



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03808904.1

[43] 公开日 2005年7月27日

[11] 公开号 CN 1646936A

[22] 申请日 2003.6.4 [21] 申请号 03808904.1
 [30] 优先权
 [32] 2002.6.7 [33] JP [31] 167634/2002
 [86] 国际申请 PCT/JP2003/007060 2003.6.4
 [87] 国际公布 WO2003/104841 日 2003.12.18
 [85] 进入国家阶段日期 2004.10.20
 [71] 申请人 株式会社岛精机制作所
 地址 日本和歌山县
 [72] 发明人 上保徹志 入谷忠光

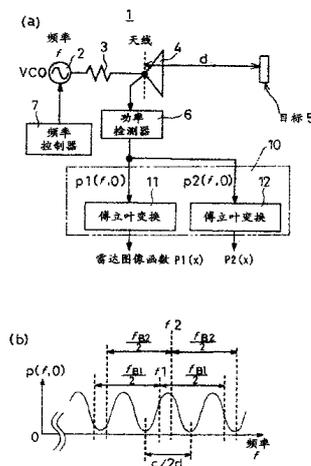
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
 标事务所
 代理人 郭思宇

权利要求书2页 说明书15页 附图7页

[54] 发明名称 距离测量方法和用于所述方法的装置

[57] 摘要

可以以高的分辨率测量距离。频率控制器(7)控制电压控制的振荡器(2),使得在包括两个中心频率 f_1 , f_2 的范围内改变信号源的频率 f , 并作为行波将其从天线(4)发送到目标(5)。由目标(5)反射的反射波和所述行波相互干扰而形成驻波。功率检测器(6)检测相应于驻波的幅值的功率,并在傅立叶变换装置(11, 12)中根据两个中心频率 f_1 , f_2 进行傅立叶变换,借以计算雷达图像函数 $P_1(x)$, $P_2(x)$ 。到目标(5)的距离 d 满足这样的条件:所述两个雷达图像函数的相位差过零和所述雷达图像函数的幅值为最大。所述相位差的过零点是一个线性函数的过零点,因而可以用高的分辨率来识别。



1.一种用于测量从一个基准位置到一个要被测量的对象的距离的距离测量方法，包括以下步骤：

驻波产生步骤，用于在改变频率的同时在存在于基准位置和要被测量的对象的周围的传播介质中产生从所述基准位置向要被测量的对象行进的行波，并使产生的行波和要被测量的对象反射的波干扰而产生驻波；

驻波检测步骤，用于检测在驻波产生步骤中产生的驻波；

雷达图像计算步骤，用于根据多个不同的中心频率由在所述驻波检测步骤中检测的驻波计算多个雷达图像函数，在所述雷达图像函数中，一个变量是从基准位置到在通过要被测量的对象的假想的直线轴线上的一点的距离；以及

距离确定步骤，用于确定一个距离作为从基准位置到要被测量的对象的距离，在此距离，在雷达图像计算步骤中计算的多个雷达图像函数当中的相位差以及任何雷达图像函数的幅值满足预定的条件。

2.如权利要求1所述的距离测量方法，其中同时测量要测量其距离的要被测量的对象和作为测量所述距离的基准的要被测量的对象。

3.一种用于测量从一个基准位置到要被测量的对象的距离的距离测量设备，包括：

行波产生装置，用于在改变频率的同时在存在于基准位置和要被测量的对象的周围的传播介质中产生从所述基准位置向要被测量的对象行进的行波；

驻波检测装置，用于检测驻波，并借以导出相应于驻波的信号，所述驻波是由使所述行波产生装置产生的行波和由要被测量的对象反射而回到行波产生装置侧的波进行干扰产生的；

雷达图像计算装置，用于根据多个不同的中心频率通过操作相应于从所述驻波检测装置导出的驻波的信号，计算多个雷达图像函数，在所述雷达图像函数中，一个变量是从基准位置到在通过要被测量的

对象的假想的直线轴线上的一点的距离；以及

距离确定装置，用于确定一个距离作为从基准位置到要被测量的对象的距离，在此距离，在由雷达图像计算装置计算的多个雷达图像函数当中的相位差以及任何雷达图像函数的幅值满足预定的条件。

4.如权利要求3所述的距离测量设备，其中所述雷达图像计算装置根据傅立叶变换处理计算多个雷达图像函数；以及

所述距离确定装置确定一个距离作为满足上述预定条件的距离，在此距离，在至少两个雷达图像函数之间的相位差是0，或者是 π 的偶数倍的弧度值，并且至少任何一个雷达图像函数的幅值为极值。

5.如权利要求4所述的距离测量设备，其中所述雷达图像计算装置通过对相应于驻波的信号进行傅立叶变换处理，计算多个雷达图像函数，其中通过利用预定的窗口函数多个不同的中心频率具有一个可变的公共宽度。

6.如权利要求3-5任何一个所述的距离测量设备，其中行波产生装置包括：

一个能够控制振荡频率和产生高频信号的振荡器；

一个用于在预定范围内周期地改变所述振荡器的振荡频率的控制器；以及

一个用于从所述振荡器向作为传播介质的空间发送作为电磁行波的高频信号的天线；以及

所述驻波检测装置利用所述天线检测驻波。

距离测量方法和用于所述方法的装置

技术领域

本发明涉及一种能够利用驻波以非接触的方式测量到一个要被测量的对象的距离的距离测量方法。

背景技术

迄今，距离测量是一种基本物理量的测量，并且一直利用许多方法进行距离测量。“距离”等于物理尺寸上的“长度”，在概念上它们通常是重叠的。当利用测量仪器对要被测量的对象进行测量而不使所述仪器和所述对象接触时，所述测量通常被称为“距离”测量，而当利用和对象接触的测量仪器测量对象时，所述测量通常被称为“长度”测量。用于测量长度的基本测量是尺子，其按照预定的基准被校准。

日本未审专利公开 JP-A-3-144306(1991)披露了一种和长度测量仪器有关的现有技术，其中在波导中形成一个狭缝，使得所述狭缝沿轴向延伸，在波导中产生电磁驻波，一个滑块，其通过所述狭缝在波导内部插入多个探针，沿轴向运动，以便根据由探针检测的驻波的幅值求得滑块的位置。

本申请人在日本未审专利公开 JP-A-11-230734(1999)中还披露了一种关于线性编码器的现有技术，其中利用其频率周期地改变的调频波在一个线性导体通路中形成驻波，并根据调制的信号和在导体通路中的驻波的包络之间的相关性测量导体通路的层的位置。

本发明人还发现，在一种传播介质例如相对于要被测量的对象而存在的空间中可以形成电磁驻波，在未审的日本专利公开 JP-A-11-230734(1999)中提出了使用施加于导体通路的驻波的思想，并在日本专利申请 No. 2001 - 237280 中提出了一种能够以非接触的方式测量所述距离的技术。

在日本未审专利公开 JP-A-3-144306(1991)和 JP-A-11-203734(1999)中,相应于尺子的波导或导体通路被安装在作为测量基准的位置和要被测量的对象之间,并且必须和要被测量的对象呈机械接触。在日本专利申请 No.2001-237280 中提出的技术使用以电磁波或其类似物形成的驻波,其传播介质例如是空间,因而使得能够以非接触的方式测量到对象的距离。因此,这种技术可以用作被安装在运动对象例如汽车上的雷达。

按照在日本专利申请 No.2001-237280,用于产生驻波的电磁波的频率被改变,以便求得一个检测信号函数,该函数代表在检测的驻波的幅值和频率之间的关系,并使检测信号函数具有最大值时的频率和要被测量的对象的距离相关。不过,如后面将要说明的,在检测信号函数中的改变在极值附近减少,因而由于增加分辨率具有其自身的限制,正确地确定极值的位置是困难的。此外,在实际测量中,噪声分量被叠加到检测信号函数上,因而仅仅根据幅值数据确定的极值的位置的误差范围趋于增加。

