

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01S 13/524 (2006.01)

G01W 1/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310124525.8

[45] 授权公告日 2006 年 9 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1273840C

[22] 申请日 1998.12.22

[21] 申请号 200310124525.8

分案原申请号 98126008.X

[30] 优先权

[32] 1997.12.22 [33] JP [31] 353422/97

[71] 专利权人 三菱电机株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 若山俊夫

审查员 邓学欣

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 叶恺东

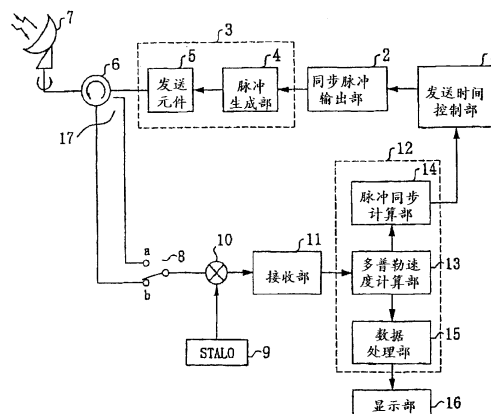
权利要求书 1 页 说明书 34 页 附图 15 页

[54] 发明名称

气象雷达装置

[57] 摘要

一种气象雷达装置，具有产生起动脉冲的起动脉冲产生部，对目标物发射由响应在该起动脉冲产生部产生的起动脉冲而产生的多个脉冲构成的发送脉冲信号，根据从该目标物反射的接收脉冲信号，算出上述目标物的多普勒速度，其特征在于备有：将上述发送脉冲信号的一部分从接收部取出的定向耦合器；根据由该定向耦合器取出的发送脉冲信号，算出上述发送脉冲信号与上述起动脉冲之间的脉冲同步的偏移，根据该脉冲同步的偏移，检测上述接收部中的上述接收脉冲信号的取样时间的脉冲同步检测部；以及根据由该脉冲同步检测部检测到的取样时间，控制上述接收部的取样时间的时间控制装置。



1. 一种气象雷达装置，具有：

产生起动脉冲的起动脉冲产生部，

对目标物发射由响应在该起动脉冲产生部产生的起动脉冲而产生的多个脉冲构成的发送脉冲信号的装置，

根据从该目标物反射的接收脉冲信号，算出上述目标物的多普勒速度的装置，和

将上述发送脉冲信号的一部分从接收部取出的定向耦合器；

其特征在于备有：根据由上述定向耦合器取出的发送脉冲信号，算出上述发送脉冲信号与上述起动脉冲之间的脉冲同步的偏移，根据该脉冲同步的偏移，检测上述接收部中的上述接收脉冲信号的取样时间的脉冲同步检测部；以及

根据由该脉冲同步检测部检测到的取样时间，控制上述接收部的取样时间的时间控制装置。

气象雷达装置

5 本申请是申请号为 9812608.X、申请为 1998 年 12 月 22 日的母案申请的分案申请，该母案的在先申请为 JP97-353422，在先申请日为 1997 年 12 月 22 日。

技术领域

本发明涉及用于观测云、雨、雾的形态等所谓的气象现象的气象雷达装置。

10 背景技术

近来来，作为观测云、雨、雾的形态等气象现象的方法，能在时间、空间上密切地观测风区的多普勒雷达装置的利用已有进展。

一般来说，气象观测用的多普勒雷达装置（以下称气象雷达装置）对作为观测对象的云、雨、雾等目标物发射由多个脉冲构成的脉冲电波（以下称发送脉冲信号），根据多普勒效应，从能从目标物反射后返回的脉冲电波（以下称接收脉冲信号）测定接收脉冲之间的多普勒相位差，根据该多普勒相位差，算出目标物的多普勒速度。作为算出目标物的多普勒速度的方法，有将被每个脉冲反射的接收脉冲信号作为试样，对该时间序列进行 FFT 变换，求频率分布的方式；以及根据两个脉冲的相位变化，求接收脉冲信号的平均相位差的脉冲对方式等。

另外，在这种气象雷达装置的发送机中，根据制造方法的难易程度、低价格化等的要求，例如采用使用了磁控发送管（自动振荡型发送管）的磁控管发送机。

25 例如，在特开平 3-54495 号公报中记载了在发送机中使用磁控管的 MTI 雷达装置，通过定向耦合器 2，取出来自磁控管 1 的发送信号的一部分，生成作为相位检波器 1 至 4 或 11、12 进行相位检波时的基准的相位引入信号，根据该相位引入信号，对由天线 4 接收的接收信号进行相位检波，获得稳定性好、精度高的相位检波输出。

30 一般来说，使用磁控管等的自激振荡型发送机（以下将磁控管发送机作为一例进行说明）的现有的多普勒雷达装置采用的方式是：根据该磁控管频率的不稳定性，产生各种多普勒速度的计算误差，根据

该磁控管频率特性的不稳定性,修正多普勒速度的测量误差等各种方式。在上述特开平 3-54495 号公报中记载的雷达装置中,为了根据磁控管频率的不稳定性,修正多普勒速度的测量误差原因之一的每个发送脉冲(发送脉冲之间)的初始相位的离散,防止观测精度的劣化,所以根据从磁控管输出的发送脉冲,对每个发送脉冲生成相位引入信号,根据相位引入信号进行接收脉冲信号的相位检波处理。

另外,与采用这样的模拟方式进行的相位修正方式(以下称模拟锁相方式)不同,也有的用 A/D 变换后的数字信号,同样进行接收脉冲的相位修正。例如,在“The RONSARD Radars:A Versatile C-band Dual Doppler Facility”IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE ELECTRONICS, VOL. GE-17, NO. 4, OCTOBER 1979 第 283 页左栏的 B. Amplitude and Phase Memory 项目中记载着用 A/D 变换后的数字信号,按数字方式进行接收信号的相位修正(以下称数字锁相方式)。采用数字锁相方式的气象雷达装置不需要象模拟方式那样对从 COHO (Coherent Oscillator) 输出的信号直接进行相位调整,而能按数字方式进行相位修正,与模拟方式相比,能获得足够的相位修正精度。

如果采用使用了这些方式的雷达装置,即使将频率特性极不稳定的磁控管发送机用于发送部,也能对每个接收脉冲设定接收脉冲信号的相位测定基准,能防止由每个发送脉冲的初始相位的离散产生的多普勒速度的观测精度的劣化。

可是,在采用上述接收方式的现有的雷达装置(包括气象雷达装置)中,能防止由每个发送脉冲的初始相位的离散产生的多普勒速度的观测精度的劣化的装置却不能根据上述频率特性的不稳定性防止(1)发送脉冲的输出时间偏移及(2)由发送波形采样时的跳动等产生的多普勒速度的观测精度的劣化,例如即使修正初始相位的离散,观测到目标物的多普勒速度,也不能仅此实现以磁控管发送机的频率特性为依据的防止多普勒速度的观测精度的劣化的高精度的多普勒速度的观测。

以下,分别用图 15 及图 16 说明由发送脉冲的输出时间的偏移产生的多普勒速度的观测精度的劣化和由发送波形采样时的跳动等产生的多普勒速度的观测精度的劣化。图 15 是表示从某磁控管发送机输

出的发送脉冲和主触发脉冲的输出关系的说明图，图 16 是表示图 15 所示的各发送脉冲的特性的脉冲特性图。

另外，图 15 所示的第一及第二发送脉冲表示由多个脉冲构成的发送脉冲信号的任意两个发送脉冲与主触发脉冲的输出关系，所谓主触发脉冲是成为取得发送工作和接收工作的时间同步用的基准的同步信号，是规定对观测对象物发射的发送脉冲信号的发送重复频率的信号。

如果发送机的频率特性稳定，则从发送天线对观测对象物发射的发送脉冲信号的发送脉冲周期对应于发送重复频率是一定的，但在使用磁控管发送机这样的自激振荡型的发送机的雷达装置的情况下，发送机的频率特性相当不稳定，发送脉冲信号各发送脉冲与作为同步信号的主触发脉冲的输出时间在时间上呈前后偏移的输出时间从发送机输出。这样的发送工作是根据输入到发送机的触发脉冲信号的触发脉冲周期即使对应于发送重复频率被设定为一定也会产生的发送机的频率不稳定性进行的工作，主触发脉冲和发送脉冲的输出时间的关系如图 15 所示（在图 15 中，第一发送脉冲与主触发脉冲的输出时间同步，但第二发送脉冲与主触发脉冲的输出时间在时间上以偏移的时间输出）。另外，发送脉冲信号由多个脉冲构成，这样频率特性不稳定的例如从磁控管发送机输出的发送脉冲信号包含与主触发脉冲的输出时间在时间上前后偏移了的发送脉冲，结果对观测对象物发射总体上具有不规则的发送脉冲周期的发送脉冲信号。

另外，如上所述，从观测对象物反射后返回的接收脉冲信号对应于作为同步信号的主触发脉冲的输出时间，成为由 A/D 变换器取得的试样，而由该 A/D 变换器进行的接收脉冲的取样位置之所以在各接收脉冲中呈彼此相同的位置，是因为发送脉冲信号的发送时间与主触发脉冲的输出时间同步地输出发送脉冲信号，如上所述，关系与主触发脉冲非同步、即发送脉冲的输出时间与主触发脉冲的输出时间在时间上偏移的与发送脉冲信号对应的接收脉冲，各接收脉冲的取样位置成为各接收脉冲之间互相偏移的位置，各接收脉冲的取样位置不同。

多普勒速度的测量是在该取样位置测定的接收脉冲的多普勒相位差，即根据接收脉冲之间的多普勒相位差测量的多普勒速度，如上所述，在由于发送时间的偏移致使接收脉冲的取样位置偏移的情况下，

根据在该相互偏移的取样位置分别测定的各多普勒相位差，能观测观测对象物的多普勒速度。例如，在与图 15 所示的第一及第二发送脉冲对应的接收脉冲（图中未示出）中，在第一接收脉冲上升部分的 a 点位置、在第二接收脉冲下降的 b 点位置分别测定多普勒相位（假定在主触发脉冲上升的时间取样）。

其次，说明图 16 所示的从磁控管发送机输出的发送脉冲信号的脉冲特性，根据该发送脉冲信号的脉冲特性，详细说明多普勒速度的观测精度的劣化。从磁控管发送机输出的发送脉冲信号的脉冲特性由于其频率特性的不稳定性，例如有如图 16 所示的振幅与时间的关系特性及相位与时间的关系特性。在图 16 中，上图是振幅特性图，下图是相位特性图，另外横轴在上下两特性图中都是时间轴。从磁控管发送机输出的发送脉冲内的相位如图 16 的下图中的相位特性图所示，从脉冲上升开始到脉冲下降，相位的变化呈复杂的形式（相位的变化率不恒定）。

因此，例如即使根据从静止目标物反射后返回的接收脉冲信号，测量了该静止目标物的多普勒速度，但如果各接收脉冲的取样位置如图 15 所示互相错开，则各接收脉冲在互不相同的取样位置分别测定多普勒相位，根据在该互相错开的取样位置测定的接收脉冲的多普勒相位差，测量静止目标物的多普勒速度。

例如，假设与图 15 所示的发送脉冲对应的接收脉冲是从静止目标物反射后返回的脉冲，在第一接收脉冲的相位测定位置是图 16 所示的脉冲上升部分（振幅特性图中的左侧箭头所示的位置）被取样、第二接收脉冲的相位测定位置是图 16 所示的脉冲上升部分（振幅特性图中的右侧箭头所示的位置）被取样的情况下，实际上多普勒速度为零的观测对象物如图 16 下图中的相位特性图所示，断定为有多普勒相位差 T_i ，观测到该观测对象物以相当于多普勒相位差 T_i 的多普勒速度移动。

一般在利用脉冲对等方法计算观测对象物的多普勒速度的情况下，是根据从观测对象物反射的接收脉冲信号中的任意两个接收脉冲的多普勒相位差计算观测对象物的多普勒速度，可是如果这些接收脉冲的多普勒相位是在彼此相同的相位测定位置测定的，那么象建筑物这样的其本身不移动的观测对象物的多普勒速度不产生多普勒效应，

