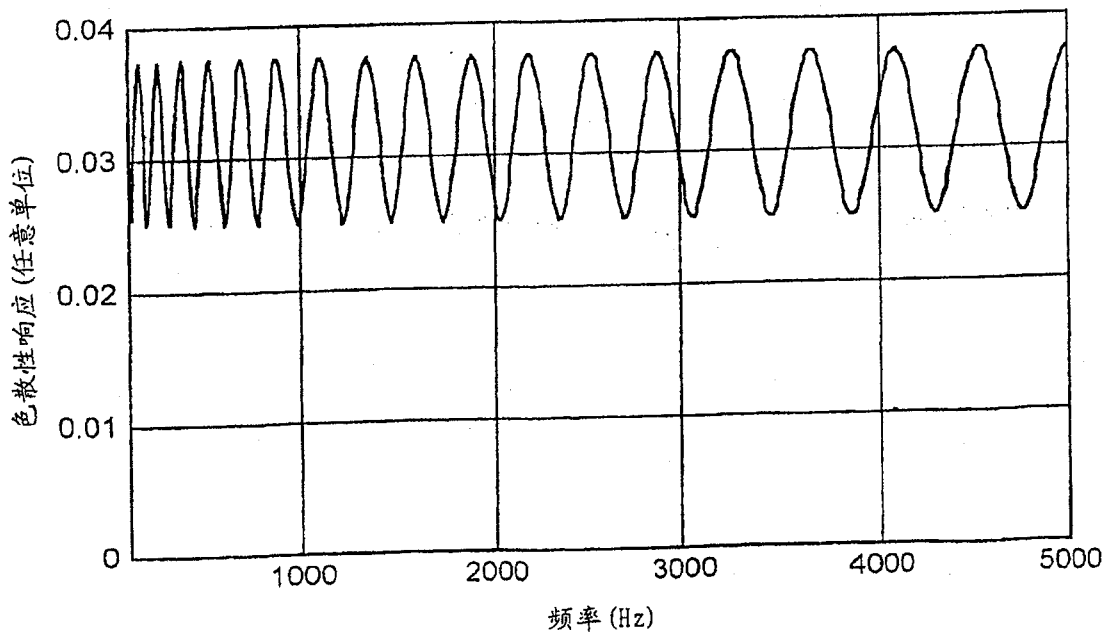
- a) 从调节型滤波器的内部存储器提取 FIR 卷积函数；
- b) 计算 FIR 卷积函数的傅立叶转换；
- c) 应用频率延伸运算 $f(\omega) = vC\sqrt{\omega}$ ；
- d) 计算反向傅立叶转换以得到 $F(t)$ 。

$F(t)$ 是色散校正相关函数 $G(t)$ 的相位等价，因此 $G(t)$ 与 $F(t)$ 的傅立叶转换具有相等相位，但不必是相同的振幅。因此，在 $F(t)$ 与 $G(t)$ 的时域中的任何峰值位置都相同，因此接触位置可从 $G(t)$ 的如上述的 $F(t)$ 的峰值来计算。