即使试图利用和相位相关的数据由于要被测量的对象的反射,所述相位包括相位移量,这使得通常难于正确地求得相位移量,因而需要认为相位移量是一个未知的量。此外,在检测信号函数中,相位的改变和幅值改变相比构成一个短周期的周期函数,并即使在幅值的极值附近,也存在多个和相位移量具有预定关系的相位。因此,即使能够正确地求得相位移量,也难于确定幅值的极值。

发明内容

因此,本发明的目的在于提供一种能够以高的分辨率测量距离的距离测量方法和使用所述方法的设备。

本发明是一种用于测量从一个基准位置到一个要被测量的对象的距离的距离测量方法,包括以下步骤:

驻波产生步骤,用于在改变频率的同时在基准位置和要被测量的对象的周围的传播介质中产生从所述基准位置向要被测量的对象行进

的行波,并使产生的行波和要被测量的对象反射的波干扰而产生驻波;

驻波检测步骤,用于检测在驻波产生步骤中产生的驻波;

雷达图像计算步骤,用于根据多个不同的中心频率由在所述驻波检测步骤中检测的驻波计算多个雷达图像函数,在所述雷达图像函数中,一个变量是从基准位置到要通过要被测量的对象的假想的直线轴线上的一点的距离;以及

距离确定步骤,用于确定一个距离作为从基准位置到要被测量的对象的距离,在此距离,在雷达图像计算步骤中计算的多个雷达图像函数当中的相位差以及任何雷达图像函数的幅值满足预定的条件。

此外,本发明的特征在于,同时测量要测量其距离的要被测量的对象和作为测量所述距离的基准的要被测量的对象。

本发明是一种用于测量从一个基准位置到要被测量的对象的距离的距离测量设备,包括:

行波产生装置,用于在改变频率的同时在基准位置和要被测量的对象的周围的传播介质中产生从所述基准位置向要被测量的对象行进的行波;

驻波检测装置,用于检测驻波,并借以导出相应于驻波的信号,所述驻波是由所述行波产生装置产生的行波和由要被测量的对象反射而回到行波产生装置侧的波的干扰产生的;

雷达图像计算装置,用于根据多个不同的中心频率通过操作相应于从所述驻波检测装置导出的驻波的信号,计算多个雷达图像函数,在所述雷达图像函数中,一个变量是从基准位置到要通过要被测量的对象的假想的直线轴线上的一点的距离;以及

距离确定装置,用于确定一个距离作为从基准位置到要被测量的对象的距离,在此距离,在由雷达图像计算装置计算的多个雷达图像函数当中的相位差以及任何雷达图像函数的幅值满足预定的条件。

此外,本发明的特征在于,所述雷达图像计算装置根据傅立叶变换处理计算多个雷达图像函数;以及

所述距离确定装置确定一个距离作为满足上述预定条件的距离,

在此距离，在至少两个雷达图像函数之间的相位差是0，或者是 π 的偶数倍的弧度值，并且至少任何一个雷达图像函数的幅值为极值。

此外，本发明的特征在于，所述雷达图像计算装置通过对相应于驻波的信号进行傅立叶变换处理，计算多个雷达图像函数，其中通过利用预定的窗口函数对于多个不同的中心频率具有一个可变的公共宽度。

此外，本发明的特征在于，所述行波产生装置包括：

一个能够控制振荡频率和产生高频信号的振荡器；

一个用于在预定范围内周期地改变所述振荡器的振荡频率的控制器，以及

一个用于从所述振荡器向作为传播介质的空间发送作为电磁行波的高频信号的天线；并且

所述驻波检测装置利用所述天线检测驻波。

附图说明

本发明的其它的和进一步的目的、特征和优点由下面参照附图进行的详细说明将会更加清楚地看出，其中：

图1是说明按照本发明的一个实施例的距离测量设备1的电气结构的方块图，以及用于说明驻波的幅值相对于频率而改变的曲线；

图2是表示由图1所示的距离测量设备使用的用于确定到目标5的距离的幅值和相角中的改变的曲线；

图3是示意地表示作为本发明的基础的距离测量设备20的电气结构的方块图和用于说明对于在X轴上的位置的改变雷达图像函数的幅值的改变的曲线；

图4是表示在图3的距离测量设备1中驻波的幅值相对于频率f的改变；

图5是表示由图3的距离测量设备使用的通过对一个窗口函数进行傅立叶变换而获得的基波波形的曲线；

图6是表示当一个运动目标和固定目标利用图3的距离测量设备

同时测量时的结果的曲线；

图 7 是表示被使用用于利用图 3 的距离测量设备 1 确定目标 5 的距离的幅值和相角的改变的曲线；

图 8 是用于按照图 1 的实施例确定距离的方法的流程图；以及

图 9 是表示一种状态的示意图，其中穿着衣服 30 的人体 31 用作图 1 实施例中的目标。

具体实施方式

下面参照附图说明本发明的优选实施例。

图 1 示意地表示按照本发明的一个实施例的用于测量距离的结构。距离测量设备 1 根据由外部单元施加的电压能够改变振荡频率，并且电压控制的振荡器（缩写为 VCO）2 产生高频电信号，所述高频信号通过传输系统 3 被送到天线 4，所述传输系统用于实现功率放大和阻抗匹配。天线 4 把馈入的高频电信号转换成发射到周围空间的电磁波。在作为要被测量的对象的目标 5 处于沿从天线 4 发送的电磁波的行进方向一个距离 d 的情况下，由于入射到目标 5 上的行波和由目标 5 反射的波之间的干扰而产生驻波。天线 4 接收相应于所述驻波的电信号，由作为驻波检测装置的功率检测器 6 作为收到的输入电压的二次幂检测驻波的电功率。电压控制的振荡器 2 的振荡频率由频率控制器 7 给出的控制电压改变。由电压控制的振荡器 2 产生的高频信号的频率可被直接地使用、被放大成为许多倍的一个频率、或者可以被外插转换。电压控制的振荡器 2、天线 4 和频率控制器 7 作为行波产生装置。

由功率检测器 6 检测的驻波功率由雷达图像计算装置 10 转换成雷达图像函数。雷达图像计算装置 10 包括多个或者例如两个傅立叶变换装置 11 和 12。使第一傅立叶变换装置 11 和中心频率 f_1, f_2 之间的第一中心频率 f_1 相关，并把功率函数 $p_1(f, 0)$ 转换成雷达图象函数 $p_1(x)$ 。使第二傅立叶变换装置 12 和中心频率 f_1, f_2 之间的第二中心频率 f_2 相关，并把功率函数 $p_2(f, 0)$ 转换成雷达图象函数 $p_2(x)$ 。

雷达图像计算装置 10 借助于使用通用中央处理单元(CPU)进行的程序处理可以作为多个傅立叶操作装置 11, 12 操作。通过使用数字信号处理器(DSP)其还可以在高速下操作。通过并行地操作多个数字信号处理器, 可以实现在更高的速度下的操作处理。通过形成专用于傅立叶操作处理的电路, 速度还可以增加。

图 2 表示按照本实施例用于确定目标 15 的位置的条件。图 2(a)以一种标准化的方式表示两个雷达图象函数 $P_1(x)$ 和 $P_2(x)$ 的幅值的改变。图 2(b)利用点划线和两点划线表示两个雷达图像函数 P_1, P_2 的相位 θ_1, θ_2 的变化, 实线表示相位差 $\Delta\theta$ 的改变。在图 2(a)和图 2(b)中, 横轴表示相对位移 Δx , 其中 $x=d$, 作为一个中心, 以 $c/2fB$ 为单位。图 2(c)表示在图 2(b)中 $\Delta x=0$ 附近的变化, 沿横轴方向被放大了。在这个实施例中, 即使当最大峰值如图 2(a)所示缓和地变化时, 也可以用高的分辨率按照 $\Delta\theta = 0$ 的位置正确地确定目标 15 的距离, 如图 2(b), 2(c)所示。