接收脉冲之间的多普勒相位差测得为零，多普勒速度被观测为零，但如上所述，从磁控管发送机输出的发送脉冲信号是在与主触发脉冲的输出时间偏移的发送时间输出的，如果在主触发脉冲的输出时间对与在这样的发送时间输出的发送脉冲信号对应的接收脉冲信号进行取样，则各接收脉冲的取样位置即相位测定位置成为接收脉冲之间互相错开的位置，从而观测到有错误的多普勒速度。

这样，在使用磁控管发送机的雷达装置中，由于磁控管的频率特性不稳定，从发送机输出的发送脉冲信号的发送时间与主触发脉冲的输出时间发生偏移，例如即使修正了发送脉冲信号的发送脉冲的初始相位离散，但如果上述的发送时间偏移，则发送脉冲内的相位变化，在测定各接收脉冲的多普勒相位时产生误差，多普勒速度的观测精度大幅度劣化。而且，将这样的由发送脉冲信号的发送时间的偏移造成的多普勒速度的观测误差与上述的由发送脉冲之间的初始相位的离散造成的误差相区别，这里将前者称为多普勒速度的偏差。另外，该发送脉冲的特性随发送机中使用的磁控管的不同而各不相同，对应于所使用的磁控管的形状、种类等的不同而有不同的脉冲特性。另外，在速调管等放大式发送机中，图 16 中的相位特性图所示的发送脉冲的相位不变化，从脉冲上升时间至下降时间相位是恒定的，在对应的接收脉冲信号的接收脉冲的相位测定位置即使产生离散，所测定的多普勒相位呈几乎相同的多普勒相位值，不容易产生上述这样的磁控管发送机的问题。

另外，基于图 16 所示的发送脉冲内的相位变化产生的作为多普勒速度的观测误差还有多普勒速度的随机误差。它与基于发送脉冲信号的发送时间的偏移产生的多普勒速度的观测误差不同，它是由接收脉冲信号在取样时的跳动产生的误差。这是由于 A/D 变换器的跳动，致使接收脉冲的取样时间从规定的取样位置偏移而产生的，例如是图 16 中的斜线部分所示的范围内的取样位置的偏移产生的误差。

因此，为了防止由磁控管发送机的频率特性的不稳定性引起的多普勒速度的观测精度的劣化而进行高精度的多普勒速度的观测，还必须考虑到上述的两种误差（偏差及随机误差），进行多普勒速度的观测，以便不产生由这样的观测误差造成多普勒速度的观测精度的劣化。

另外，在气象雷达装置中，有必要能容易地获得雨滴的反射，而且能通过两层观测某种程度远的雨云等，在多半情况下使用 C 频带（ $\lambda=5\text{cm}$ ）的波长，但在观测粒径达数十微米以下的细云粒、雾等的形态的情况下，必须使用比厘米波短的脉冲电波，例如使用 W 频带（ $\lambda=3\text{mm}$ ）、Ka 频带（ $\lambda=8.7\text{mm}$ ）等频带的脉冲电波，但在使用这种波长较短、高频脉冲电波观测目标物的多普勒速度的情况下，对目标物发射的脉冲电波的脉冲间隔、即各发送脉冲的周期根据与多普勒速度的返回（可测量的最大速度范围）、即信号的再现性的关系，必须设定得比 C 频带的周期短。

10 一般来说，工作频带越高，多普勒频率也越高，为了正确地掌握多普勒频率高的接收信号的内容，必须取得尽量多的接收信号的试样，但为了增加试样数，必须缩短发送脉冲周期（脉冲间隔），会产生多数反射波的影响增大的问题。即，如果利用发送脉冲间隔即发送脉冲周期较短的发送脉冲信号观测目标物的多普勒速度，则从目标物
15 以外反射的二次反射波、进而三次、四次反射波等多次反射波容易混入从目标物反射的接收脉冲信号中，必须根据受多次反射波的影响大的不良的接收脉冲信号算出目标物的多普勒速度。

这样，在使用磁控管发送机的现有的气象雷达装置中，具有发送机部分的制作比速调管等的放大式发送机容易、且便宜的优点，但这样的气象雷达装置的发送机的频率特性相当不稳定，除了发送脉冲的
20 初始相位的离散以外，产生以发送脉冲信号的发送时间的偏移及接收脉冲信号取样时的跳动为根源的多普勒速度的观测误差，存在目标物的多普勒速度的观测精度劣化的问题。

另外，在观测粒径达数十微米以下的细云粒、雾等的情况下，必须使用波长比厘米波短的例如 Ka 频带的脉冲电波，但这时必须根据与多普勒速度的返回等的关系，将发送脉冲信号的发送脉冲周期设定得比 C 频带的周期短很多，存在必须根据受多次反射波的影响大的不良的接收脉冲信号算出目标物的多普勒速度的问题。

发明内容

30 本发明就是为了解决上述课题而完成的，其目的在于防止由于发送机的频率特性不稳定产生的发送脉冲的发送时间的偏移造成的多普勒速度的观测精度的劣化或基于各发送脉冲内的相位变化的多普勒速

度的观测精度的劣化，获得一种能进行高精度观测的新的结构的气象雷达装置。

另一个目的在于获得一种即使在观测粒径达数十微米以下的细云粒、雾等形态的情况下，也能防止多次反射波对接收脉冲信号的影响，
5 能防止由多次反射波造成的观测精度的劣化的新的结构的气象雷达装置。

本发明的第一方面的一种气象雷达装置，其特征在于：具有发送部，对基准目标物发送由多个发送脉冲构成的发送脉冲信号；接收部，接收由上述基准目标物反射的脉冲信号；多普勒速度计算部，算出上
10 述基准目标物的多普勒速度；脉冲同步计算部，根据算出的基准目标物的多普勒速度，或上述接收部接收的上述发送脉冲的振幅波形之一，算出上述发送脉冲信号的发送时间的偏移，求出将该发送时间的偏移修正的发送时间修正信号；和发送时间控制部，根据上述修正信号，修正从上述发送部输出的发送脉冲的发送时间。

15 本发明的第二方面的上述多普勒速度计算部，从在上述接收部相位检波的接收脉冲，算出上述基准目标物的多普勒速度；上述脉冲同步计算部，根据上述基准目标物的多普勒速度，算出上述发送脉冲和在产生上述发送脉冲使用的触发脉冲之间的脉冲同步的偏移作为上述发送时间的偏移。

20 本发明的第三方面的气象雷达装置在上述接收脉冲信号的接收脉冲内的相位变化率比较平缓的相位测定位置算出上述目标物的多普勒速度。

本发明的第四方面的上述多普勒速度计算部根据上述接收部高速 A/D 变换处理的多个接收脉冲间的多普勒相位差，算出上述基准目标
25 物的多普勒速度；上述脉冲同步计算部，根据上述接收部高速 A/D 变换处理的发送脉冲的振幅波形，算出上述发送脉冲和在产生上述发送脉冲使用的触发脉冲之间的脉冲同步的偏移作为上述发送时间的偏移。

30 本发明的第五方面的气象雷达装置是一种对目标物发射由从发送部输出的多个脉冲构成的发送脉冲信号，根据从该目标物反射的接收脉冲信号，算出上述目标物的多普勒速度的气象雷达装置，在该装置中将基准目标的多普勒速度作为多普勒速度的校正值存在起来，用该

多普勒速度的校正值校正上述目标物的多普勒速度。

本发明的第六方面的气象雷达装置备有：输出多个脉冲的发送脉冲信号的发送部；对目标物发送上述发送脉冲信号，并接收来自上述目标物的反射的接收脉冲信号的收发信天线部；对由该收发信天线部接收的上述接收脉冲信号进行相位检波的接收部；根据由该接收部进行了相位检波的接收脉冲，算出上述目标物的多普勒速度的多普勒速度计算部；以及将由该多普勒速度计算部算出的基准目标的多普勒速度作为多普勒速度的校正值存在起来的多普勒速度校正部；根据该多普勒速度校正部中存在的上述多普勒速度的校正值，校正在上述多普勒速度计算部中算出的上述目标物的多普勒速度的装置。

本发明的第七方面的气象雷达装置的上述基准目标由设置在装置内部的延迟·反射装置构成。

本发明的第八方面的气象雷达装置用双脉冲构成上述发送脉冲信号。

本发明的第九方面的气象雷达装置是一种对目标物发射由从发送部输出的多个脉冲构成的发送脉冲信号，根据从该目标物反射的接收脉冲信号，算出上述目标物的多普勒速度的气象雷达装置，在该装置中设有：将上述发送脉冲信号的一部分取出后送给接收部的定向耦合器；根据由该定向耦合器取出的发送脉冲信号，算出上述发送脉冲信号的脉冲同步的偏移，根据该脉冲同步的偏移，检测上述接收部中的上述接收脉冲信号的取样时间的脉冲同步检测部；以及根据由该脉冲同步检测部检测到的取样时间，控制上述接收部的取样时间的时间控制装置。

本发明的第十方面的气象雷达装置用双脉冲构成上述发送脉冲信号。

本发明的第十一方面的气象雷达装置被安装在移动体中，能变更多普勒速度的观测位置。

附图说明：

图1是表示本发明的一实施例的气象雷达装置的结构框图。

图2是表示本发明的一实施例的气象观测状况的说明图。

图3是说明本发明的一实施例的多普勒速度的观测方式及计算方式用的多普勒速度测量说明图。

图 4 是表示本发明的一实施例的气象雷达装置的一系列工作的流程图。

图 5 是表示从本发明的一实施例的气象雷达装置的发送部输出的发送脉冲信号的脉冲特性曲线图。

5 图 6 是说明本发明的一实施例的多普勒速度的观测内容的说明图。

图 7 是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的结构框图。

图 8 是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的接收部的结构框图。

10 图 9 是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的结构框图。

图 10 是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的结构框图。

图 11 是说明图 10 所示的气象雷达装置的接收脉冲的取样时间用的时序图。

图 12 是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的结构框图。

15 图 13 是说明图 12 所示的气象雷达装置的接收脉冲的取样时间用的时序图。

图 14 是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的结构框图。

图 15 是表示从磁控管发送机输出的发送脉冲信号的发送脉冲和主触发脉冲的输出时间的说明图。

20 图 16 是表示图 15 中的各发送脉冲的脉冲特性曲线图。

具体实施方式

实施例 1

以下，用图 1 至图 6 说明本发明的一实施例。图 1 是表示本发明的一实施例的气象雷达装置的结构框图，在图 1 中，1 是发送时间控制部，它根据对应于云、雨、雾等观测对象物（以下称目标物）、观测条件等设定的本装置的发送频率及后文所述的发送脉冲信号的脉冲同步偏移，控制对目标物发射的发送脉冲信号的发送脉冲周期、即各发送脉冲的输出时间，2 是同步脉冲输出部，它由发送时间控制部 1 进行控制，分别输出将发送脉冲信号输出给发送部 3 用的多个预触发脉冲（以下称预触发脉冲）和由成为发送脉冲信号的发送脉冲周期、即重复发送频率的时间基准的多个主触发脉冲构成的同步脉冲信号（以下称主触发脉冲），4 是脉冲信号生成部，它构成发送部 3，根据

25

30

来自同步脉冲输出部 2 的各预触发脉冲,生成作为调制信号的脉冲信号,5 是发送部 3 的发送元件,它由磁控管等自激振荡型的发送管构成,以发送脉冲信号为单位分别输出利用从脉冲信号生成部 4 输出的脉冲状的调制信号进行了脉冲调制的高频发送脉冲。

5 主触发脉冲是在预触发脉冲输出后的一定时间间隔内输出的成为收发信工作的通用的时间基准信号,从发送部 3 输出的发送脉冲的输出时间如果与主触发脉冲的输出时间同步依次输出,则该发送脉冲的发送时间便与主触发脉冲的输出时间同步,如果按照与主触发脉冲的输出时间偏移了的输出时间输出发送脉冲,则该发送脉冲信号的发送
10 时间相对于主触发脉冲的输出时间有一脉冲同步偏移。而且,关于来自目标物的相对于具有这样的脉冲同步偏移的发送脉冲信号的接收脉冲信号,即使根据主触发脉冲的输出时间进行取样,各接收脉冲的取样位置由于具有该接收脉冲信号的脉冲同步的偏移,所以也会成为从规定的取样位置前后偏移了的取样位置。