色散性脉冲响应曲线图

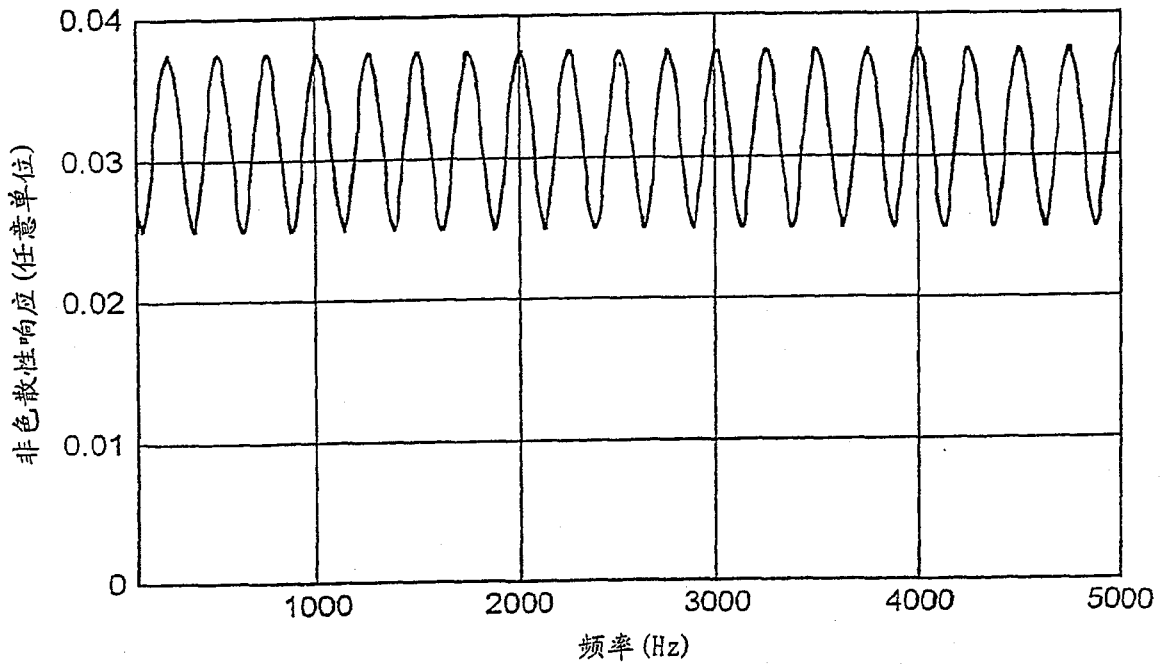
图 1a



色散性频率响应曲线图

图 1b





非色散性频率响应曲线图

图 1c

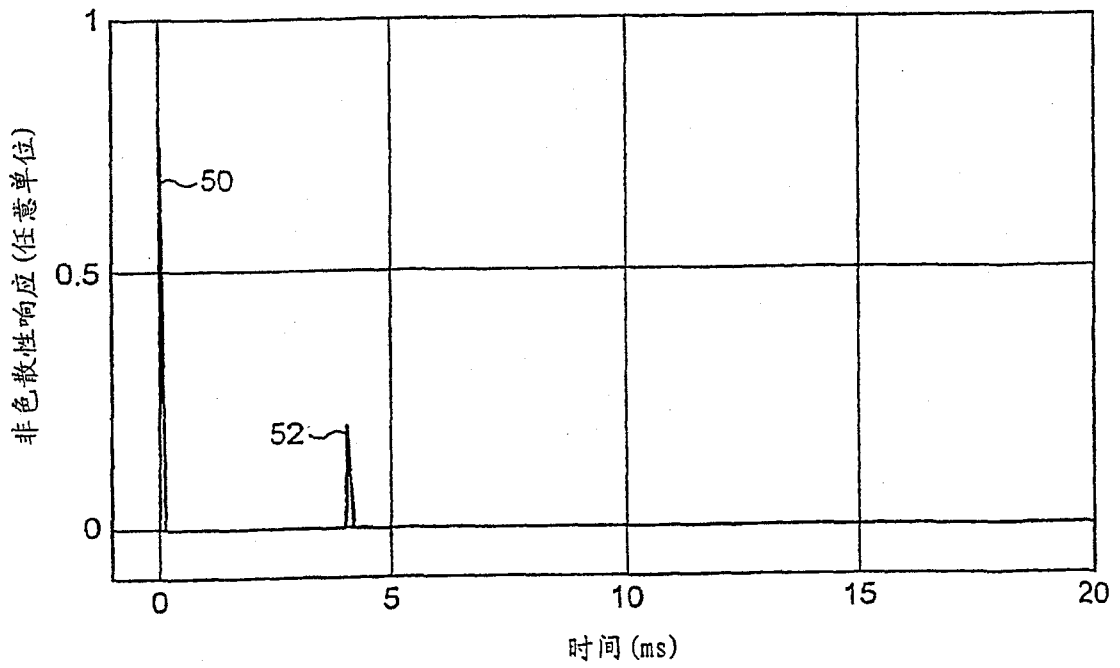


图 1d

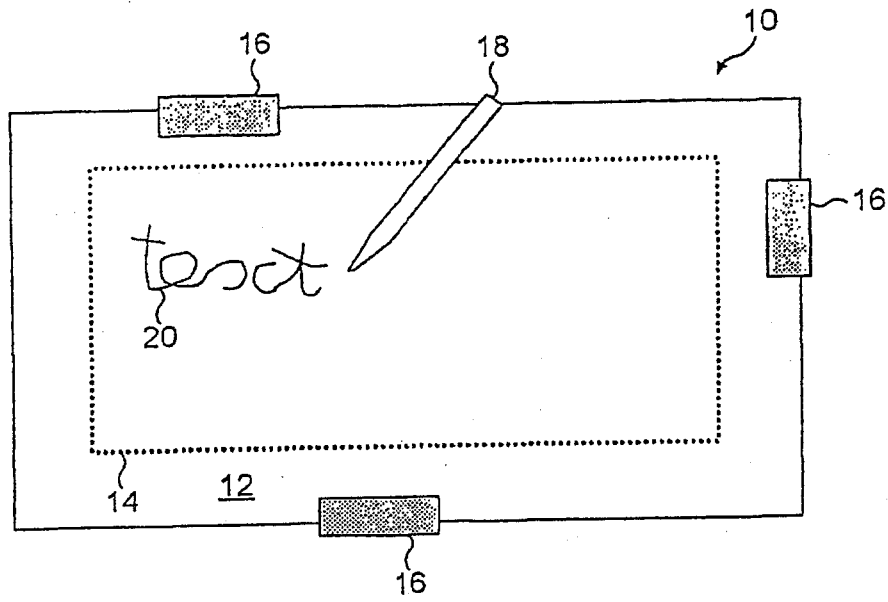