图 3 - 图 7 表示按照本发明的实施例用于确定到要被测量的目标 15 的距离的原理。这个原理的基本思想在日本专利申请 No.2001-237280 中披露了。

在图 3 中, 图 3(a)表示作为本发明的基础的距离测量设备 20 的电气结构, (b)表示雷达图象函数的幅值的改变。在图 3 中, 相应于图 1 所示的实施例的部分的那些部分用相同的标号表示, 并不再重复对这些元件的说明。代替图 1 使用一个目标 5 作为要被测量的对象, 图 3 表示同时测量到多个目标 $21 - 2n$ 的距离 $d_1 - d_n$ 的情况。

从天线 4 发出的电磁波信号成为行波, 朝向目标 $21 - 2n$ 在空间中进行。所述行波被目标 $21 - 2n$ 反射。其中, 众所周知, 返回天线 4 的反射波和所述行波干扰而形成驻波。由于驻波的存在, 在作为从天线 4 通过多个目标 $21 - 2n$ 的假想直线的 X 轴上的点观察到的信号的幅值和电功率相对于来自信号源的行波的频率呈周期性改变。所述周期和从 $x=0$ 的观察点到要被测量的对象的距离成反比。通过利用驻波的这个特性, 距离测量设备 20 利用天线 4 的功率馈入部分作为观察点

测量到要被测量的对象的距离 d 。

作为由天线 4 发送的信号的行波 V_T 由式 (1) 表示:

$$V_T(f, x) = e^{j \frac{2\pi f}{c} x} \quad \dots (1)$$

在从观察点到作为要被测量的对象的相关目标 $21-2n$ 的距离由 d_1-d_n 表示的情况下, 来自目标 $2k$ ($k=1,2,\dots,n$) 的反射波 V_{Rk} 由式 2 表示:

$$V_{Rk}(f, x) = \gamma_k \cdot e^{j\phi_k} \cdot e^{j \frac{2\pi f}{c} (2dk - x)} \quad \dots (2)$$

其中 c 是电磁波的速度, 即光速, γ_k 是包括传播损失的反射系数的大小, ϕ_k 是不包括由于传播而引起的相位移的反射中的相位移数量。

驻波由行波 V_T 和反射波 V_{Rk} 的附加合成产生, 并且由式 (1) 和式 (2), 由式 (3) 求得功率函数 $p(f,x)$, 其是驻波的二次幂:

$$\begin{aligned} p(f, x) &= \left| V_T(f, x) + \sum_{k=1}^n V_{Rk}(f, x) \right|^2 \\ &= \left| e^{j \frac{2\pi f}{c} x} \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot e^{j \left(\frac{4\pi (dk - x)}{c} f + \phi_k \right)} \right\} \right|^2 \\ &= \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \cos \left(\frac{4\pi (dk - x)}{c} f + \phi_k \right) \right\}^2 \\ &\quad + \left\{ \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \sin \left(\frac{4\pi (dk - x)}{c} f + \phi_k \right) \right\}^2 \quad \dots (3) \end{aligned}$$

按照式 (3), 当在距离 d 处有一个要被测量的对象时, 图 4 表示在信号源的频率 f 和在天线 4 的功率馈入部分的驻波的功率函数 $p(f,0)$ 之间的关系, 所述功率馈入部分是观察点, 其 $x=0$ 。可以看出, $p(f,0)$ 相对于信号源的频率 f 周期地改变, 其周期是 $c/(2d)$, 和从观察点到要被测量的对象的距离 d 成反比。

因此, 为了求得由被观测的 $p(f,0)$ 表示的周期的数据, $p(f,0)$ 被认为是时间波形, 并被进行傅立叶变换。借助于在傅立叶变换公式中由 $2x/c$ 代替 $\omega/2\pi$, 用 f 代替 t ,

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad \dots (4)$$

可以由式 (5) 表示 $p(f,0)$ 经过傅立叶变换的 $P(x)$:

$$P(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(f,0) e^{-j\frac{4\pi x}{c}f} df \quad \dots (5)$$

实际上, 信号源的频率 f 的变化范围是有限的, 在其中心频率由 f_0 表示, 改变的宽度由 fB 表示的情况下, 可以由下式 (6) 求得雷达图象函数 $P(x)$:

$$P(x) = \int_{f_0 - fB/2}^{f_0 + fB/2} w(f - f_0) \cdot p(f,0) e^{-j\frac{4\pi x}{c}f} df \quad \dots (6)$$

其中 $w(f)$ 是窗口函数, 可以优选地使用由下式 (7) 表示的 Blackman-Harris 窗口:

$$w(f) = \left\{ 0.423 + 0.498 \cos\left(2\pi \frac{f}{fB}\right) + 0.0792 \cos\left(4\pi \frac{f}{fB}\right) \right\} \dots (7)$$

$p(f,0)$ 的直流分量没有数据, 可以预先消去。此外, 在 $x=0$ 的观察点, 即天线 4 的功率馈入部分, 反射波 VR_k 的信号电平通常远小于行波 VT 的信号电平, 即认为 $\gamma_k \ll 1$ 。假定 γ_k 的二次项和高次项几乎为 0, γ_k 的多项式可被忽略。在附加这些条件的情况下, 由式 (3), $p(f,0)$ 可以由式 (8) 表示:

$$P(f,0) \doteq 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \cdot \cos\left(\frac{4\pi dk}{v} f + \phi k\right) \quad \dots (8)$$

由式 6, 7 和 8, 可以计算雷达图象函数 $P(x)$, 如式 (9) 所示:

$$\begin{aligned} P(x) &= \int_{f_0 - fB/2}^{f_0 + fB/2} w(f - f_0) \cdot p(f,0) e^{-j\frac{4\pi x}{c}f} df \\ &= \sum \left\{ \gamma_k \cdot W(x - dk) e^{j\phi k} e^{-j\frac{4\pi f_0}{c}(x - dk)} + \gamma_k \cdot W(x + dk) e^{-j\phi k} e^{-j\frac{4\pi f_0}{c}(x + dk)} \right\} \\ &\quad \dots (9) \end{aligned}$$

图 5 表示用于式 (9) 的标称化的 $W(x)$ 函数。 $W(x)$ 是窗口函数 $w(x)$ 的傅立叶变换, 当使用式 (7) 的 BLACKMAN-HARRIS 的窗口时, 可以由式 (10) 表示:

$$\begin{aligned}
P(x) &= \int_{f_0 - f_B/2}^{f_0 + f_B/2} w(f) e^{-j\frac{4\pi x}{c}f} df \\
&= 0.423 f_B \cdot \text{Sa}\left(\frac{2\pi f_B \cdot x}{c}\right) \\
&\quad + 0.249 f_B \left\{ \text{Sa}\left(\frac{2\pi f_B \cdot x}{c} - \pi\right) + \text{Sa}\left(\frac{2\pi f_B \cdot x}{c} + \pi\right) \right\} \\
&\quad + 0.0396 f_B \left\{ \text{Sa}\left(\frac{2\pi f_B \cdot x}{c} - 2\pi\right) + \text{Sa}\left(\frac{2\pi f_B \cdot x}{c} + 2\pi\right) \right\} \quad \dots(10)
\end{aligned}$$