15 另外,6 是循环器,它将从发送元件 5 输出的发送脉冲信号输出给收发信天线部 7,将通过收发信天线部 7 接收的脉冲信号输出给后文所述的接收部 11,7 是收发信天线部,其仰角、方位角方向可以旋转,用来将从发送元件 5 输出的由多个脉冲构成的发送脉冲信号以规定的射束宽度发射给目标物等,而且,接收从目标物等反射回来的由
20 多个脉冲构成的接收脉冲信号,8 是第一开关装置,它根据例如由发送时间控制部 1 等控制装置控制的收发信时间,进行其连续的切换,将由定向耦合器 17 取出的发送脉冲信号的功率的一部分即相位引入信号和通过收发信天线部 7 接收的接收脉冲信号分别按规定的时间输出给后文所述的接收部 11(在将发送脉冲信号发射给基准目标或目标
25 物时,连接 a 点,于是相位引入信号被输出给接收部 11,在接收从基准目标或目标物反射回来的接收脉冲信号时,连接 b 点,于是所接收的接收脉冲信号被输出给接收部 11),9 是输出规定频率的局部振荡信号的局部振荡器(以下称 STALO),10 是利用从 STALO9 输出的局部振荡信号,将基准脉冲信号或接收脉冲信号变换成中频 IF 信号的混
30 合器,11 是接收部,它对由混合器 10 变换为中频的相位引入信号或接收脉冲信号进行相位检波处理,输出视频信号。

另外,本实施例的气象雷达装置是从容易获得所希望的相位修正

精度的观点说明采用所谓的数字锁相方式的气象雷达装置之一例，作为本发明的特征，说明一边修正按锁相方式发送的发送脉冲信号的发送脉冲之间产生的初始相位的偏移，一边防止基于上述的发送脉冲信号的发送时间的偏移等的多普勒速度的观测精度的劣化，能进行精度更高的气象状况的观测的气象雷达装置。本发明也能用于例如采用模拟方式的相位修正方式的气象雷达装置中，但其详细说明从略。

另外，12 是多普勒速度处理部，它根据接收脉冲信号，算出目标物或基准目标的多普勒速度，根据该算出的多普勒速度等进行将目标物显示在显示部 16 上的处理等各种处理，13 是多普勒速度计算部，它根据从接收部 11 输出的接收视频信号的各接收脉冲的相位差，算出目标物或基准目标的多普勒速度，14 是脉冲同步计算部，它根据对基准目标测量的多普勒速度，算出发送脉冲信号相对于主触发脉冲的脉冲同步偏移、即发送时间的偏移，15 是数据处理部，它将由多普勒速度计算部 13 算出的目标物的多普勒速度等根据该目标物的大小、形状、种类等显示的监视器等的显示部 16 上，对数据进行处理，以便管理员等操作人员能识别·监视目标物及该目标物的多普勒速度等。

图 1 所示的本实施例的气象雷达装置的脉冲同步计算部 14 根据从基准目标反射的接收脉冲信号的接收脉冲的多普勒相位差，算出从发送部 3 输出的发送脉冲信号的脉冲同步的偏移，但作为本发明的气象雷达装置的脉冲同步的偏移的计算方式不限于本实施例中说明的方式，同样能采用后文所述的从发送脉冲的取样波形测量各发送脉冲的振幅波形，根据这些振幅波形的测量时间差，算出脉冲同步的偏移的方式等各种方式实施。而且，算出的发送脉冲信号的脉冲同步的偏移（以下称发送时间的偏移）通过发送时间修正信号反馈到发送时间控制部 1，发送时间控制部 1 根据从脉冲同步计算部 14 输出的发送时间修正信号的指示，对从同步脉冲输出部 2 输出的各预触发脉冲（预触发脉冲也是根据发送脉冲信号、由多个触发脉冲构成）的输出时间进行前后偏移调整。

从脉冲同步计算部 14 输出的发送时间修正信号是为了使从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送脉冲与主触发脉冲的输出时间同步地输出而指示修正预触发脉冲的输出时间的修正信号，根据从该脉冲同

步计算部 14 输出的发送时间修正信号，在时间上对从同步脉冲输出部 2 输出的各预触发脉冲的输出时间进行前后偏移调整，能根据发送部 3 的频率特性，修正从使用磁控管等自激振荡型发送管的发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间。另外，在后文所述的工作说明中将
5 详细说明发送时间的修正内容。

图 2 是本发明的气象雷达装置的气象观测状况的概略说明图，如图 2 所示，由从发送部 3 输出的多个脉冲构成的发送脉冲电波（以下称发送脉冲信号）以规定的射束宽度从收发信天线部 7 向作为观测对象物的云发射，由收发信天线部 7 接收从该云反射回来的由多个脉冲构成的反射波（以下称接收脉冲信号），根据该接收脉冲信号算出多
10 普勒速度。例如，图 2 所示的云如果向远离收发信天线部 7 的方向移动，则在接收脉冲之间产生远离方向（例如正方向）的多普勒效应，测定正方向的多普勒相位差，如果静止，则测得由多普勒效应产生的多普勒相位差为零，根据这样的多普勒相位差的测定，观测云的移动
15 形态等。

另外，目标物的多普勒速度的计算是根据所接收的接收脉冲信号的接收脉冲的多普勒相位差进行的，如果在接收脉冲信号中存在至少两个接收脉冲的话，从原理上说，能根据这些接收脉冲算出目标物的多普勒速度，但在本实施例的气象雷达装置中，如后文所述，考虑目
20 标物的性质和作为发送元件 5 使用的磁控管发送机的频率特性，如图 2 所示，将多个发送脉冲信号发射给目标物，将根据这许多接收脉冲信号分别算出的各多普勒速度的平均值作为目标物的多普勒速度进行测量。

对目标物发射的发送脉冲信号的数量在考虑了接收信号的 S/N
25 比、目标物的速度大小（云、雨、雾等目标物由云粒、雨粒等构成，内部状态不规则，变化复杂，多普勒速度随测定场所的不同而异）之后，将其设定为最佳数量即可，因此能实现精度更高的目标物的多普勒速度的观测。

这里，用图 3 简单地说明本实施例的多普勒速度的测量方式和多
30 普勒速度的计算原理。另外，如上所述，本实施例的气象雷达装置进行的发送脉冲信号的脉冲同步的偏移的计算是根据对基准目标测量的多普勒速度进行的。

另外，在本实施例中，设想将粒径在数十微米以下的细的云粒、雾等作为对象，测量多普勒速度的情况，采用被称为双脉冲观测方式的观测方式进行多普勒速度的测量。所谓双脉冲观测方式是利用脉冲对法计算多普勒速度的方式之一，如图 3(a) 所示，它是利用由根据发送频率设定了规定脉冲间隔的两个发送脉冲 (T_1 、 T_2) 构成的发送脉冲信号，观测目标物的多普勒速度的方式。如果采用该双脉冲观测方式，则如后文所述，能大幅度降低由多次反射波的影响引起的测量精度的劣化。

如图 3(a) 所示，如果是由双脉冲构成一个发送脉冲信号，那么就能将发送脉冲之间 (T_1 、 T_2) 的脉冲周期（在双脉冲的情况下也称为脉冲间隔）设定得短些，但通过将各发送脉冲信号的时间间隔设定得宽些，就能进行受多次反射波的影响小的精度高的多普勒速度的测量。例如，从海面等成为杂乱回波的原因的目标物以外反射的第 N 个接收脉冲信号被混入从与 $N+1$ 、 $N+2$... 连续的目标物反射的接收脉冲信号中而被接收，能抑制不能准确地计算从目标物反射的接收脉冲的多普勒相位的现象。如上所述，在用脉冲电波进行多普勒速度等的测量的气象雷达装置中，可测量的最大多普勒速度及接收脉冲信号的相关时间与发送机的发送频率成反比，发送频率越高的气象雷达装置就必须将发送脉冲信号的脉冲间隔即脉冲周期设定得越短。

另外，图 3(a) 是表示本实施例的气象雷达装置的发送脉冲信号 (T_1 、 T_2) 和对应于该发送脉冲信号从目标物反射回来的接收脉冲信号 (R_1 、 R_2) 之间的收发信关系的收发信时间的说明图，图 3(b) 是表示对通过收发信天线部 7 接收的接收脉冲信号进行了相位检波处理的视频信号的视频说明图，图 3(c) 是表示图 3(b) 所示的视频信号 (I 信道信号和 Q 信道信号) 和多普勒相位的关系的多普勒相位说明图。如图 3(b) 及图 3(c) 所示，被视频化了的接收脉冲信号由 I 信道和 Q 信道的信号构成。

一般来说，目标物或后文所述的基准目标等的多普勒速度 V_d 是根据以例如从目标物反射回来的接收脉冲信号的接收脉冲之间产生的多普勒效应为依据的相位差计算的，可用下式求得。

$$V_d = f_d \cdot \lambda / 2 \quad \dots \dots (1)$$

另外， f_d 是多普勒频率， λ 是发送电波的波长（以下称发送波长），

如果按照图 3(b)及图 3(c)中的内容说明多普勒频率 f_d , 则能用下式求得。另外, 发送波长是毫米波带、厘米波带等在气象雷达装置中使用的频带不同的波长。

$$f_d = (\phi_{i+1} - \phi_i) / 2\pi \cdot \Delta t \quad \dots \dots (2)$$

5 式中, ϕ_i 是第一个触发的接收脉冲 R1 的多普勒相位, ϕ_{i+1} 是第二个触发的接收脉冲 R2 的多普勒相位, Δt 是在接收脉冲 R1 和接收脉冲 R2 之间设的脉冲间隔, i 是虚数单位, 如果用下式 (3) 表示与第一个触发的接收脉冲 R1 对应的视频信号 v_i , 用下式 (4) 表示与第二个触发的接收脉冲 R2 对应的视频信号 v_{i+1} , 则根据图 3(c) 所示的 I
10 信道信号及 Q 信道信号的关系, 能由下式 (5)、(6) 分别求出各接收脉冲 R1、R2 的多普勒相位即 ϕ_i 、 ϕ_{i+1} 。

另外, 在式 (5) 及式 (6) 中, Arg 是表示复数值相位角的函数, 用式 (5) 及式 (6) 能分别求出 v_i 、 v_{i+1} 的相位角。

$$V_i = (I_i + jQ_i) \quad \dots \dots (3)$$

$$15 \quad V_{i+1} = (I_{i+1} + jQ_{i+1}) \quad \dots \dots (4)$$

$$\phi_i = \text{Arg}(v_i) \quad \dots \dots (5)$$

$$\phi_{i+1} = \text{Arg}(v_{i+1}) \quad \dots \dots (6)$$

这样, 为了求目标物的多普勒速度 vd , 首先对从目标物反射回来的接收脉冲信号求接收脉冲的相位差 (在本实施例中, 根据式 (3) 及式 (4) 所示的各多普勒相位, 求接收脉冲 R1 及接收脉冲 R2 的相位差), 其次根据该相位差求目标物的多普勒频率 fd (在本实施例中能由式 (2) 求得)。而且最后根据该多普勒频率 fd 求多普勒速度 vd (在本实施例中能由式 (1) 求得)。

其次说明本实施例的气象雷达装置的工作情况。

25 在本实施例中, 首先用图 1 至图 4 说明气象雷达装置的总体工作情况, 其次再用图 5 及图 6 详细地说明对目标物发射的发送脉冲信号的发送时间的修正工作。在本实施例的发送时间的修正工作中, 利用多普勒速度的观测原理, 根据对基准目标测定的基准目标的多普勒相位差, 算出从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移。