图 2

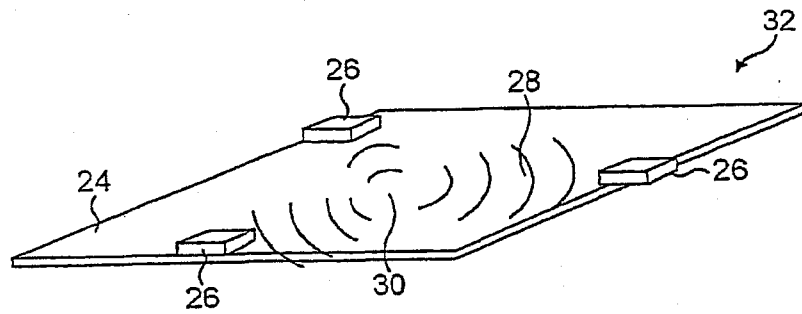


图 3

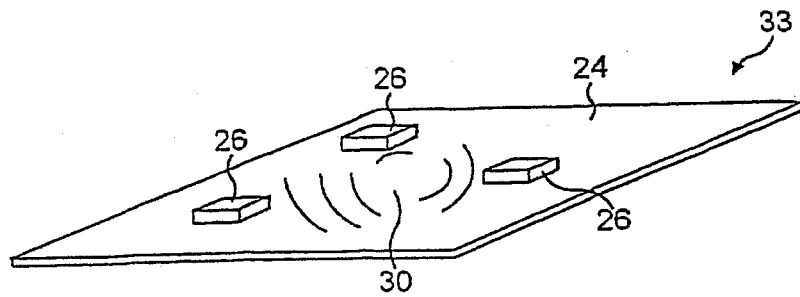


图 4

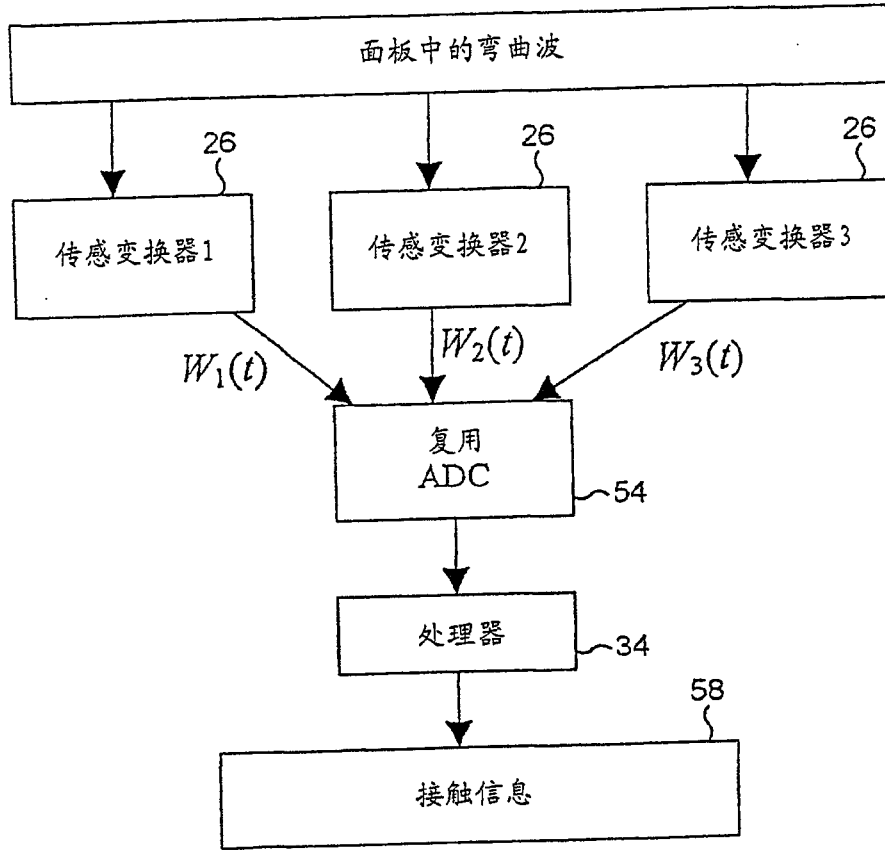


图 5