其中 Sa 是抽样函数，其由下式 (11) 表示：

$$\text{Sa}(\tau) = \frac{\sin(\tau)}{\tau} \quad \dots(11)$$

图 6 表示当两个目标 21 和 22 之间的一个目标 21 的距离 d_1 从 0.3 米改变为 50 米，并且另一个目标 22 的距离 d_2 固定为 10 米时，在 $x > 0$ 的范围内雷达图像函数 $P(x)$ 的绝对值 $|P(x)|$ 的计算结果。这是中心频率 f_0 是 7.75 GHz， f_B 是 500 MHz 的情况。此外， γ_k 被设置为 0.1， ϕ_k 被设置为 π 。作为 $p(f, 0)$ ，使用通过从式 (3) 中除去直流分量而获得的一个。计算结果包括 γ_k 的二次项或高次项。也可以同时测量到多个目标 21，22 的距离。在利用其它方法事先或后来测量一个距离 d_2 的情况下，则可以根据测量值校正其它的距离 d_1 。

下面考虑由图 3 的距离测量设备 20 使问题简化以及由 $x=0$ 的观察点判断到任何一个目标 21 - 2n 的距离 d 的情况。在包括传播损失的反射系数由 γ 表示，并且不包括由传播引起的相位移的伴随着反射而发生的相位移数量由 ϕ 表示的情况下，由式 (9) 获得由下式 (12) 表示的雷达图像函数 $P(x)$ ：

$$P(x) = \gamma W(x-d) e^{j\phi} e^{-j\frac{4\pi f_0}{c}(x-d)} + \gamma W(x+d) e^{-j\phi} e^{-j\frac{4\pi f_0}{c}(x+d)} \quad \dots(12)$$

其中，如图 5 所示，在离开其 $x=0$ 的中心大于 $3 \times c/(2f_B)$ 的区域内， $W(x)$ 可认为几乎是 0。这是因为 Blackman-Harris 窗口具有这样的特性，即，和其它的窗口功能相比，主要部分之外的分量成为非常小的。因此，在 $d > 1.5 \times c/(2f_B)$ 的情况下，在 $x=d$ 附近， $W(x+d)$ 近似于 0，公式 (12) 的雷达图像函数 $P(x)$ 可以近似地表示为下式 (13)：

$$P(x) = \gamma W(x-d)e^{j\phi} e^{-j\frac{4\pi f_0}{c}(x-d)} \quad \dots (13)$$

图 7 表示用于按照公式 (13) 使用图 3 的距离测量设备 20 判断从观察点 $x=0$ 到目标 21-2n 的任何一个的距离 d 的雷达图像函数 $P(x)$ 的 $x=d$ 附近的局部形状。图 7(a) 表示标称化的幅值 $|P(x)|$ 的变化, 图 7(b) 表示以弧度表示的相位 $\angle P(x)$ 的变化。如上所述, f_0 是 7.75 GHz, f_B 被设置为 258 MHz, 因此 $f_0/f_B=30$ 。横轴表示位移 Δx , 以 $x=d$ 为中心, 以 $c/(2f_B)$ 为单位。

按照图 7 和公式 (13), 应当理解, 通过搜索雷达图像函数的幅值 $|P(x)|$ 成为最大或者相位 $\angle P(x)$ 变得等于 ϕ 的点, 可以求得距离 d 。不过, 相位移数量 ϕ 是未知的, 并在图 7(b) 中被显示为在 $\pm\pi$ 的范围内被折叠的。因此, 即使在 $-\pi \leq \phi < +\pi$, 也有多个 Δx 和其相关, 因而不能判断距离 d 。雷达图像函数的幅值 $|P(x)|$ 像缓和的山脉那样变化, 因而难于精确地确定最大位置, 在进行高分辨率的测量方面具有限制。此外, 在实际测量中, 叠加有随机噪声, 这使得更难于判断最大位置。在至少在 $-\pi \leq \phi < +\pi$ 的范围内相位移量 ϕ 是已知的情况下, 在满足 $\angle P(x) = \phi$ 以及幅值 $|P(x)|$ 的条件下, 可以确定距离 d 。不过, 相位 $\angle P(x)$ 急剧地改变, 并在幅值 $|P(x)|$ 的最大值附近和多个位移 Δx 对应, 因而对于确定最大位置无济于事。

因此, 在图 1(a) 所示的实施例的雷达图像计算装置 10 中, 设置多个不同的中心频率 f_1, f_2 , 如图 1(b) 所示, 通过使用两个傅立叶变换装置 11 和 12, 获得两个雷达图像函数 $P_1(x)$ 和 $P_2(x)$, 并从其幅值和相位差获得距离 d , 如图 2 所示。

图 8 示意地表示利用这个实施例的距离测量设备 1 确定距离 d 的方法。该方法从步 s_0 开始。在步 s_1 , 频率控制器 7 设置电压控制的振荡器 2 的中心频率 f_0 和可变宽度 f_B , 从而使其振荡。在步 s_2 , 从天线 4 发送行波, 其信号源的频率 f 在 $f_0 \pm 1/2 \times f_B$ 的范围内变化。信号源的频率必须在足够长的时间间隔内保持稳定, 使得返回到天线 4 的反射波和行波干扰而形成驻波。不过, 和光速 c 相比, 距离 d 是短的, 因而所需的时间是短的。当频率控制器 7 以数字方式控制电压控制的

振荡器 2 的振荡频率时，信号源的频率阶跃地改变，以便充分满足用于产生驻波的时间条件。

在步 s3，功率检测器 6 检测相应于输入到天线 4 的驻波的幅值的功率 $p(f,0)$ 。在从中心频率 f_0 到 $\pm 1/2 \times f_{B0}$ 的范围内，反射系数 γ 和相位移量 ϕ 可被认为是常数。在步 s4，从检测的频率 $p(f,0)$ 中取出范围 $f_1 \pm 1/2 \times f_{B1}$ 和 $f_2 \pm 1/2 \times f_{B2}$ ，并使用傅立叶变换装置 11 和 12 通过傅立叶变换处理例如 FFT（快速傅立叶变换）变换成雷达图像函数 $P_1(x)$ 和 $P_2(x)$ 。由公式（13），获得下面的公式（14）和（15）。通过从频率控制器 7 对傅立叶变换装置 11 和 12 给予和信号源频率 f 相关的控制信号，借助于使用带通滤波器，或者根据频率变化的时间差选择两个频率范围。

$$P_1(x) = \gamma W (x - d) e^{j\phi} e^{-j \frac{4\pi f_1}{c} (x-d)} \quad \dots (14)$$

$$P_2(x) = \gamma W (x - d) e^{j\phi} e^{-j \frac{4\pi f_2}{c} (x-d)} \quad \dots (15)$$

图 2(a) 表示由公式（14）和（15）表示的雷达图像函数 $P_1(x)$ 和 $P_2(x)$ 。两个雷达图像函数的幅值是相同的。根据相应于驻波的函数的形状，可以认为，在目标所在的位置幅值具有最小值。在图 2(a) 和图 2(c) 中，当 $f_{B1} = f_{B2} = f_B, f_1/f_{B1} = 30, f_2/f_{B2} = 32$ 时，用点划线和两点划线表示相位 θ_1 和 θ_2 的改变，用实线表示相位差 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ 的改变。在包括 $\Delta x = 0$ 的 $x = d$ 的多个位置，相位差 $\Delta\theta$ 似乎是 0 而经过零。不过，一般地说，相位差 $\Delta\theta = 0$ 表示这样一个相位差，其是 2π 的整数倍。因此，获得下式（16）：

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta_1 - \theta_2 = \angle P_1(x) - \angle P_2(x) \\ &= \frac{4\pi}{c} \times (x - d) \times (f_2 - f_1) \\ &= 2\pi N \quad (N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \dots (16) \end{aligned}$$