30 图 4 是本实施例的气象雷达装置的工作流程图, 该流程中有这样的步骤, 即根据从固定目标物或静止目标物反射回来的接收脉冲信号算出多普勒速度, 根据所算出的多普勒速度算出发送脉冲信号的脉冲

同步的偏移，再根据该脉冲同步的偏移修正使发射给目标物的发送脉冲信号的发送时间与主触发脉冲同步用的发送时间的步骤。如图 4 所示，本实施例的气象雷达装置根据发送脉冲的发送时间的偏移，调整发送脉冲信号的发送时间，除此之外还调整接收部 11 的取样时间等，

5 关于这些问题将在后面的实施例中详细说明。

本实施例的气象雷达装置首先在基准目标观测步骤 S1 中进行基准目标的多普勒速度的测量。另外，如上所述，目标表面上不摇动、不易产生多普勒频率的起伏的建筑物等作为基准目标是理想的，山的斜面等也可以作为基准目标利用。确切地说，如果对被树木复盖的山

10 的斜面这种容易产生摇动的对象物进行多普勒速度的多次测量，则所测得的各多普勒速度虽然零左右的测量值有离散，但这些离散是多普勒速度为零左右的离散，例如如果将多次测得的多普勒速度的平均值作为多普勒速度进行测量，则能减少多普勒频率的起伏，故能作为基准目标用。

15 这样通过将目标表面上不产生摇动的物体作为基准目标用，能获得不受设置场所、观测环境等限制的气象雷达装置。

零多普勒判断步骤 S2 是判断在基准目标观测步骤 S1 中测量的基准目标的多普勒速度是否为零的步骤，由多普勒速度计算部 13 计算基准目标的多普勒速度。基准目标本身是不移动的所谓的静止目标物，在从这样的静止目标物反射回来的接收脉冲信号中不产生多普勒效应，从原理上说，根据这样的接收脉冲信号接收脉冲的相位差求得的多普勒速度应测得为零。

20

而且，在该零多普勒判断步骤 S2 中，在多普勒速度被断定为零的情况下，从发送元件 5 输出的发送脉冲信号的发送时间与从同步脉冲输出部 2 输出的触发脉冲信号的输出时间同步，就是说发送时间被断定为无偏移，转移到应用观测步骤 S4 的工作，在多普勒速度被断定为零以外的情况下，从发送元件 5 输出的发送脉冲信号的发送时间与从同步脉冲输出部 2 输出的触发脉冲信号的输出时间不同步，就是说发送时间被断定为发生了偏移，转移到发送时间修正步骤 3 的工作。

25

30 发送时间修正步骤 S3 是这样一种步骤：根据在零多普勒判断步骤 S2 中测得的多普勒速度即基准目标的接收脉冲的相位差，算出发送时间的偏移，根据该发送时间的偏移，修正发送脉冲信号的发送时

间。在该步骤中，首先脉冲同步计算部 14 根据由多普勒速度计算部 13 算出的基准目标的多普勒速度，计算从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移，其次脉冲同步计算部 14 将根据基准目标的多普勒速度算出的发送时间的偏移所对应的发送时间修正信号供给发送时间控制部 1。

发送时间控制部 1 根据从脉冲同步计算部 14 输出的发送时间修正信号，对从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间进行修正，具体地说，通过使从同步脉冲输出部 2 输出的预触发脉冲的输出时间复位，控制从发送元件 5 输出的发送脉冲信号的发送时间，以便基准目标的多普勒速度能被测得为零。如上所述，由于根据主触发脉冲的输出时间，在与主触发脉冲的输出时间同步的取样时间内进行接收脉冲信号的取样，所以如果发送脉冲信号的发送时间与主触发脉冲的输出时间同步，则能使接收脉冲的取样位置在各接收脉冲中为同一位置，能防止基于发送元件 5 的频率特性产生的发送脉冲信号的发送时间的偏移造成的观测精度的劣化。

但是，在多普勒速度计算部 13 中算出的多普勒速度和在脉冲同步计算部 14 中算出的发送时间的偏移不一定呈线性关系，如果按照磁控发送管即发送元件 5 的频率特性，多普勒速度和发送时间的偏移多半呈非线性关系，在本实施例中，如图 4 所示，反复进行步骤 S1 至步骤 S3 的工作循环的最小处理（将在后文说明最小处理），使在发送时间修正步骤 S3 中算出的同步脉冲输出部 2 的复位量、即发送时间的修正量为最小。

就是说，根据对基准目标进行一次多普勒速度的观测算出的多普勒速度，修正发送脉冲信号的发送时间的偏移，即使利用该修正过的发送时间的发送脉冲信号，再次观测基准目标的多普勒速度，也不能算出基准目标的多普勒速度为零（偶然为零的情况除外），实际上通过反复进行图 4 所示的步骤 S1 至步骤 S3 的工作循环，直至基准目标的多普勒速度为零或作为零处理，修正基于发送元件 5 的频率特性的不稳定性的发送脉冲信号的脉冲同步的偏移。另外，关于最小化处理的具体运算方法（最小化方法），如后文所述，根据在发送部 3 中使用的发送元件的脉冲特性等，选择最佳的最小化方法，进行修正处理。

这样，通过反复进行由 S1 至 S3 的各步骤构成的工作循环，直至

测得基准目标的多普勒速度为零时为止，能防止基于发送元件 5 的频率特性产生的发送脉冲信号的发送时间的偏移。

然后，在零多普勒判断步骤 S2 中，在测得基准目标的多普勒速度为零的情况下，如上所述，转移到运用观测步骤 S4，利用修正过的发送时间的发送脉冲信号进行目标物的多普勒速度的测量。另外，在图 4 中，形成从运用观测步骤 S4 返回基准目标观测步骤 S1 的循环。这是由于下述原因而设的工作循环，即如果利用修正过的发送时间暂时进行目标物的多普勒速度的观测，则发送元件 5 的内部状态还会受热等的影响而变化，发送元件 5 的频率特性及脉冲输出特性也变得与最初的特性不同，在最初修正过的发送时间内有可能不能进行准确的多普勒速度的测量，在本实施例的气象雷达装置中，为了防止这样的问题的发生，在修正过的发送时间内进行了规定时间的目标物的多普勒速度的观测的情况下，再次返回基准目标观测步骤 S1，通过观测基准目标的多普勒速度，确认对现在的目标物发射的发送脉冲信号的发送时间是否再次偏移。

在此情况下，在再次进行的基准目标观测步骤 S1 中，也可以利用在前一个运用观测步骤 S4 中使用的修正过的发送时间的发送脉冲信号，观测基准目标的多普勒速度，还可以返回被修正的前一个一定周期的触发信号的输出时间，利用基于该输出时间的发送时间的发送脉冲信号，从最初观测基准目标的多普勒速度。

这样，在本实施例的气象雷达装置中，形成从运用观测步骤 S4 返回基准目标观测步骤 S1 的循环，在每一规定时间内进行以基准目标为依据的发送时间的修正工作，所以例如使本实施例的气象雷达装置长时间地工作，在进行气象观测的情况下，也能实现观测精度不劣化的高精度的气象观测。

其次，用图 5 及图 6 详细说明图 4 所示的发送时间修正步骤 S3 中的发送时间的修正工作。图 5(a)及图 5(b)是表示从本实施例的气象雷达装置向基准目标或目标物发射的发送脉冲信号的脉冲特性和发送时间的调整内容的脉冲特性说明图（上图是振幅特性曲线图，下图是相位特性曲线图），图 5(a)是第一个触发的发送脉冲 T1 的脉冲特性说明图，图 5(b)是继第一个触发的发送脉冲 T1 输出之后输出的第二个触发的发送脉冲 T2 的脉冲特性说明图。

本实施例的气象雷达装置用双脉冲进行气象状况的观测，所以从发送部 3 输出的发送脉冲信号由图 5(a)及图 5(b)所示的一对脉冲构成，如图 5(a)及图 5(b)所示，多次连续地向目标物或基准目标发射由第一个发送脉冲 T1 和第二个发送脉冲 T2 构成的一对发送脉冲信号。

如果是同一个磁控发送管，那么这许多发送脉冲信号各自的脉冲特性几乎是相同的，但如上所述，磁控管的内部状态随着该气象雷达装置的安装场所等的工作条件的不同而发生复杂的变化，在本实施例中，分别算出有关对应于这许多发送脉冲信号的多个接收脉冲信号的多普勒速度，利用这许多多普勒速度的平均值，求出目标物或基准目标的多普勒速度。

在图 5(a)及图 5(b)中，a 点表示根据本气象雷达装置的发送重复频率、即从同步脉冲输出部输出的触发信号的输出时间取样后的接收脉冲的取样位置，b 点表示通过图 4 所示的步骤 S1 至步骤 S3 中的发送时间的修正工作调整后的发送时间的接收脉冲的取样位置，在从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间未作任何调整的情况下，对应的接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置即各接收脉冲的相位测定位置（以下称取样位置）成为受到基于发送元件 5 的频率特性的脉冲上升误差（偏差）的影响而互相偏移了的位置（a 点）。

因此，即使根据这种（a 点）状态下的接收脉冲信号算出了基准目标的多普勒速度，各接收脉冲的取样位置变为图 5(a)及图 5(b)所示的在时间上前后互相错开的相位测定位置，现实的多普勒速度不仅不是零，而且能断定第一个触发的发送脉冲 T1 的相位值为 $Ia1$ ，第二个触发的发送脉冲 T2 的相位值为 $Ia2$ ，即在接收脉冲 R1、R2 之间有相位差（ $Ia1 - Ia2$ ），能断定基准目标有仅与该相位差（ $Ia1 - Ia2$ ）的部分相当的多普勒速度。

因此，在本实施例中，根据该基准目标的多普勒速度、即从基准目标反射回来的接收脉冲信号的接收脉冲的相位差（ $Ia1 - Ia2$ ），算出从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移量（预触发脉冲的偏置量），再通过该预触发脉冲的偏置，进行使发送时间的偏移为最小的发送脉冲信号的发送时间的修正的修正处理，从而调整得使发送脉冲周期与主触发脉冲的周期同步。进行过最小处理的、即调整了

发送时间后的接收脉冲信号的各接收脉冲 R1、R2 的取样位置分别变为图 5(a)及图 5(b)所示的 b 点的位置,能防止基于发送元件 5 的频率特性产生的发送脉冲信号的发送时间的偏移造成的多普勒速度的观测精度的劣化。

- 5 另外,如图 5(a)及图 5(b)的下图中的相位特性图所示,在发送部 3 中使用磁控管等自激振荡型的发送元件的情况下,由于接收脉冲的相位变化率大,所以在 a 点的取样位置进行了接收脉冲的取样时,A/D 变换部(在本实施例中省略了图示)的跳动的影响变大。因此,最好在相对于时间的变化(取样时间的偏移)来说,相位的变化较平缓的 b 点的取样位置进行接收脉冲的取样(如果在 b 点,即使产生由 A/D 变换部的跳动造成的取样位置的离散,多普勒相位的离散也较小)。因此,在本实施例的气象雷达装置中,在修正发送脉冲信号的发送时间的偏移时,还求出发送时间的偏移造成的取样跳动产生的影响最小的接收脉冲的取样位置,进行发送脉冲信号的发送时间的修正控制,以便在这样的取样位置进行各接收脉冲的取样。

- 20 基于该发送脉冲内的相位变化而产生的多普勒速度的误差是多普勒速度的每次测量中成为随机量的随机误差,在使用磁控管发送机这样的发送机测量目标物的多普勒速度的情况下,考虑基于上述的发送时间的偏移的偏差和基于发送脉冲内的相位变化的随机误差,如果不进行测量,则难以进行高精度的多普勒速度的测量,在本实施例的气象雷达装置中,还根据在多普勒速度计算部 13 中算出的基准目标的多普勒速度,算出该随机误差最小的接收脉冲的取样位置、即相位测定位置,进行发送脉冲信号的发送时间的修正。