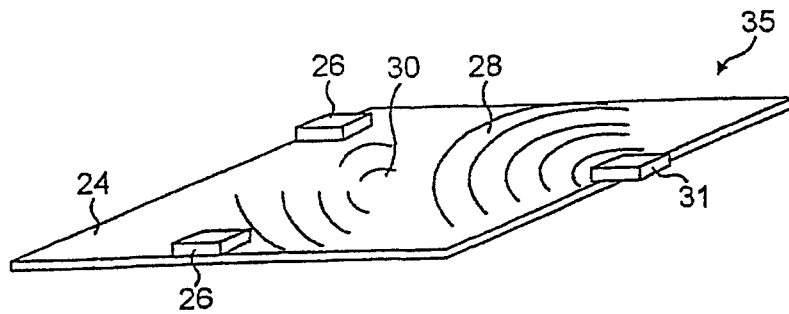


图 6

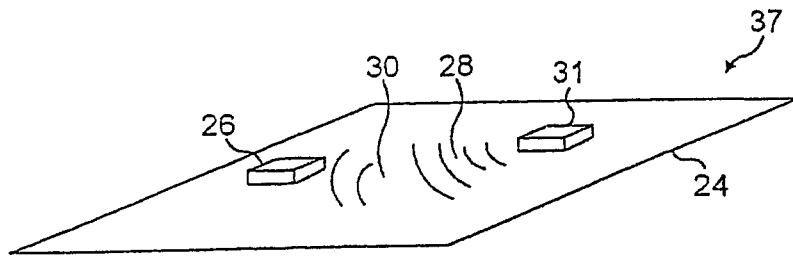


图 7

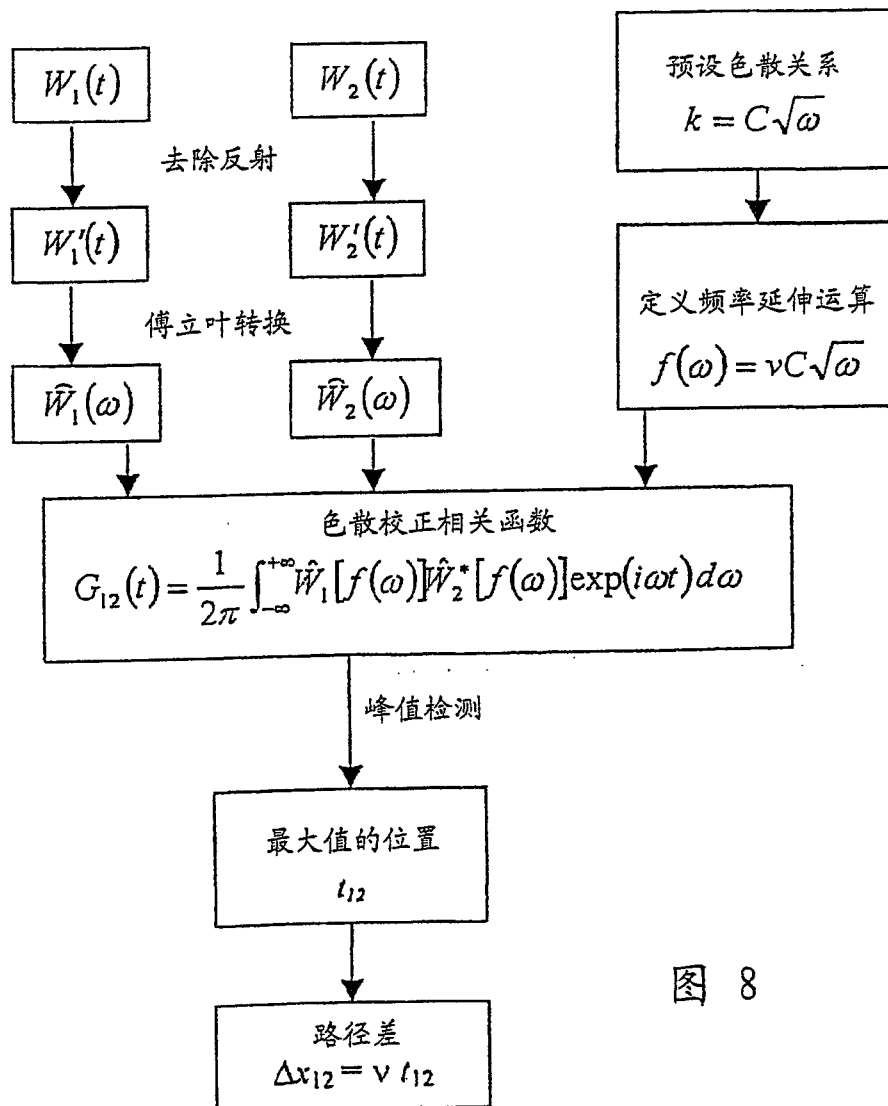


图 8

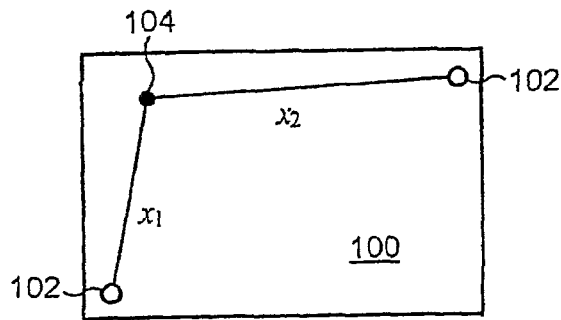