在公式（16）中 $\Delta\theta = 0$ 的情况下，导出以下的公式（17）：

$$x = d + N \frac{c}{2(f_2 - f_1)} \quad \dots (17)$$

由公式（17）得知，以 $x = d$ 为中心，对于每个 $c/(2(f_2 - f_1))$ ，具有

一个相位匹配点。在这些匹配点当中，满足由图 2(a)表示的雷达图像函数的幅值成为最大值的条件的点给出到目标 5 的距离 d 。在两个雷达图像函数 $P1(x)$ 和 $P2(x)$ 之间的相位差 $\Delta\theta$ 在 $x=d$ 附近成为一个一次函数，因而使得能够以高的精度确定 $\Delta\theta = 0$ 的点。即使当存在随机噪声时，相位差的过零点也是一个在雷达图像函数的幅值的极值附近的唯一的点。因此，相位差受随机噪声的影响极小，可以正确地确定相位的匹配点。

在图 8 的步 s5，确定到目标 5 的距离 d ，目标 5 位于这样一个位置，在此位置雷达图像函数的幅值 $|P1(x)|$ 或 $|P2(x)|$ 为最大，在两个雷达图像函数 $P1(x)$ 和 $P2(x)$ 之间的相位差 $\Delta\theta$ 是 0。在步 s6，程序结束。在这个实施例中，从普通的功率信号中取出两个中心频率 $f1, f2$ 的功率信号。不过，所述功率信号也可以通过借助于改变对于每个中心频率 $f1, f2$ 的信号源的频率，分割用于检测驻波的定时来检测。

图 9 示意地表示一种状态，其中使用这个实施例的距离测量设备 1 以非接触方式测量到穿着衣服 30 的人体 31 的距离。电气绝缘的衣服 30 使得能够通过电磁波，从而被人体 31 的表面反射，借以形成驻波。在这个实施例中，根据驻波可以高精度地检测距离。即，借助于正确地反射在衣服 30 和人体 31 的皮肤表面之间的距离来测量距离。在多个点测量到人体 31 的距离的情况下，可以测量尺寸。例如，即使依赖光学测量试图以非接触的方式测量到穿着衣服 30 的人体 31 的距离，也可以只测量衣服 30 的表面形状。

为了测量一个窄的部分，例如人体 31 的一个特定部分，可以增加信号源的频率。认为可被测量的区域的尺寸是电磁波波长的数量级。当人体 31 是被测对象时，在 30 GHz 下波长成为 1 cm。因此，可以使用大约 30 GHz 到大约 60 GHz 的频率。这个距离是短的，因而，甚至能够利用非常小的输出进行测量。

图 9 所示的测量即使在衣服 30 的下方隐藏着导电材料 32 时也能够进行检测。在扫描用于检测的电磁波的情况下，可以形成材料 2 的图像。

距离测量设备 1 甚至能够同时测量多个目标, 如图 3 所示。对于图 3 所示的雷达图像函数的幅值的多个峰值, 可以用高的分辨率确定基于相位差的距离。所述距离可以使用一个作为基准的目标, 利用任何其它方法被预先测量, 或者可以在以后测量, 借以用高的精度根据到作为基准的目标的距离测量到作为要被测量的对象的距离。

本实施例的距离测量设备 1 还可以被用作在日本专利申请 No.2001-237280 中提出的雷达装置。此外, 可以用高的精度实现用于测量距离的车载检测器和路旁检测器, 以便实现智能交通系统(ITS)。这种设备还可以用于水准仪、船只的靠泊仪器、飞机的高度计和塌方测量仪器, 它们以高的精度实现绝对值测量。

本发明的构思不仅能够应用于使用空间作为传播媒介的电磁波, 而且也适用于例如使用空气作为传播媒介的声波。声波的速度根据温度而改变。不过, 借助于同时测量作为基准的目标, 即使声波的速度未知, 也能正确地测量到对象的距离。在液体例如水或者在固体例如土壤中, 可以利用液体或固体作为传播介质。在传播介质的边界例如在液体表面或者在地面上, 可以利用在表面波上产生的驻波测量距离。此外, 当使用短的波长例如光的波动时, 不通过使用电磁波的波动产生驻波, 而使用幅值变化的波动产生驻波, 并用于测量距离。

不脱离本发明的构思或基本特征, 本发明可以用其它特定的形式实施。因此, 应当认为本实施例在所有方面都是说明性的而非限制性的, 本发明的范围由所附权利要求限定而不由上面的说明限定, 因此, 在权利要求的等效物的意义和范围内的所有的改变都应当包括在权利要求的范围内。

工业可应用性

按照上述的本发明, 在驻波产生步骤中, 在改变频率的同时在基准位置和要被测量的对象周围的传播介质中产生从基准位置向要被测量的对象行进的行波, 并使产生的行波和要被测量的对象反射的波相干扰, 借以产生驻波。因此, 相应于尺子的测量仪器不必和要被测量的对象接触, 即使在所述对象正在自由运动时, 也能测量距离。驻波

在驻波检测步骤中被检测，并在雷达图像计算步骤中根据多个不同的中心频率由检测的驻波计算多个雷达图像函数，在所述雷达图像函数中，一个变量是从基准位置到通过要被测量的对象的假想的直线轴线上的一点的距离。当在中心频率当中的差和中心频率的绝对值相比为小时，要被测量的对象的反射同样地影响计算的雷达图像函数。在距离确定步骤中，确定这样一个距离作为从基准位置到要被测量的对象的距离，在此距离，在雷达图像计算步骤中计算的多个雷达图像函数当中的相位差和任何雷达图像函数的幅值满足预定的条件。在所述相位差中，消除了由于要被测量的对象的反射而引起的相位移的影响。此外，相位差变化的周期大于雷达图像函数的相位的变化周期。因此，可以用高的分辨率由相位差确定这样一个距离，在此距离雷达图像函数的幅值满足预定条件。

此外，按照本发明，同时测量要测量其距离的要被测量的对象和要作为所述测量的基准位置的要被测量的对象，并且能够用高的分辨率确定到所述对象的距离的相对差值。到作为测量距离的基准位置的对象的距离被预先或者以后进行测量，根据这个距离，以非接触的方式正确地确定到要被测量其距离的对象的绝对距离。

此外，按照本发明，行波产生装置在改变频率的同时在基准位置和要被测量的对象周围的传播介质中产生从基准位置向要被测量的对象行进的行波，并借助于所述行波和由要被测量的对象反射的波相干扰，从而在所述传播介质中产生驻波。驻波检测装置检测在所述传播介质中产生的驻波。因此，相应于尺子的测量仪器不和要被测量的对象接触，即使在所述对象正在自由运动时，也能测量距离。雷达图像计算装置根据多个不同的中心频率由驻波检测装置检测的驻波计算多个雷达图像函数，在所述雷达图像函数中，一个变量是从基准位置到通过要被测量的对象的假想的直线轴线上的一点的距离。当在中心频率当中的差和中心频率的绝对值相比为小时，要被测量的对象的反射同样地影响计算的雷达图像函数。距离确定装置确定这样一个距离作为从基准位置到要被测量的对象的距离，在此距离，由雷达图像计算

装置计算的多个雷达图像函数当中的相位差和任何雷达图像函数的幅值满足预定的条件。在所述相位差中，消除了由于要被测量的对象的反射而引起的相位移的影响。此外，相位差变化的周期大于雷达图像函数的相位的变化周期。因此，可以用高的分辨率由相位差确定这样一个距离，在此距离雷达图像函数的幅值满足预定条件。