- 25 下面的式(7)至(9)是求本实施例的气象雷达装置的脉冲同步计算部 14 中运算的预触发脉冲的偏置量用的计算式,式(7)表示测量的各多普勒速度的平均值即偏差的计算式,式(8)表示测量的各多普勒速度的方差值即随机误差的计算式,下式(9)表示对多普勒速度的偏差的计算式(7)及对多普勒速度的随机误差的计算式(8)分别加权后合成的计算式。由式(7)算出的多普勒速度的偏差是由于发送脉冲信号的时间的偏移使得第一发送脉冲及第二发送脉冲的取样时间不同而产生的误差,由式(8)算出的多普勒速度的随机误差是由于 A/D 变换部的跳动而成为多普勒速度的每次测量中的随机量的

随机误差（从作为磁控管发送机的发送元件 5 输出的发送脉冲的相位变化率大，由取样位置产生的跳动的的影响大），在脉冲同步计算部 14 中进行运算，根据由多普勒速度计算部 13 算出的基准目标的多普勒速度求出式（9）的值、即多普勒速度的偏差及多普勒速度的随机误差被最小化的取样时间，用发送时间修正信号对发送时间控制部 1 进行指示，以便能在该取样时间内进行接收脉冲信号的取样。

具体地说，分别使图 5(a)及图 5(b)所示的各脉冲特性图中的时间轴 t 、 u 上的各值一边变化，一边进行求解问题的运算，象式（9）所示的最小化那样求出由式（7）算出的多普勒速度的偏差和由式（8）算出的多普勒速度的随机误差。

$$\text{平均值: } V^{(i)} = 1/N \cdot \sum_{j=1}^N V_j^{(i)} \quad \dots \dots (7)$$

$$\text{方差值: } V^{(i)} = 1/N \cdot \sum_{j=1}^N \{V_j^{(i)}\}^2 \quad \dots \dots (8)$$

$$W_1 |V^{(i)}(t, u)|^2 + W_2 (V^{(i)}(t, u))^2 \quad \dots \dots (9)$$

另外，在式（9）中， W_1 是用式（7）求得的多普勒速度的平均值的权重， W_2 是用式（8）求得的方差值的权重，考虑所使用的装置的特性（上述的脉冲特性等），选择能使式（9）的最小化的运算最有效的值，设定这些权重 W_1 、 W_2 。例如，在第一发送脉冲和第二发送脉冲的特性弱的情况下，可以考虑使多普勒速度的偏差小，而使多普勒速度的随机误差大，在此情况下，使式（9）中的 W_1 小（或者为零），即可解决最小化问题。

另外，图 6 是表示本实施例中进行的多普勒速度的测量内容的观测内容说明图，在本发明的气象雷达装置中，为了提高修正精度，根据图 6 所示的多个接收脉冲信号的多普勒速度的测量情况，利用多普勒速度的偏差和多普勒速度的随机误差，进行由发送时间的偏差产生的基准目标的多普勒相位差的最小化处理。

按照图 6 说明如下：在本实施例中，向基准目标发射 N 个（ $j=N$ ）由双脉冲构成的发送脉冲信号，将根据这些 N 个发送脉冲信号所对应

接收脉冲信号分别算出的多普勒速度平均化,反复进行 n 次 ($i=n$) 计算多普勒速度的工作,再将这些 n 个多普勒速度平均化了的多普勒速度作为基准目标的多普勒速度进行测量。

这是因为即使从同步脉冲输出部 2 输出的触发脉冲信号的输出时间总是恒定的,但从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间由于发送元件 5 的特性及 A/D 变换部的取样的跳动,而在 $j=1$ 时、 $j=n$ 时都有离散,为了求出由这样的发送元件 5 的特性造成的发送时间的偏移的平均值和方差值而进行 N 次测量。因此,利用上述的发送元件 5 的频率特性及脉冲输出特性,能算出标准的基准目标的多普勒速度的平均值、即偏差和多普勒速度的方差值、即随机误差,能以更好的精度修正、调整从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间及接收脉冲信号的取样位置。

其次,说明使发送脉冲信号的多普勒速度的平均值和多普勒速度的方差值最小化的运算方法的选择。如上所述,如果进行将权重加在了多普勒速度的偏差上的式 (9) 的运算,则通过求解调整第一发送脉冲 $T1$ 或第二发送脉冲 $T2$ 两者中的任意一者的取样位置的一个变量 (调整图 5(a) 及图 5(b) 所示的变量 t 或 u 两者中的任意一者) 的最小二乘法,能使发送脉冲信号的发送时间的偏移为最小,如果进行将权重加在了多普勒速度的偏差及多普勒速度的随机误差上的式 (9) 的运算,则通过求解两个变量 (调整图 5(a) 及图 5(b) 所示的变量 t 及 u 两者) 的最小二乘法,则能进行使发送脉冲信号的发送时间的偏移及由发送时间的偏移引起的相位差这两者为最小的运算。

作为求解最小化的问题的运算方法,有高斯牛顿法、最快下降法、马尔卡特 (ムルカ-ト) 法等,但最好根据发送部 3 中使用的发送元件 5 的频率特性和处理时间的关系,选择最适合的方法使用。

如上所述,如果采用本实施例的气象雷达装置,则由于根据基准目标的多普勒速度,算出并修正由发送元件 5 的频率特性及脉冲输出特性产生的发送脉冲信号的发送时间的偏移,所以在进行目标物的多普勒速度的测量时,能将与从同步脉冲输出部输出的触发脉冲信号的输出时间同步的发送时间的发送脉冲信号发射给目标物,且能使从目标物反射回来的接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置在各接收脉冲中为同一取样位置,所以能防止基于该发送脉冲信号的发送时间的偏移

产生的各接收脉冲相互之间的取样位置的偏移,即使在使用磁控发送管这样的发送元件的气象雷达装置中也能实现观测精度不劣化的观测精度高的气象状况的观测。

5 另外,如图4所示,即使在修正发送脉冲信号的发送时间、调整了接收脉冲的取样位置之后,也还定期地反复进行按基准目标进行的发送时间的修正工作(图4所示的步骤S1至步骤S3),所以能对由于长时间执行运用观测步骤S4所造成的发送元件5内部状况的变化进行跟踪,能修正发送脉冲信号的发送时间,能获得即使进行长时间的气象观测,其观测精度也不劣化的观测精度高的气象雷达装置。

10 实施例2

其次用图7说明本发明的另一实施例。图7是表示本发明的另一实施例的气象雷达装置的结构框图。在上述实施例1中,说明了利用多普勒速度为零的物体、即在多普勒速度观测时相对地不移动的建筑物、海面、山的斜面等固定目标物等作为基准目标,修正发送脉冲信号
15 号的发送时间,但这些基准目标也可以不是这样的固定目标物等,如图7所示,也可以由设置在装置内部或外部的延迟·反射装置构成。

在图7中,18是设置在本发明的气象雷达装置内部或外部的延迟·反射装置,19是在图4中的发送时间修正步骤S3中被连接在延迟·反射装置18一侧、在运用观测步骤S4中被连接在收发信天线部
20 7一侧能进行切换的第二开关装置。作为延迟·反射装置18可以由延迟元件和与其连接的反射终端构成,也可以使由不设置反射终端的电缆等构成的传输线路进行规定时间的传输,使延迟了的发送脉冲信号返回第二开关装置19一侧。另外,图中与上述实施例相同的标号表示相同或相当的部分,详细说明从略。

25 另外,在本实施例中,与实施例1一样,如果运用观测步骤S4持续了规定时间,便返回基准目标观测步骤S1,确认发送脉冲信号的发送时间是否再次偏移。这时,如果装置的工作从运用观测步骤S4转移到基准目标观测步骤S1,则第二开关装置19通过例如发送时间控制部1等控制装置,被从收发信天线部7切换连接到延迟·反射装置
30 18一侧。

如果采用本实施例的气象雷达装置,则不受气象雷达装置的设置场所、观测环境等限制,能经常测量基准目标的多普勒速度,能修正

发送脉冲信号的发送时间。

通常，在多普勒速度的测量中，根据一个接收脉冲中包含的反射物的反射波，算出该反射物的多普勒速度，但例如在将地形反射波（海、山等）作为基准目标进行图 4 所示的基准目标观测步骤 S1 的情况下，如果在基准目标的周围存在基准目标以外的雨、雾等对象物，则来自这些基准目标以外的对象物的反射波就会混入从基准目标反射的接收脉冲信号中，变成根据混入了基准目标以外的反射波的接收脉冲信号的接收脉冲，结果算出基准目标的多普勒速度，存在使基准目标的多普勒速度的观测精度劣化的问题。与此不同，如果采用本实施例的气象雷达装置，则能避免基准目标以外的反射波被混入来自基准目标的接收脉冲中的状况，不会由于观测状况而妨碍基准目标观测步骤 S1 的工作，仍能构成观测精度不劣化的观测精度高的气象雷达装置，所以本实施例的气象雷达装置的优点很大。

实施例 3

其次用图 8 说明本发明的另一实施例。在上述实施例 1 及 2 的气象雷达装置中，如上述特开平 3-54495 号公报中记载的雷达装置所示，接收部中有相位检波处理部，设有高精度的石英振荡器，进行能获得视频信号的处理，但在本实施例的气象雷达装置中不是获得通过这样的相位检波而获得的视频信号，而是根据接收脉冲信号直接算出目标物的多普勒速度。

图 8 是表示本实施例的气象雷达装置中使用的接收部 20 的结构框图，在图 8 中，21 是高速 A/D 变换部，它不对通过收发信天线部 7 接收后由混合器 10 变换成中频的接收视频信号进行相位检波处理，而直接变换成数字信号，22 是数字相位检波处理部，它对由高速 A/D 变换部 21 进行了高速 A/D 变换的接收脉冲信号进行数字式的相位检波处理，高速 A/D 变换部 21 用比接收视频信号的频率高的频率对接收视频信号按时间序列进行 A/D 变换。另外，本实施例的气象雷达装置的其它结构部分与图 1 或图 7 所示的气象雷达装置相同，本实施例可以将例如图 1 或图 7 所示的气象雷达装置的接收部 11 换成图 13 所示的接收部 20 实施。

在本实施例的气象雷达装置中，通过收发信天线部 7 接收的接收脉冲信号由高速 A/D 变换部 21 直接进行高速取样，另外根据通过定

向耦合器 17 取出的各发送脉冲的振幅波形的测量时间差，算出脉冲同步的偏移即发送脉冲信号的发送时间的偏移。如果采用本实施例的气象雷达装置，则由于根据所取得的各发送脉冲振幅波形的位置的偏移，对从发送部 3 输出的发送脉冲算出脉冲同步的偏移，所以不需要根据图 5(a) 及 (b) 的下图所示的相位特性图求出接收脉冲的多普勒相位差，不需要进行考虑了上述实施例那样的随机误差的发送脉冲信号的发送时间的修正。

另外，如果采用本实施例，则由于不象现有的雷达装置那样对变换成中频的接收脉冲信号进行相位检波，而直接变换成数字信号，所以能获得不需要硬件结构中的相位检波处理部的装置结构被小型化了的气象雷达装置。

实施例 4

其次用图 9 说明本发明的另一实施例。上述各实施例的气象雷达装置都是在脉冲同步计算部 14 中进行求式 (7)、式 (8) 的值的运算，该运算是根据由多普勒速度计算部 13 算出的基准目标的多普勒速度，使式 (9) 的值最小化，以此来修正发送脉冲信号的发送时间，测量目标物的多普勒速度，但不考虑所测得的基准目标的多普勒速度和发送脉冲信号的发送时间的偏移的关系，将由多普勒速度计算部 13 算出的基准目标的多普勒速度直接作为多普勒速度的校正值存入存储器等中，可以利用该多普勒速度的校正值，校正实际测得的目标物的多普勒速度。如果采用本实施例，则对于难以降低上述的多普勒速度的随机误差的影响的装置来说，能大幅度降低基于多普勒速度的偏差、即发送脉冲信号相对于主触发脉冲的输出时间的脉冲同步的偏移、即发送时间的偏移的多普勒速度的观测精度的劣化。