图 8a

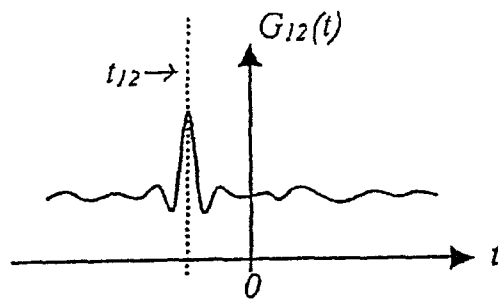


图 8b

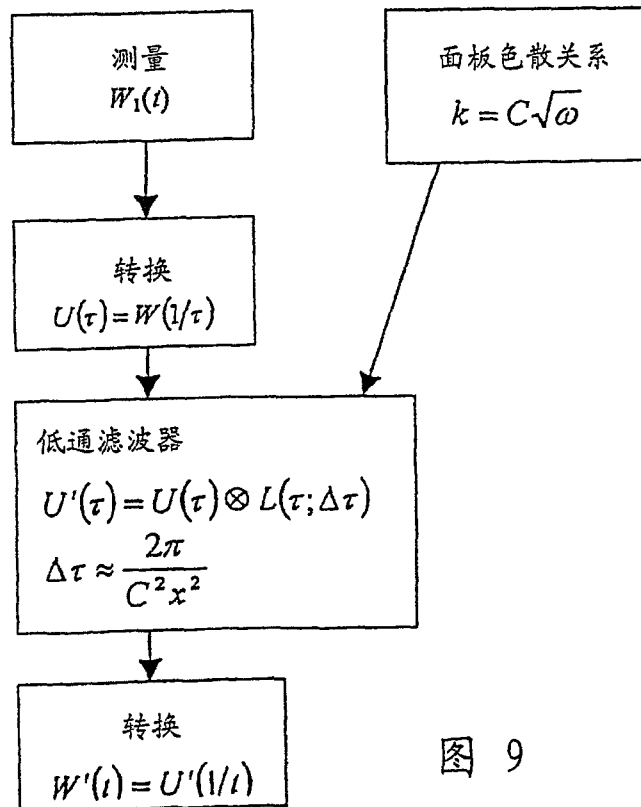


图 9

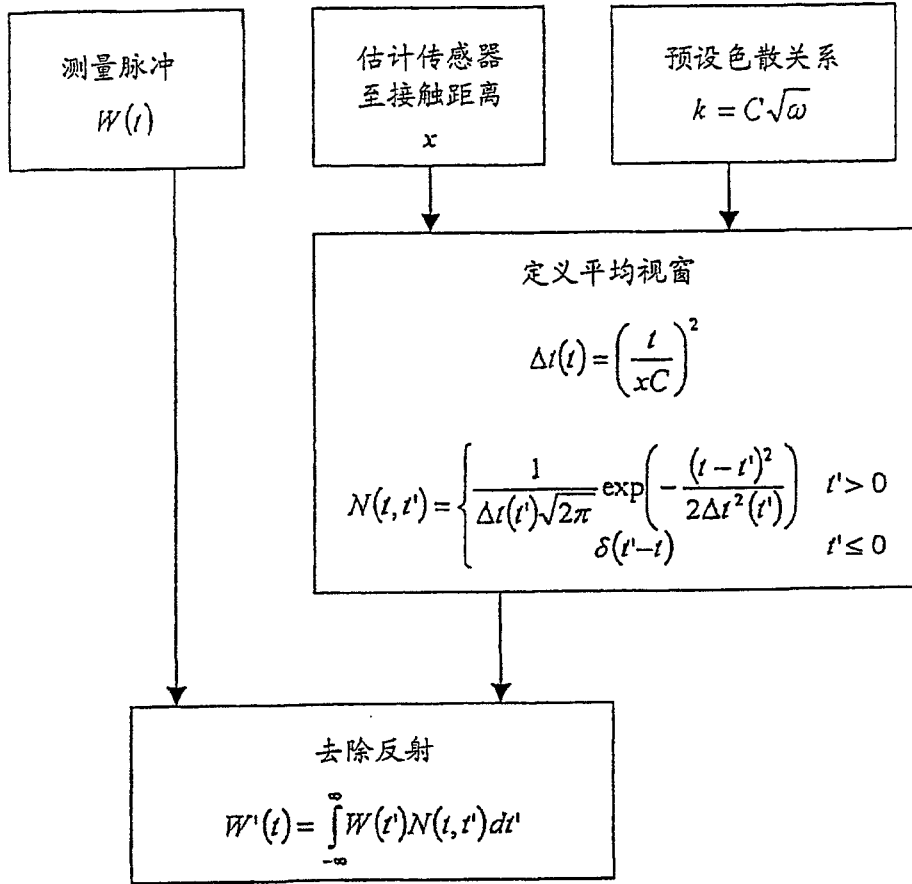


图 10