此外，按照本发明，雷达图像计算装置根据傅立叶变换处理计算多个雷达图像函数，因而，可以由实时信号计算作为频率间隔的复变函数的雷达图像函数，其包括由要被测量的对象引起的反射的影响，其作为幅值的反射系数和相位移数量。距离确定装置确定这样一个距离作为满足预定条件的距离，在此距离，在至少两个雷达图像函数之间的相位差是0，或者是 π 的偶数倍的弧度值，并且至少任何一个雷达图像函数的幅值为极值。在相位差被认为在以 2π 为周期的 $\pm\pi$ 的范围内，可以根据相位差的过零位置确定所述距离。

此外，按照本发明，雷达图像计算装置通过对相应于驻波的信号进行傅立叶变换处理，计算多个雷达图像函数，其中通过利用预定的窗口函数对于多个不同的中心频率具有一个可变的公共宽度。用于改变由行波计算装置产生的行波的频率的范围是有限的，在进行傅立叶变换处理时所述频率范围被窗口函数挤压，使得容易进行傅立叶变换处理。

此外，按照本发明，行波产生装置包括一个能够控制振荡频率和产生高频信号的振荡器，一个用于在预定范围内周期地改变振荡器的振荡频率的控制器，以及一个用于从所述振荡器向作为传播介质的空间发送作为电磁行波的高频信号的天线。因此，使得能够借助于利用无处不在的空间作为传播介质，以非接触的方式测量距离。不反射电磁波的材料被从要被测量的对象中排除。因此，使得能够测量到要被测量的对象例如被隐蔽的材料以及穿着衣服的人体的距离。所述驻波检测装置借助于利用用于发送电磁波的天线检测驻波，因此，能够进行搜索要被测量的对象，并和现有的雷达那样测量到所述对象的距离。

图1

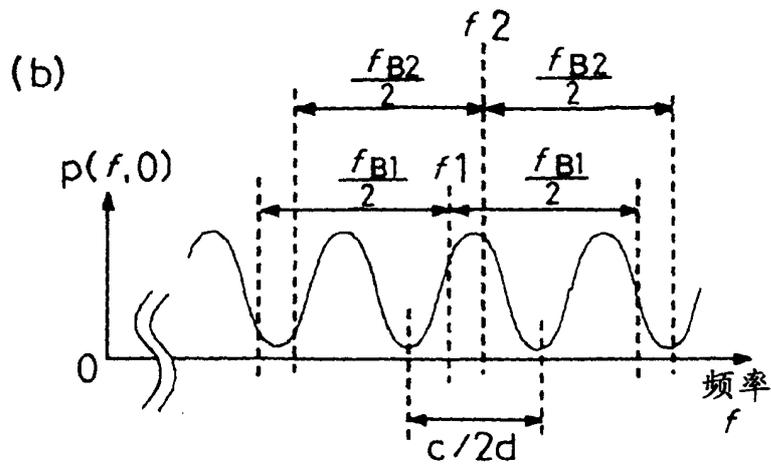
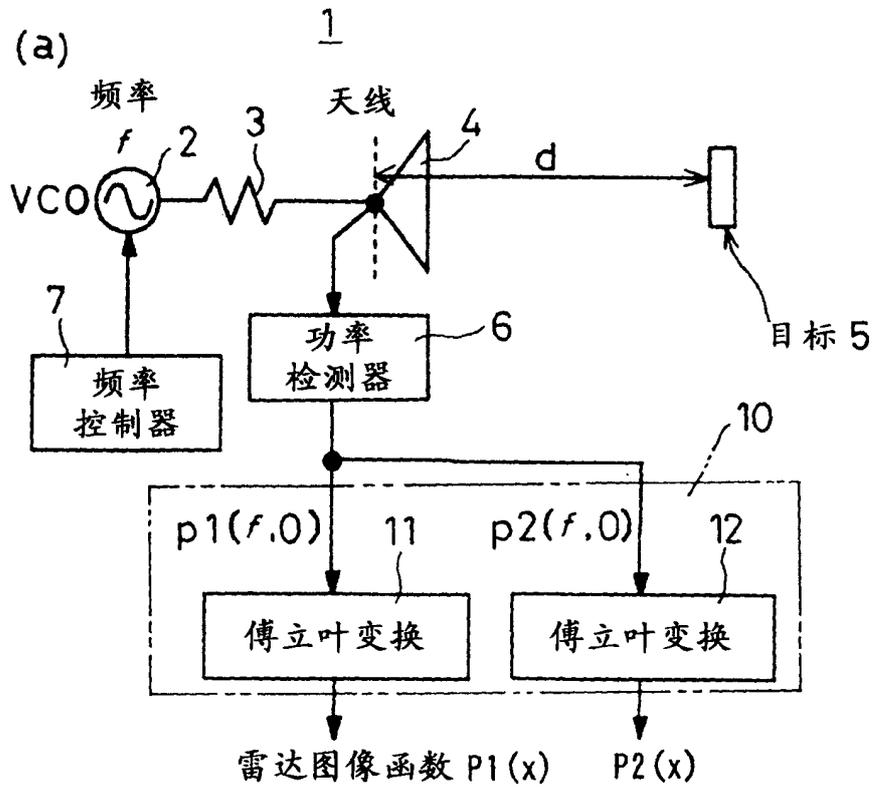