图 9 是表示本实施例的气象雷达装置的结构框图，在图 9 中，23 是多普勒速度校正部，它通过脉冲同步计算部 14 存储由多普勒速度计算部 13 算出的基准目标的多普勒速度，24 是多普勒速度处理部，它设有多普勒速度校正部 23，利用在该多普勒速度校正部 23 中存储的多普勒速度的校正值，进行由多普勒速度计算部 13 算出的目标物的多普勒速度的校正处理，本实施例的脉冲同步计算部 14 具有将由多普勒速度计算部 13 算出的多普勒速度中有关基准目标的多普勒速度作为多普勒速度的校正值存入多普勒速度校正部 23 中的功能。

另外，在本实施例中，在图 4 所示的基准目标观测步骤 S1 中测量的基准目标的多普勒速度被直接作为多普勒速度的校正值存入多普勒速度校正部 23 中，在测量目标物的多普勒速度的运用观测步骤 S4 中，根据该多普勒速度校正部 23 中存储的多普勒速度的校正值，对
5 由多普勒速度计算部 13 算出的目标物的多普勒速度进行校正处理。然后，进行将该校正后的多普勒速度作为目标物的多普勒速度显示在显示部 16 上等各种信号处理。另外，图中与上述实施例相同的标号表示相同或相当的部分，详细说明从略。

如果采用本实施例的气象雷达装置，则由于对基准目标测量多普勒速度，将该测得的基准目标的多普勒速度作为多普勒速度的校正值
10 存入存储装置中，所以能大幅度降低多普勒速度的偏差，同时不需要图 4 所示的上述实施例的零多普勒判断步骤 S2 及发送时间修正步骤 S3，如上述各实施例的气象雷达装置所示，能大幅度降低直至断定基准目标的多普勒速度为零时为止测量若干次多普勒速度而进行的上述
15 的最小化处理所需要的时间。作为能有效地实施本实施例的场合有：能断定由发送元件 5 的频率特性产生的多普勒速度的随机误差小、不需要使它减小的场合；或者断定由于发送元件 5 的频率特性而不可能降低随机误差（在发送脉冲内的相位的时间变化率呈线性的情况下，不管在哪个位置取样，由于跳动而产生的多普勒相位的测定误差（随
20 机误差）都是同一值，所以没有必要修正这样的随机误差）的场合等。

实施例 5

其次用图 10 及图 11 说明本发明的另一实施例。在上述实施例、例如实施例 1 或 2 的发送时间的修正工作中是利用多普勒速度的观测原理，根据对基准目标测定的基准目标的多普勒相位差，算出从发送
25 部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移，但本发明的主要目的在于通过使接收脉冲信号的取样时间和发送脉冲信号的发送时间同步，即使使用磁控管发送机这样的频率特性不稳定的发送元件，也能获得多普勒速度的观测精度不劣化的气象雷达装置，此外如果有计算脉冲同步的偏移的装置，也可以利用这种装置算出脉冲同步的偏移。

30 另外，在上述实施例 1 至 3 中，根据算出的脉冲同步的偏移，修正从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间，但也可以不修正发送脉冲信号的发送时间，而通过调整接收部的取样时间，使从发送部 3

输出的发送脉冲信号的发送时间和接收部的接收脉冲信号的取样时间同步。

图 10 是表示本实施例的气象雷达装置的结构框图, 在图 10 中, 25 是详细地示出了其内部结构的接收部, 它相当于图 1 或图 7 所示的气象雷达装置的接收部 11, 26 是相位检波处理部, 它进行从通过收发信天线部 7 接收的接收脉冲信号取出 I 信道及 Q 信道的各接收视频信号的处理, 27 是 A/D 变换部, 它将由相位检波处理部 26 取出的接收视频信号变换成数字信号, 28 是作为脉冲同步检测部的触发脉冲时间检测部, 它测量从预触发脉冲输出后的时刻起至对应的发送脉冲被输出的时刻为止所需要的时间, 根据该时间和从预触发脉冲输出的时刻至主触发脉冲被输出为止所需要的时间 (该时间是根据观测条件预先设定的本装置的重复发送频率、即发送脉冲周期 (已知)) 之间的时间差, 检测从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移 (虽然图中未示出, 但从同步脉冲输出部 2 输出的预触发脉冲和主触发脉冲被输入触发脉冲时间检测部 32)。

另外, 根据由定向耦合器 17 取出的相位引入信号, 测量从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间。29 是第三开关装置, 在发送工作时, 它将通过定向耦合器 17 取出的相位引入信号输出给脉冲同步检测部 28, 30 是作为时间控制装置的延迟装置, 它根据由触发脉冲时间检测器 28 检测的发送时间的偏移, 调整 A/D 变换部 27 的取样时间。

另外, 31 是多普勒速度处理部, 它根据由延迟装置 30 调整过的取样时间, 从进行过 A/D 变换的接收脉冲信号算出目标物的多普勒速度等, 进行与上述实施例 1 及 2 的气象雷达装置的多普勒速度处理部 12 的工作相当的多普勒速度的处理, 多普勒速度计算部 13 根据由 A/D 变换部 27 取得的数字式取样信号, 算出跳动目标物等的多普勒速度。另外, 图中与上述实施例相同的标号表示相同或相当的部分, 它们的具体说明从略。

其次用图 11 详细地说明本实施例的气象雷达装置的工作, 特别是 A/D 变换部 27 的取样时间的修正工作。图 11 是说明 A/D 变换部 27 的取样时间的修正工作作用的时序图。在本实施例中, 所谓发送脉冲信号的发送时间的偏移, 是指从同步脉冲输出部 2 输出的主触发脉冲的

输出时间和从发送部 3 输出的发送脉冲的输出时间与在非同步的状态下输出时的发送脉冲和主触发脉冲的输出时间的的时间差而言。

从预触发脉冲输出开始至主触发脉冲输出为止的时间总是恒定的，所以如果测量从同步脉冲输出部 2 输出了预触发脉冲的时刻开始至对应的发送脉冲被输出的时刻为止的时间，就能算出该发送脉冲的发送时间的偏移，在本实施例中，根据这样算出的发送脉冲信号的发送时间的偏移，控制接收脉冲信号的取样时间。在图 11 中，图 11(b)表示从同步脉冲输出部 2 输出的第一预触发脉冲及第二预触发脉冲的输出时间，图 11(a)表示与图 11(b)中的预触发脉冲相对应，从发送元件 5 输出的第一发送脉冲及第二发送脉冲的输出时间，图 11(c)及图 11(f)表示分别检测图 11(a)所示的各发送脉冲的输出电平，算出第一及第二发送脉冲的各发送时间的情况，图 11(d)及图 11(g)表示用计数器等测量装置测量从图 11(b)所示的预触发脉冲被输出的时刻起至图 11(a)所示的各发送脉冲被输出的时刻为止所需要的时间，根据至该发送脉冲被输出的时刻为止所需要的时间，算出发送脉冲信号的发送时间的偏移后从延迟装置 30 向 A/D 变换部 27 输出的取样时间信号的输出时间。

即，在本实施例中，利用由触发脉冲时间检测部 28 算出的上述延迟时间，测量从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移，根据该延迟时间 (TL1、TL2)，控制 A/D 变换部 27 的取样时间。

具体地说，根据由触发脉冲时间检测部 28 算出的第一及第二发送脉冲的上述延迟时间 (TL1、TL2)，算出从发送元件 5 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移，使 A/D 变换部 27 的发送脉冲及接收脉冲的取样时间前后延迟该算出的发送时间的偏移的大小，所以利用来自延迟装置 30 的取样时间信号，对 A/D 变换部 27 的取样时间进行延迟控制，使发送脉冲信号及接收脉冲信号的取样位置在各发送脉冲及各接收脉冲中彼此为相同的位置。

如果采用本实施例，则不用根据上述实施例 1 至 4 中说明的基准目标的多普勒速度来计算发送脉冲信号的发送时间的偏移，就能修正发送脉冲信号的脉冲同步的偏移，在使用磁控管发送机这样的频率特性不稳定的发送机的气象雷达装置中，也能在各发送脉冲及各接收脉冲中将各接收脉冲的取样位置调整为相同的位置，能获得观测精度劣

化小的能进行精度高的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本实施例及上述实施例 2 的气象雷达装置，则由于不管观测环境如何，通过修正由发送元件 5 的频率特性引起的脉冲同步的偏移，能进行观测精度劣化小的精度更高的目标物的多普勒速度的观测，所以例如将这样的气象雷达装置作为安装在汽车等移动体上的车载型的气象雷达装置，也可以观测目标物的多普勒速度。这样的车载型的气象雷达装置的优点在于在难以设置气象雷达装置的观测场所中，也可以观测目标物的多普勒速度，另外利用一台气象雷达装置能观测多个观测场所中的目标物的多普勒速度。

另外，作为安装气象雷达装置的方法可以用通常的固定方法固定在移动体上，也可以用可以装卸的安装方法。

实施例 6

其次用图 12 及图 13 说明本发明的另一实施例。在实施例 5 中测量从输出了预触发脉冲的时刻开始至对应的发送脉冲被输出的时刻为止的延迟时间，根据该延迟时间，将发送脉冲信号的发送脉冲的取样位置及接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置控制在各发送脉冲及各接收脉冲中相同的位置，防止从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移引起的多普勒速度的观测精度的劣化，但也可以利用另外的方法，求出发送时间的偏移，进行时间控制，以便发送脉冲信号的发送脉冲的取样位置及接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置在各发送脉冲及各接收脉冲中为彼此相同的位置。本实施例是根据由定向耦合器 17 取出的基准脉冲信号，检测取样开始的时间，根据检测到的取样开始的时间，由 A/D 变换部 27 进行发送脉冲和接收脉冲信号的取样。

图 12 是表示本实施例的气象雷达装置的结构框图，图 12 中，32 是作为脉冲同步检测部的触发脉冲时间检测器，在发送工作时，输入由定向耦合器 17 取出的相位引入信号，在被输入的各发送脉冲（相位引入信号是发送脉冲信号的电能的一部分）的任意测定位置检测输出电平，33 是第三开关装置（相当于上述实施例 5 中所示的第三开关装置），切换其连接，以便只使由定向耦合器 17 取出的基准脉冲信号输入触发脉冲时间检测器 31 中，而通过收发信天线部 7 接收的接收脉冲信号不会被输入触发脉冲时间检测器 31，34 是作为时间控制装置的延迟装置，它根据由触发脉冲时间检测器 32 检测的基准脉冲信

号的发送脉冲的输出电平，将 A/D 变换器 27 的取样时间延迟相当于该发送脉冲达到例如峰值输出电平为止的时间，35 是多普勒速度处理部，它利用由延迟装置 34 控制的取样时间，根据进行了 A/D 变换的接收脉冲信号的接收脉冲，算出目标物的多普勒速度等，进行与上述
5 实施例 5 的气象雷达装置的多普勒处理部 31 大致相同的处理。另外，图中与上述实施例相同的标号表示相同或相当的部分，它们的具体说明从略。

其次用图 13 详细地说明本实施例的气象雷达装置的工作，特别是 A/D 变换部 27 的取样时间的修正工作。图 13 是说明构成本实施例
10 的气象雷达装置的 A/D 变换部 27 的取样时间的修正工作用的时序图。在图 13 中，图 13(b)表示由定向耦合器 17 取出并通过混合器 10、相位检波处理部 28 检测的基准脉冲信号的第一发送脉冲及第二发送脉冲的发送时间，图 13(a)表示图 13(b)所示的对应于第一及第二发送脉冲从同步脉冲输出部 2 输出的第一预触发脉冲及第二预触发脉冲的
15 输出时间，图 13(c)表示图 13(b)所示的各发送脉冲的输出电平的检测时间，在触发脉冲时间检测部 32 中利用某个设定的检测电平，检测基准脉冲信号的发送脉冲，将表示检测时刻的触发脉冲信号输出给延迟装置 34。

图 13(d)表示延迟装置 34 根据延迟时间，将由触发脉冲时间检测器 31 输出的表示发送脉冲检测时刻的触发脉冲信号输出给 A/D 变换
20 部 27 的主触发脉冲信号（以下称主触发脉冲）的输出时间，图 13(e)表示根据从延迟装置 34 输出的主触发脉冲，在 A/D 变换部 27 中取得的发送脉冲信号及接收脉冲信号的取样时间。