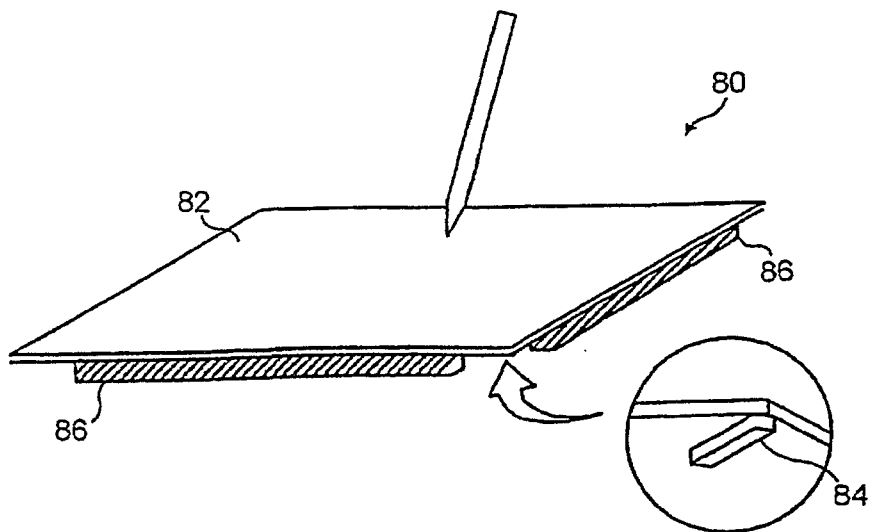


图 11a

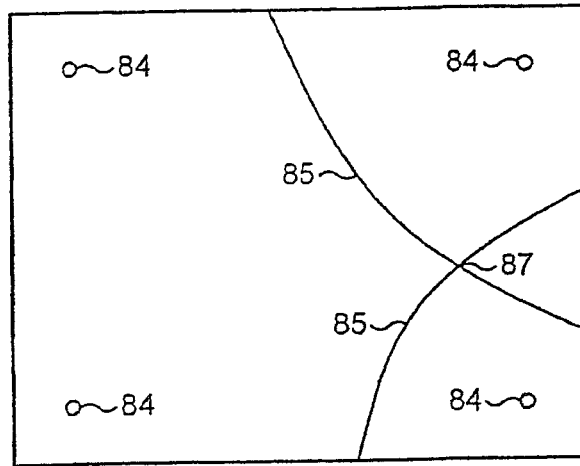


图 11b

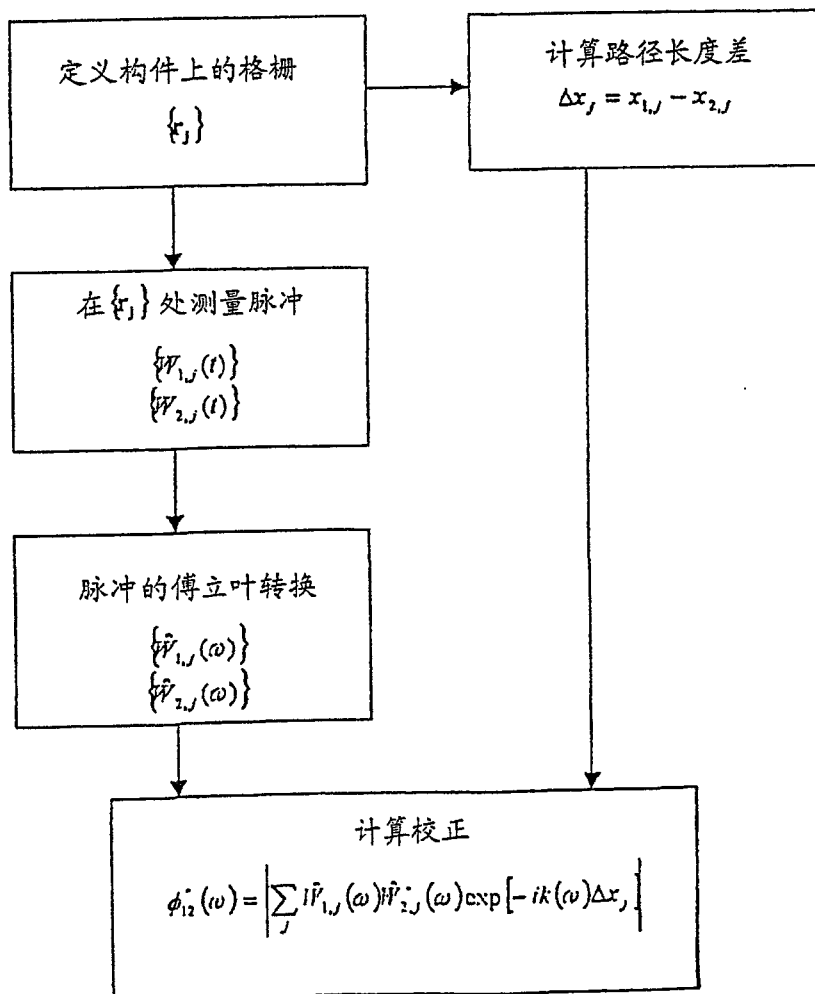
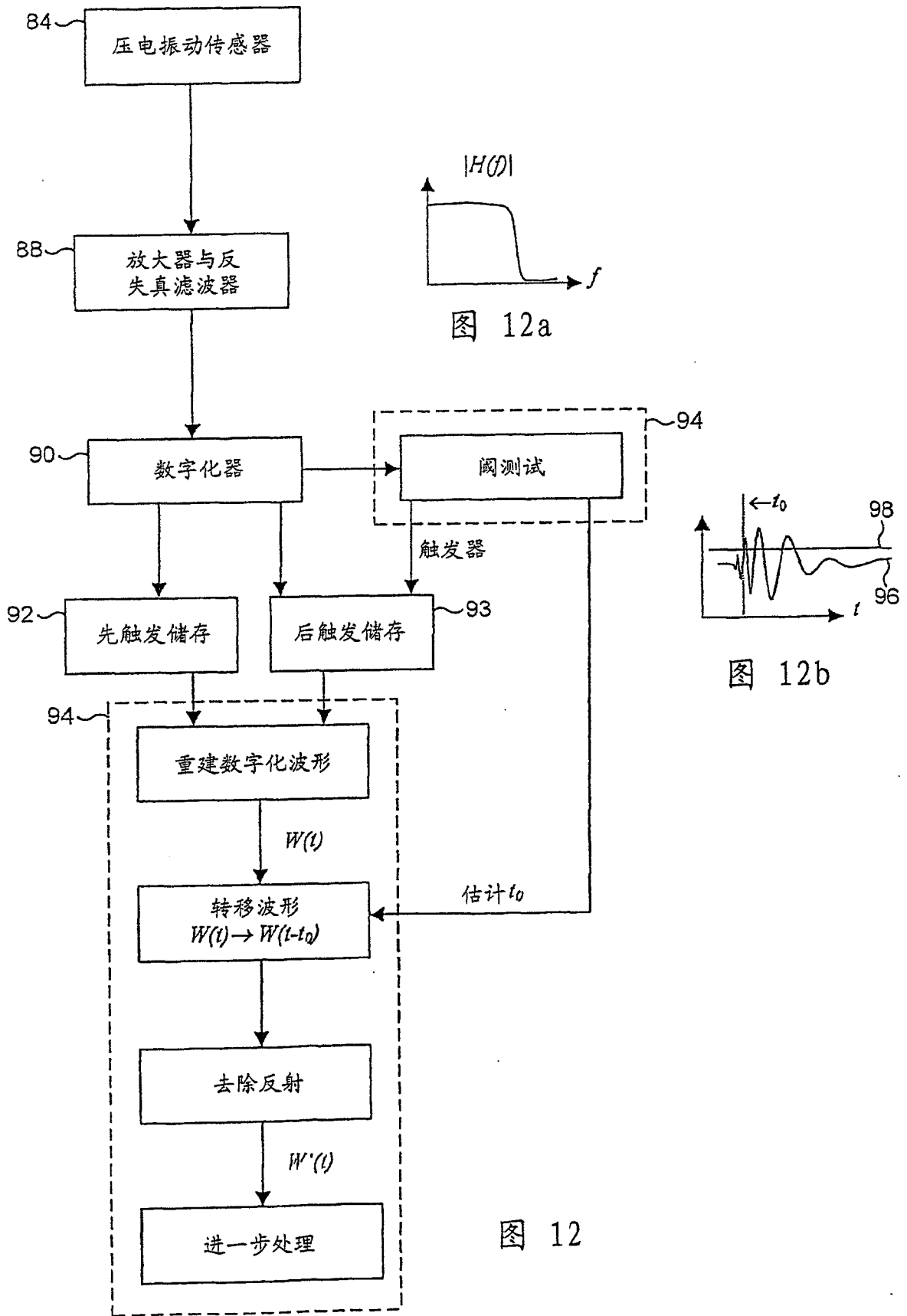