图2

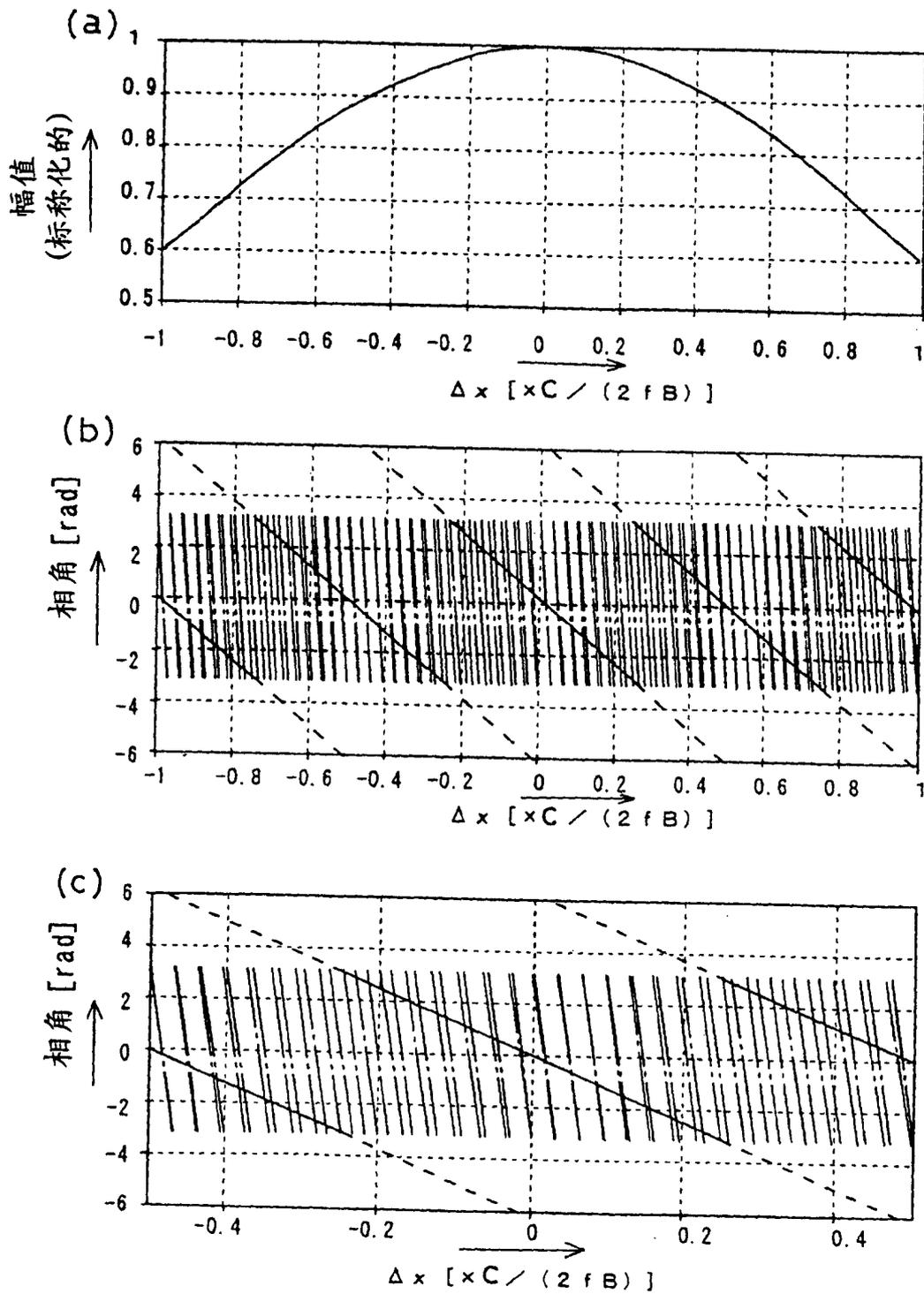


图3

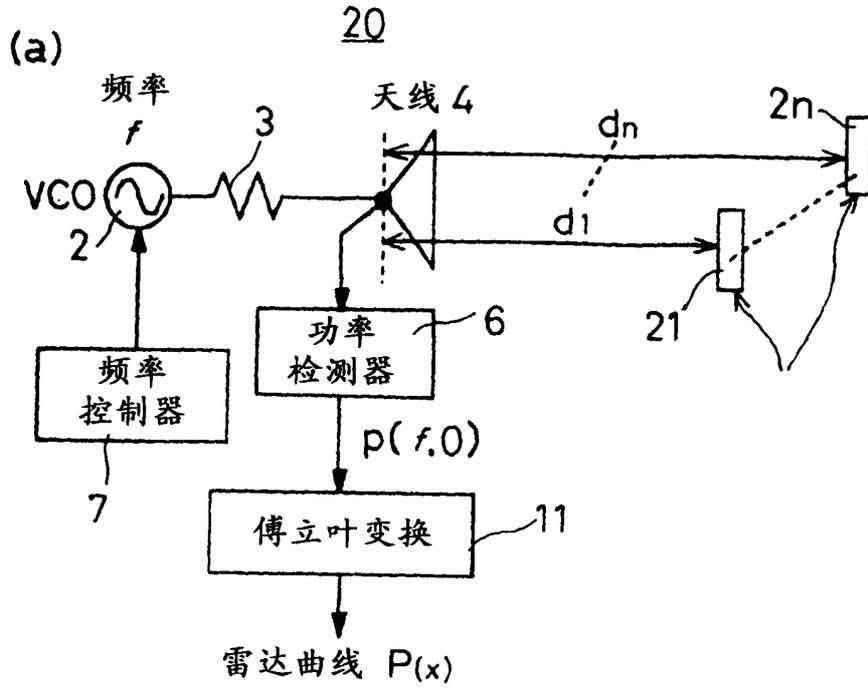


图4

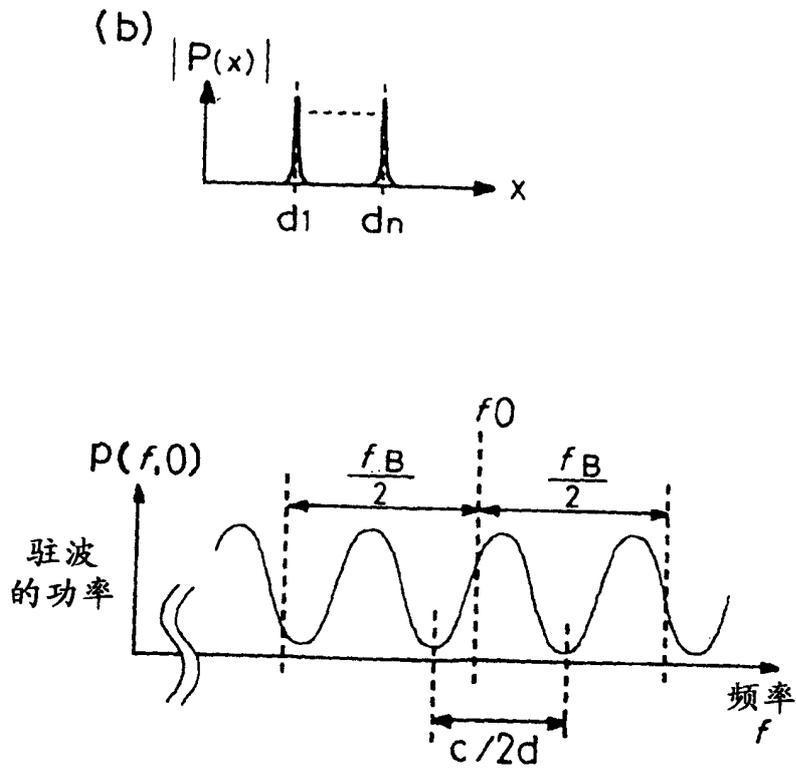


图5

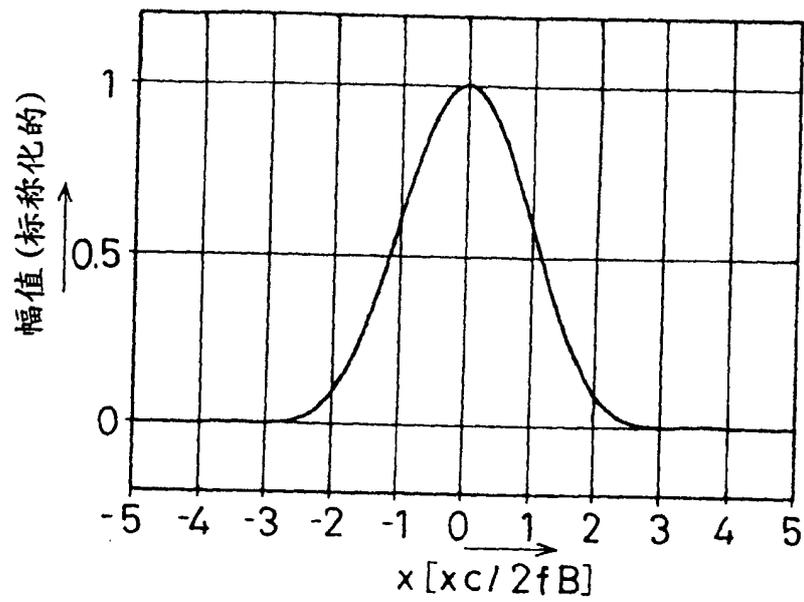