如果采用本实施例，则由于根据由定向耦合器 17 从对目标物发
25 射的发送脉冲信号取出的基准脉冲信号的发送脉冲波形，生成主触发脉冲，利用该主触发脉冲，控制 A/D 变换部 27 对接收脉冲信号的取样时间，因此如上述各实施例所示，事先不对基准目标进行多普勒速度的测量，就能修正由发送元件 5 的频率特性及脉冲输出特性造成的发送脉冲信号的发送时间的偏移，所接收的接收脉冲信号的取样位置
30 在各接收脉冲中被调整为同一位置，能获得观测精度不劣化的具有较高的观测精度的气象雷达装置。

实施例 7

其次用图 14 说明本发明的另一实施例。在上述实施例 6 中，根据从按照基准脉冲信号检测的发送脉冲的输出电平检测位置开始至峰值输出电平为止所需要的延迟时间，修正接收部 25 的 A/D 变换部 27 的取样时间，以防止由发送脉冲信号的发送时间的偏移引起的接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置的偏移，各接收脉冲的取样位置被调整到彼此相同的位置，但如实施例 1 的气象雷达装置所示，还对基准目标算出多普勒速度，根据该基准目标的多普勒速度，算出发送脉冲信号的发送时间的偏移，根据该多普勒速度、即根据从接收脉冲的相位差求得的发送脉冲信号的发送时间的偏移，设定延迟装置 37 的延迟量即可。

图 14 是表示本实施例的气象雷达装置的结构框图，在图 14 中，36 是延迟调整装置，它根据由多普勒速度计算部 13 算出的基准目标的多普勒速度，算出从发送部 3 输出的发送脉冲信号的发送时间的偏移，将与该发送时间对应的延迟量指示给后文所述的作为时间控制装置的延迟装置 38，调整延迟装置 38 对 A/D 变换部 27 的取样时间，37 是多普勒速度处理部，它设有延迟调整装置 36，还设有计算目标物或基准目标的多普勒速度的多普勒速度计算部 13，以及进行将由多普勒速度计算部 13 算出的目标物的多普勒速度显示在监视器等显示部 16 上用的数据处理的数据处理部 15 等。另外，38 是延迟装置，它根据由触发脉冲时间检测部 32（以下称检测部）检测的延迟时间及由延迟调整装置 36 指示的延迟量，调整 A/D 变换部 27 的取样时间，以便接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置彼此呈相同的位置。

另外，图中与上述实施例相同的标号表示相同或相当的部分，它们的具体说明从略。

在本实施例的气象雷达装置中，由于除了根据从相位引入信号检测的发送脉冲信号的发送时间的偏移求得的发送脉冲的延迟时间以外，还根据在多普勒速度计算部 13 中算出的基准目标的多普勒速度，控制 A/D 变换部 27 的取样时间，所以上述实施例 6 的气象雷达装置更能实现观测精度高的多普勒速度的测量。

实施例 8

上述各实施例的气象雷达装置都是观测粒径达数十微米以下的细云粒、雾等的气象状况的例如设想为 Ka 带、毫米波带的气象雷达装

置, 说明了适合于这样的气象雷达装置进行的气象状况的观测的观测方式即进行双脉冲观测的气象雷达装置, 但本发明也能适用于例如在厘米波带 (L 波带: $\lambda=30\text{cm}$, S 波带: $\lambda=10\text{cm}$, C 波带: $\lambda=5\text{cm}$, X 波带: $\lambda=3\text{cm}$) 的气象雷达装置中使用连续脉冲进行观测的气象雷达装置, 即使应用于这样的进行连续脉冲观测的气象雷达装置, 也能发挥与在上述实施例中说明过的同样的效果。

例如, 在连续脉冲观测的情况下, 通过 FFT 进行频率分析, 在技术上可以同时多个观测对象进行气象观测, 即使由于在上述实施例 2 中说明过的观测状况、观测对象的观测条件而产生妨碍基准目标的多普勒速度的测量的问题, 通过对由这些 FFT 获得的多个振幅信号进行分离处理, 也具有能实现基准目标的多普勒速度的观测的优点。

如本实施例所述, 在使用连续脉冲的连续脉冲观测的气象雷达装置中, 由于连续地输出发送脉冲, 所以与象双脉冲观测那样断续地输出发送脉冲的方式相比, 发送元件 5 的内部状态变化稳定, 多普勒速度的观测精度的劣化也不比双脉冲观测更大, 而从发送部 3 输出的发送脉冲的相位特性具有图 5 所示的特性, 在相位特性曲线的斜率大的点进行取样时, 即使发送时间的偏移微小, 相位差也变得很大, 所以在本实施例中, 也是进行求式 (9) 的最小值的多普勒速度的平均值: 式 (7) 及发送时间的偏移引起的相位差的方差值: 式 (8) 的值的运算。另外, 在此情况下, 发送元件 5 的内部状态也比双脉冲观测时稳定, 也能求解将权重加在式 (8) 中的式 (9) 的最小化问题。

如上所述, 如果采用本发明的第一方面, 则在对目标物发射由从发送部输出的多个脉冲构成的发送脉冲信号, 根据从该目标物反射的接收脉冲信号, 算出上述目标物的多普勒速度的气象雷达装置中, 由于算出基准目标的多普勒速度, 根据该基准目标的多普勒速度, 修正从上述发送部输出的上述发送脉冲信号的发送时间, 以便使上述基准目标的多普勒速度为零, 所以即使使用象磁控管发送机这样的频率特性极不稳定的发送机, 也能使接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置在各接收脉冲中呈彼此相同的位置, 能获得不会由于偏差而使多普勒速度的观测精度劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外, 如果采用本发明的第二方面, 则由于设有: 输出多个脉冲

的发送脉冲信号的发送部；对目标物发送上述发送脉冲信号，并接收来自上述目标物的反射的接收脉冲信号的收发信天线部；对由该收发信天线部接收的上述接收脉冲信号进行相位检波的接收部；根据由该接收部进行了相位检波的接收脉冲，算出上述目标物的多普勒速度的多普勒速度计算部；根据由该多普勒速度计算部算出的上述基准目标的多普勒速度，算出上述发送脉冲信号的脉冲同步偏移的脉冲同步计算部；以及为了使上述基准目标的多普勒速度为零，根据由该脉冲同步计算部算出的上述脉冲同步偏移，修正从上述发送部输出的上述发送脉冲信号的发送时间的发送时间控制部，所以即使使用象磁控管发送机这样的频率特性极不稳定的发送机，也能使接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置在各接收脉冲中呈彼此相同的位置，能获得不会由于偏差而使多普勒速度的观测精度劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第三方面，则由于在上述接收脉冲信号的接收脉冲内的相位变化率比较平缓的相位测定位置算出上述目标物的多普勒速度，所以能获得不会由于随机误差而使多普勒速度的观测精度劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第四方面，则由于设有：输出多个脉冲的发送脉冲信号的发送部；对目标物发送上述发送脉冲信号，并接收来自上述目标物的反射的接收脉冲信号的收发信天线部；对由该收发信天线部接收的上述接收脉冲信号进行高速 A/D 变换处理的接收部；根据由该接收部进行了高速 A/D 变换处理的接收脉冲的振幅波形，算出上述目标物的多普勒速度的多普勒速度计算部；根据由上述接收部进行了高速 A/D 变换处理的接收脉冲的振幅波形，算出上述发送脉冲信号的脉冲同步偏移的脉冲周期计算部；以及为了使上述基准目标的多普勒速度为零，根据由该脉冲周期计算部算出的上述脉冲同步偏移，修正从上述发送部输出的上述发送脉冲信号的发送时间的发送时间控制部，所以即使使用象磁控管发送机这样的频率特性极不稳定的发送机，也能使接收脉冲信号的接收脉冲的取样位置在各接收脉冲中呈彼此相同的位置，能获得不会由于偏差而使多普勒速度的观测精度劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。另外，不需要安装相位检波处理时所需要的硬件结构，同时能根据基于相位特

性的多个取样波形，算出发送脉冲信号的发送时间的偏移。

另外，如果采用本发明的第五方面，则在对目标物发射由从发送部输出的多个脉冲构成的发送脉冲信号，根据从该目标物反射的接收脉冲信号，算出上述目标物的多普勒速度的气象雷达装置中，由于将
5 基准目标的多普勒速度作为多普勒速度的校正值存在起来，用该多普勒速度的校正值校正上述目标物的多普勒速度，所以能修正由于磁控管发送机的频率特性的不稳定性而产生的发送脉冲信号的发送时间，能获得观测精度不劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

10 另外，如果采用本发明的第六方面，则由于备有：输出多个脉冲的发送脉冲信号的发送部；对目标物发送上述发送脉冲信号，并接收来自上述目标物的反射的接收脉冲信号的收发信天线部；对由该收发信天线部接收的上述接收脉冲信号进行相位检波的接收部；根据由该接收部进行了相位检波的接收脉冲，算出上述目标物的多普勒速度的
15 多普勒速度计算部；以及将由该多普勒速度计算部算出的基准目标的多普勒速度作为多普勒速度的校正值存在起来的多普勒速度校正部；根据该多普勒速度校正部中存在的上述多普勒速度的校正值，校正上述多普勒速度计算部中算出的上述目标物的多普勒速度，所以能修正由于磁控管发送机的频率特性的不稳定性而产生的发送脉冲信号的
20 发送时间，能获得观测精度不劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第七方面，则由于上述基准目标由设置在装置内部的延迟·反射装置构成，所以在没有成为基准目标的目标物的观测场所，能防止多普勒速度的观测精度的劣化，能进行目标物
25 的高精度的多普勒速度的观测，能获得不受设置场所的观测环境的限制的能进行高精度的目标物的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第八方面，则由于发送多个上述发送脉冲信号，根据从对应于这些发送脉冲信号的多个接收脉冲信号算出的多普勒速度的平均值和方差值，修正上述发送脉冲信号的发送时间，
30 所以即使对云、雨、雾等这样的具有某种程度的速度范围的目标物也能修正与该目标物的性质相应的发送脉冲信号的发送时间，能获得观测精度不劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第九方面，则在对目标物发射由从发送部输出的多个脉冲构成的发送脉冲信号，根据从该目标物反射的接收脉冲信号，算出上述目标物的多普勒速度的气象雷达装置中，由于设有：将上述发送脉冲信号的一部分取出后送给接收部的定向耦合器；

5 根据由该定向耦合器取出的发送脉冲信号，算出上述发送脉冲信号的脉冲同步的偏移，根据该脉冲同步的偏移，检测上述接收部中的上述接收脉冲信号的取样时间的脉冲同步检测部；以及根据由该脉冲同步检测部检测到的取样时间，控制上述接收部的取样时间的时间控制装置，所以在没有成为基准目标的目标物的观测场所，能使接收脉冲信号