图 13



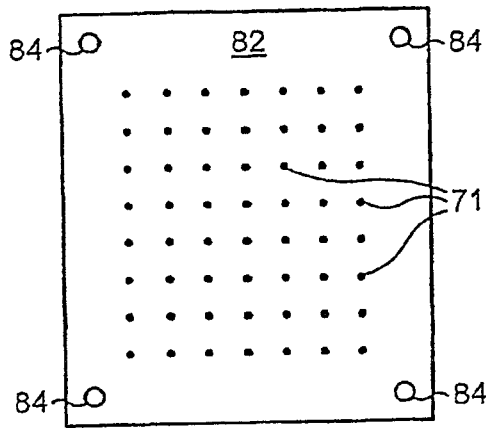


图 13a

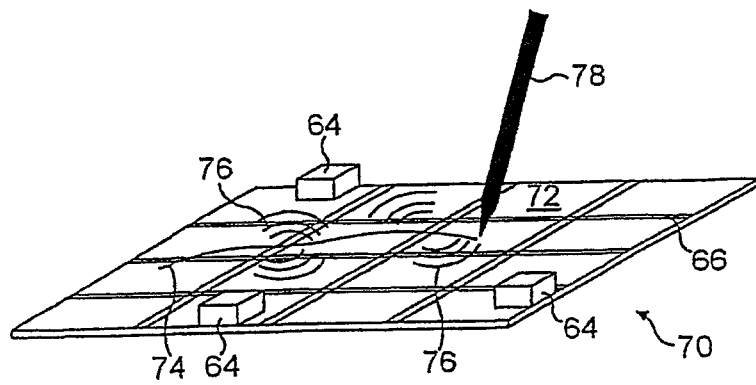


图 14

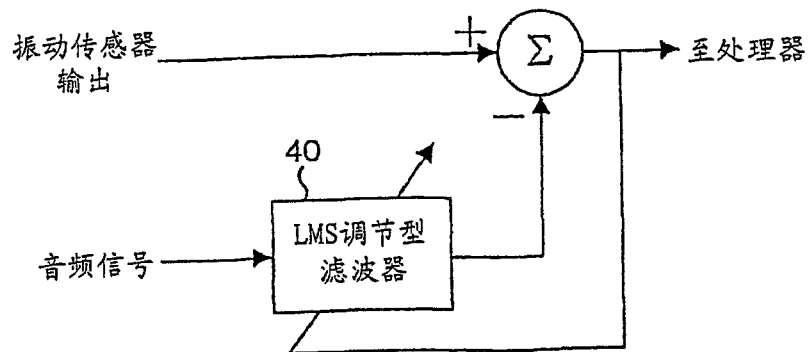


图 15

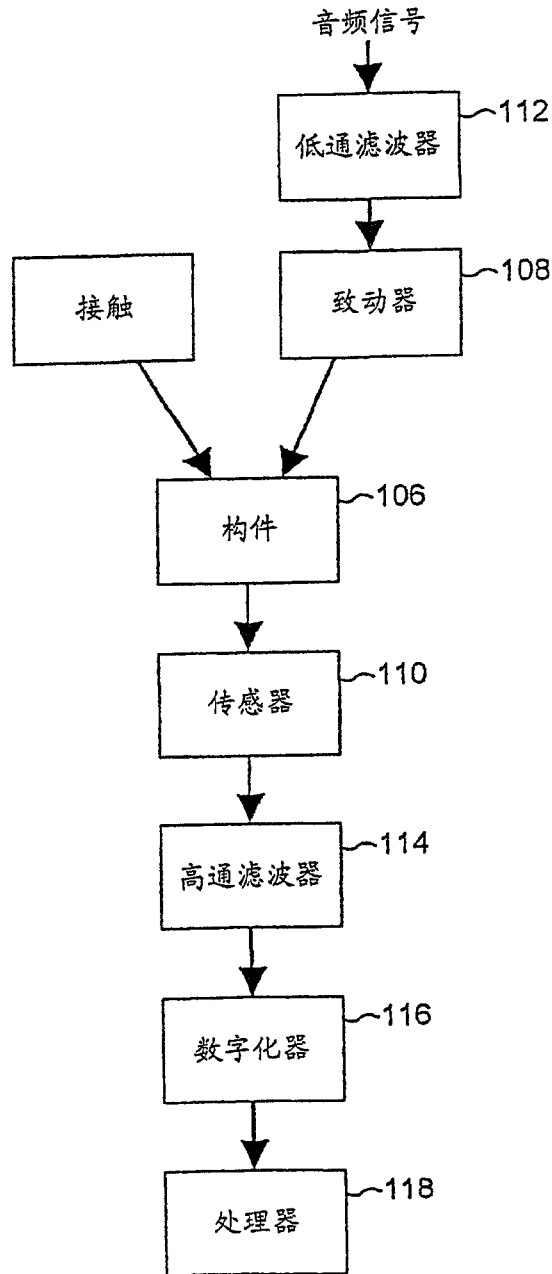


图 16a