图6

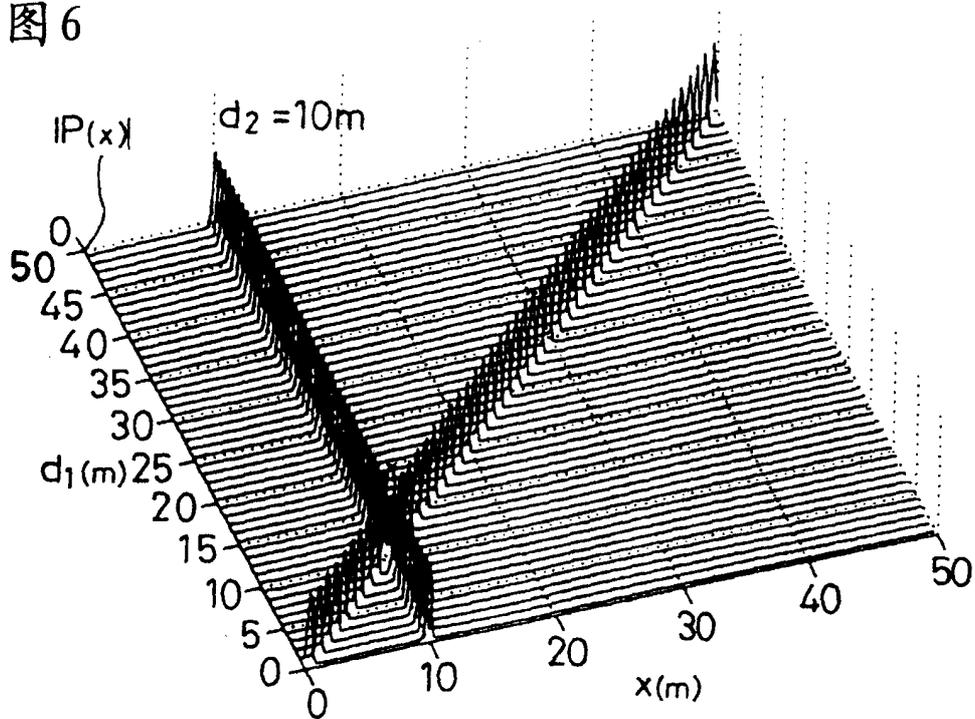


图7

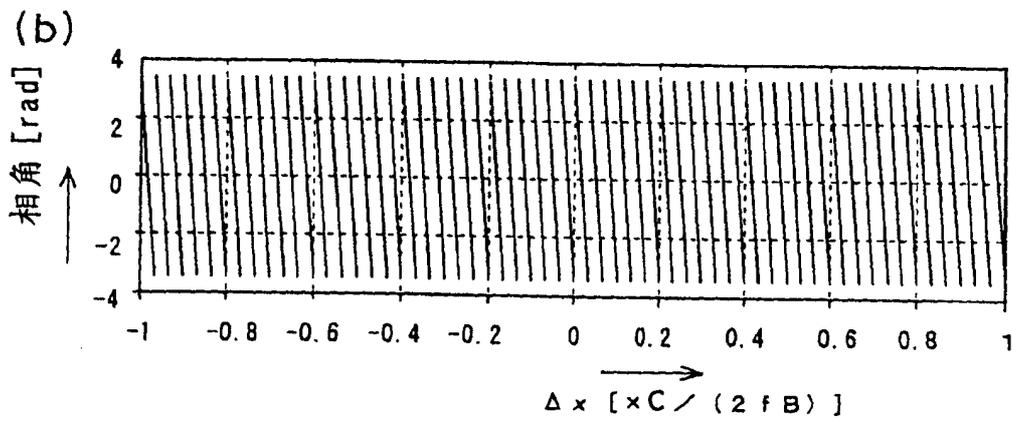
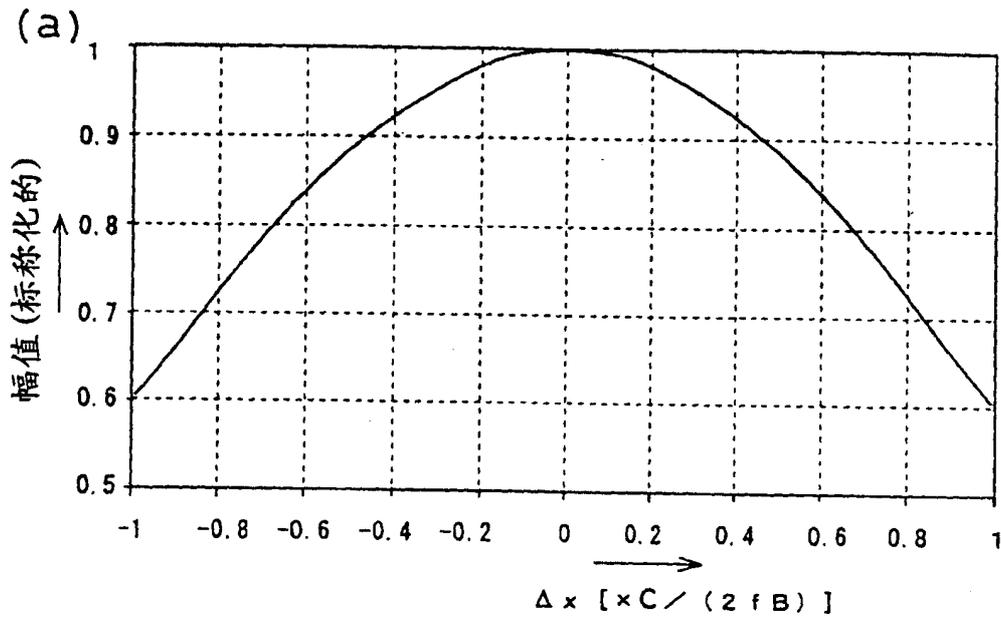


图8

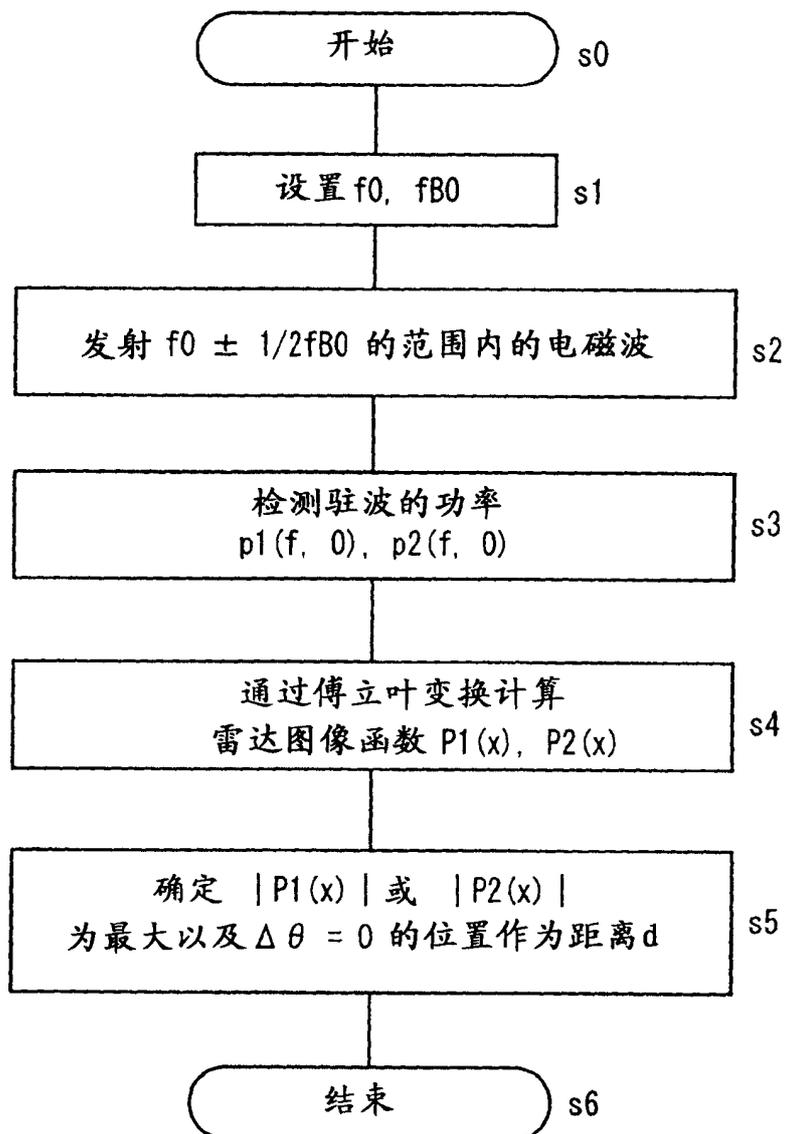


图9