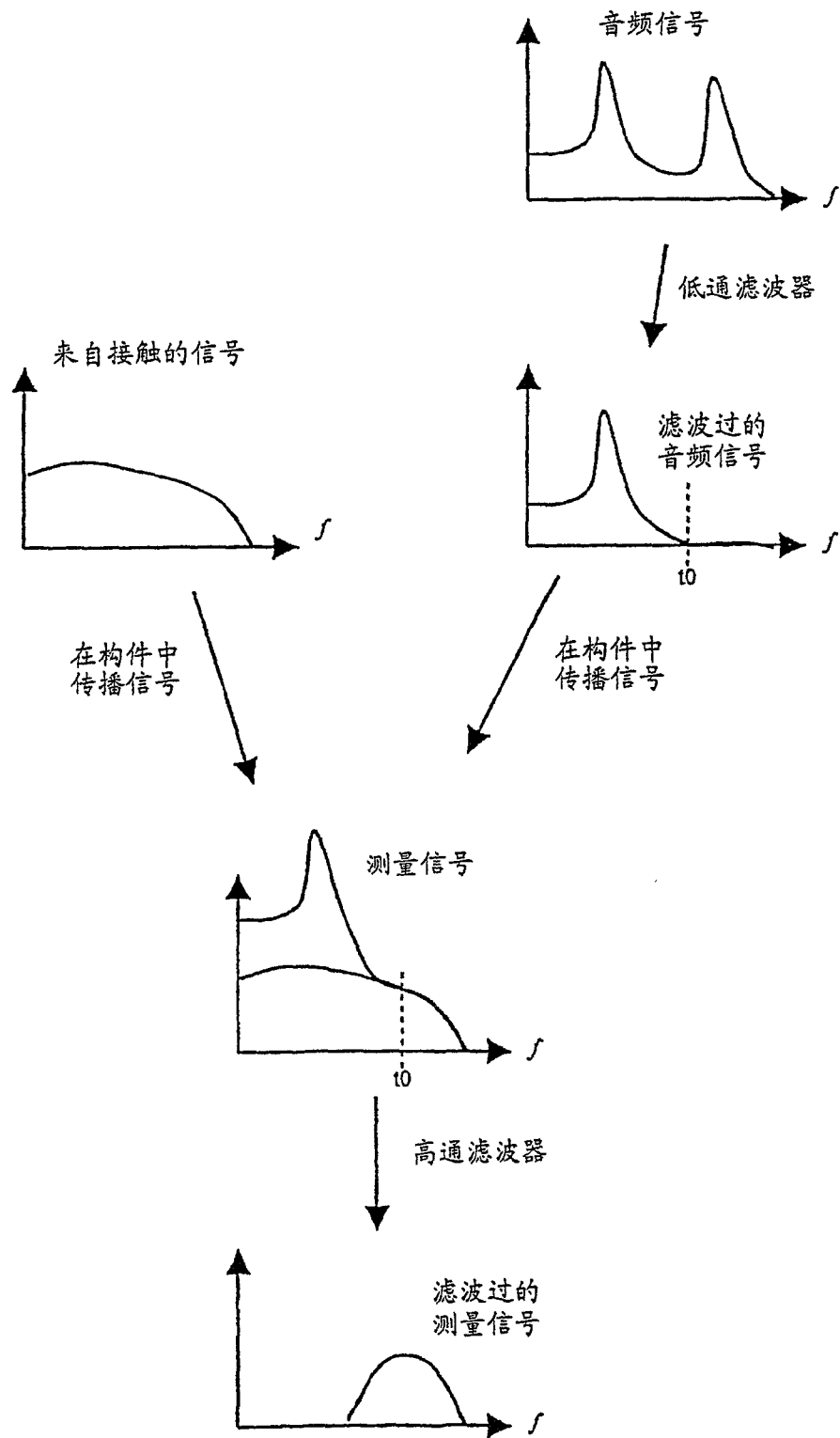


图 16b

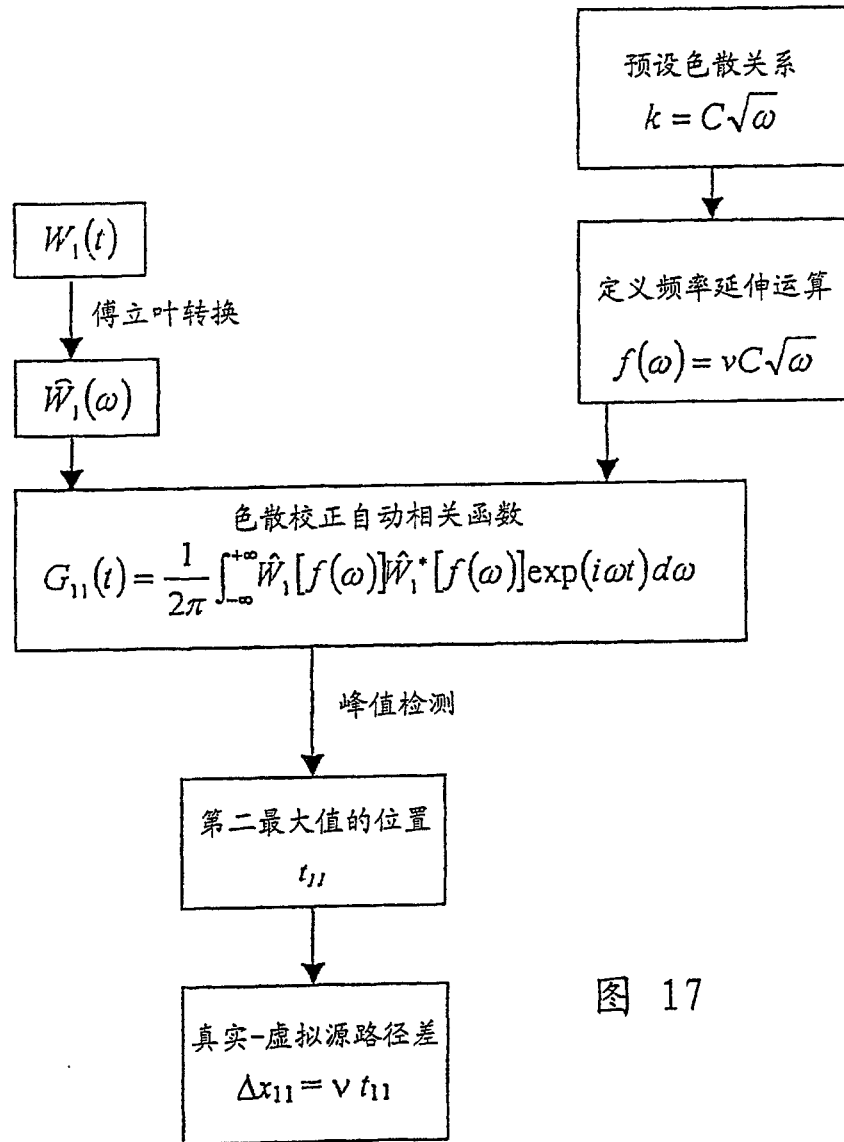


图 17

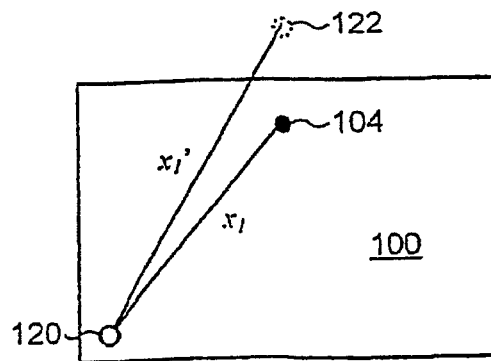


图 17a

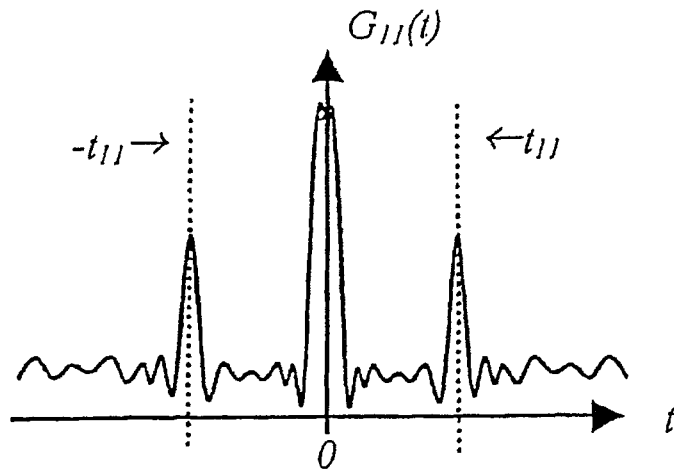


图 17b

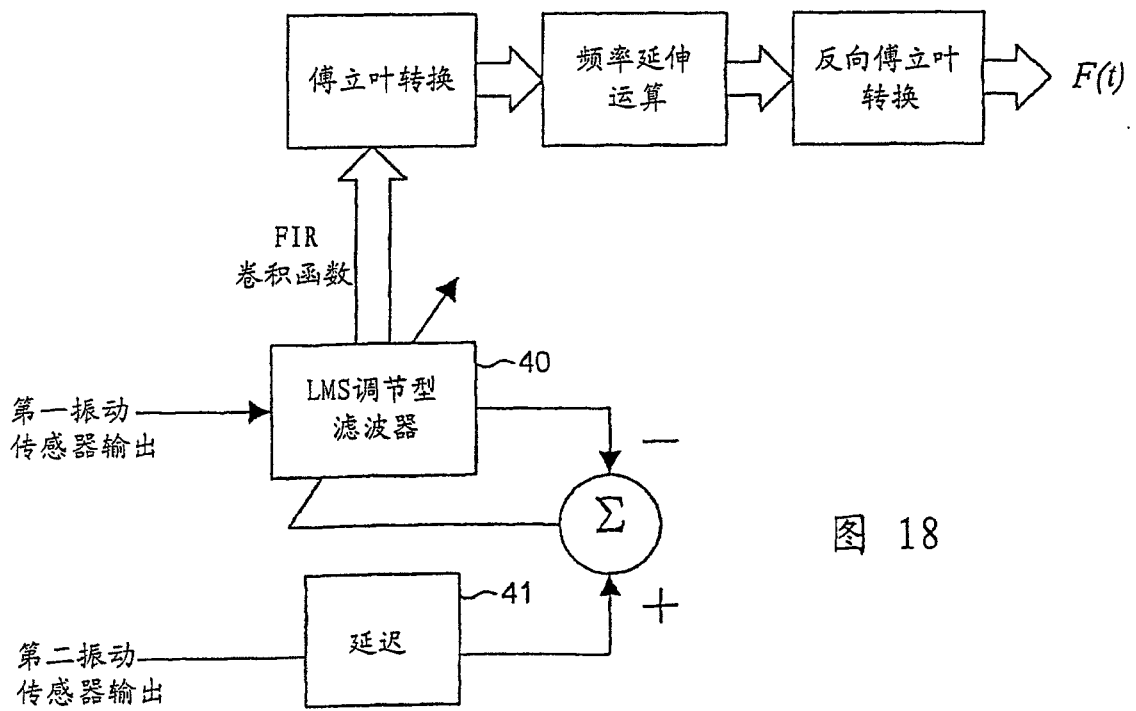


图 18