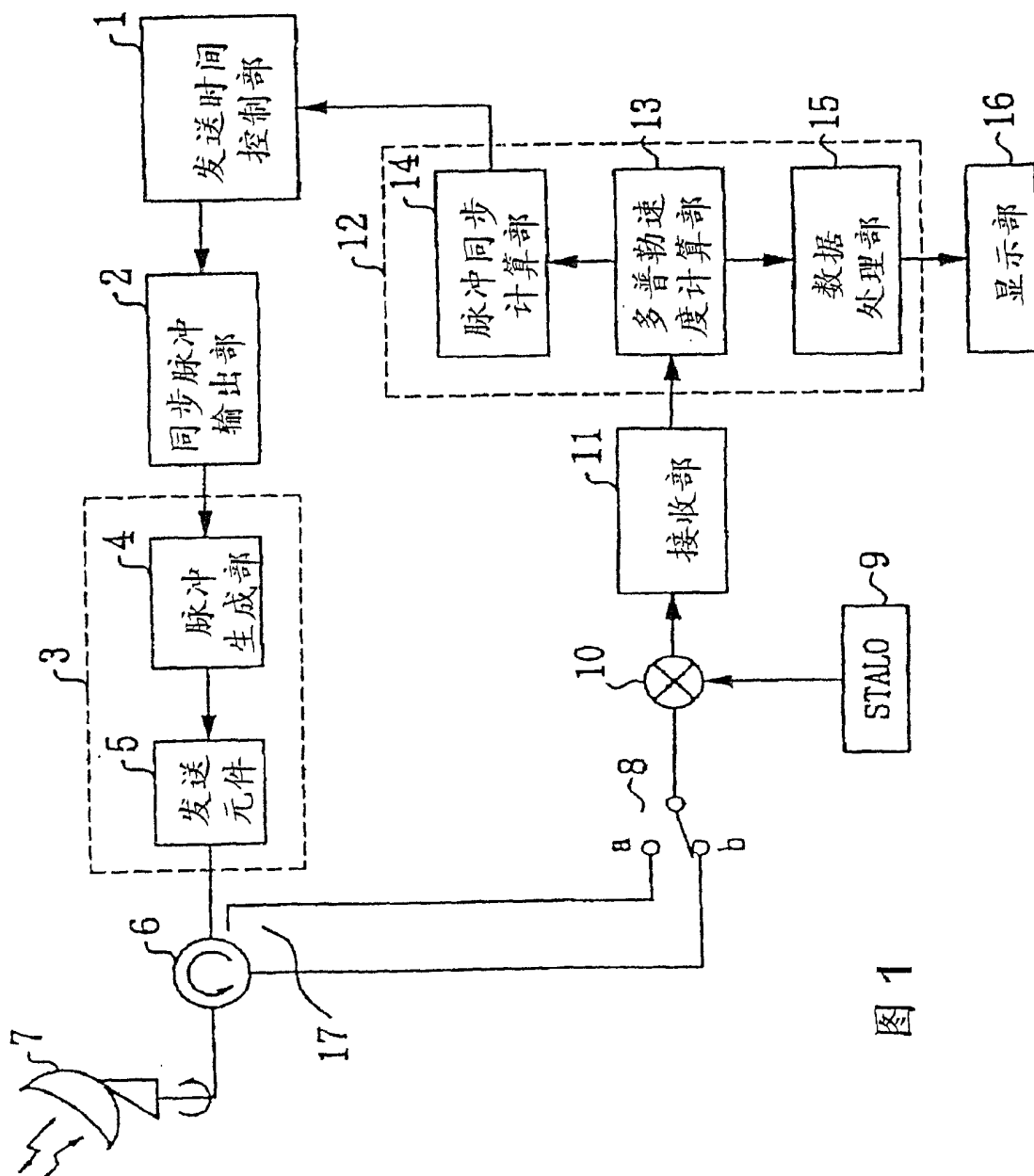
10 的接收脉冲的取样位置在各接收脉冲中呈彼此相同的位置，能获得不会由于偏差而使多普勒速度的观测精度劣化的能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第十方面，则由于用双脉冲构成上述发送脉冲信号，所以在观测粒径为数十微米以下的云粒、雾等目标物时，

15 能防止从目标物以外反射的多次反射波混入从目标物反射的接收脉冲信号中这种多次反射波的影响造成的观测精度的劣化，能获得能进行高精度的多普勒速度的观测的气象雷达装置。

另外，如果采用本发明的第十一方面，则由于安装在移动体中，能变更多普勒速度的观测位置，所以在没有成为基准目标的目标物的

20 观测场所，能防止多普勒速度的观测精度的劣化，能进行目标物的高精度的多普勒速度的观测，同时还能获得能用一台装置观测多个观测场所中的目标物的多普勒速度的气象雷达装置。



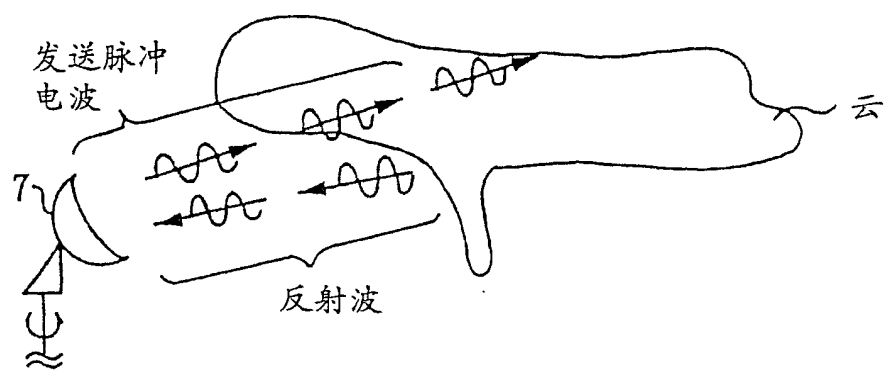
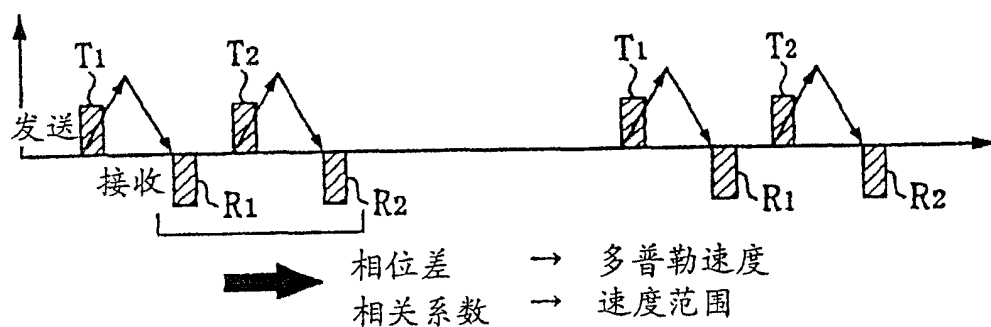
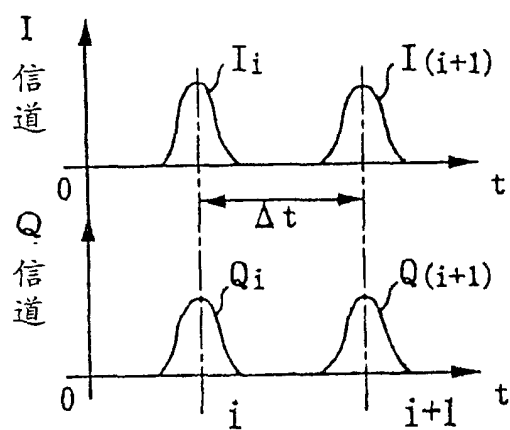


图 2

(a)
双脉冲观测 (脉冲对法)



(b)



(c)

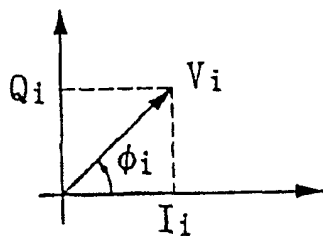


图 3

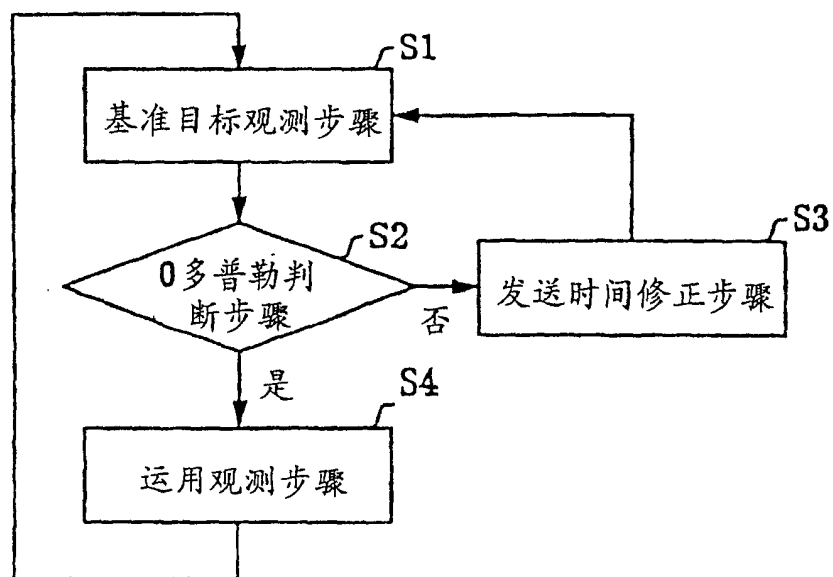


图 4

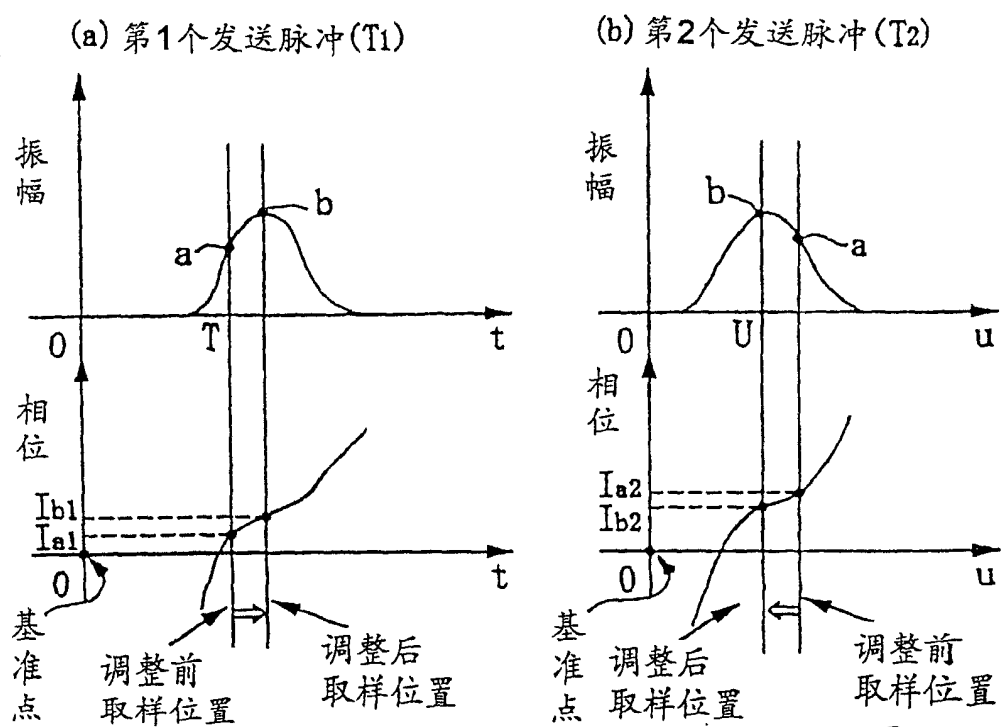


图 5

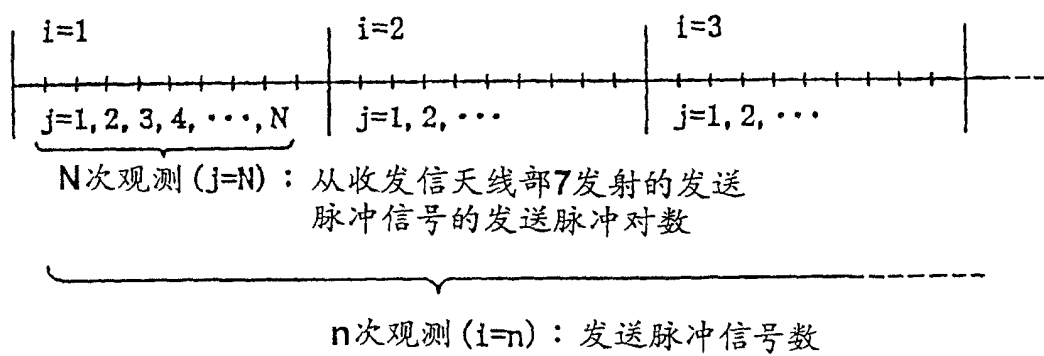


图 6

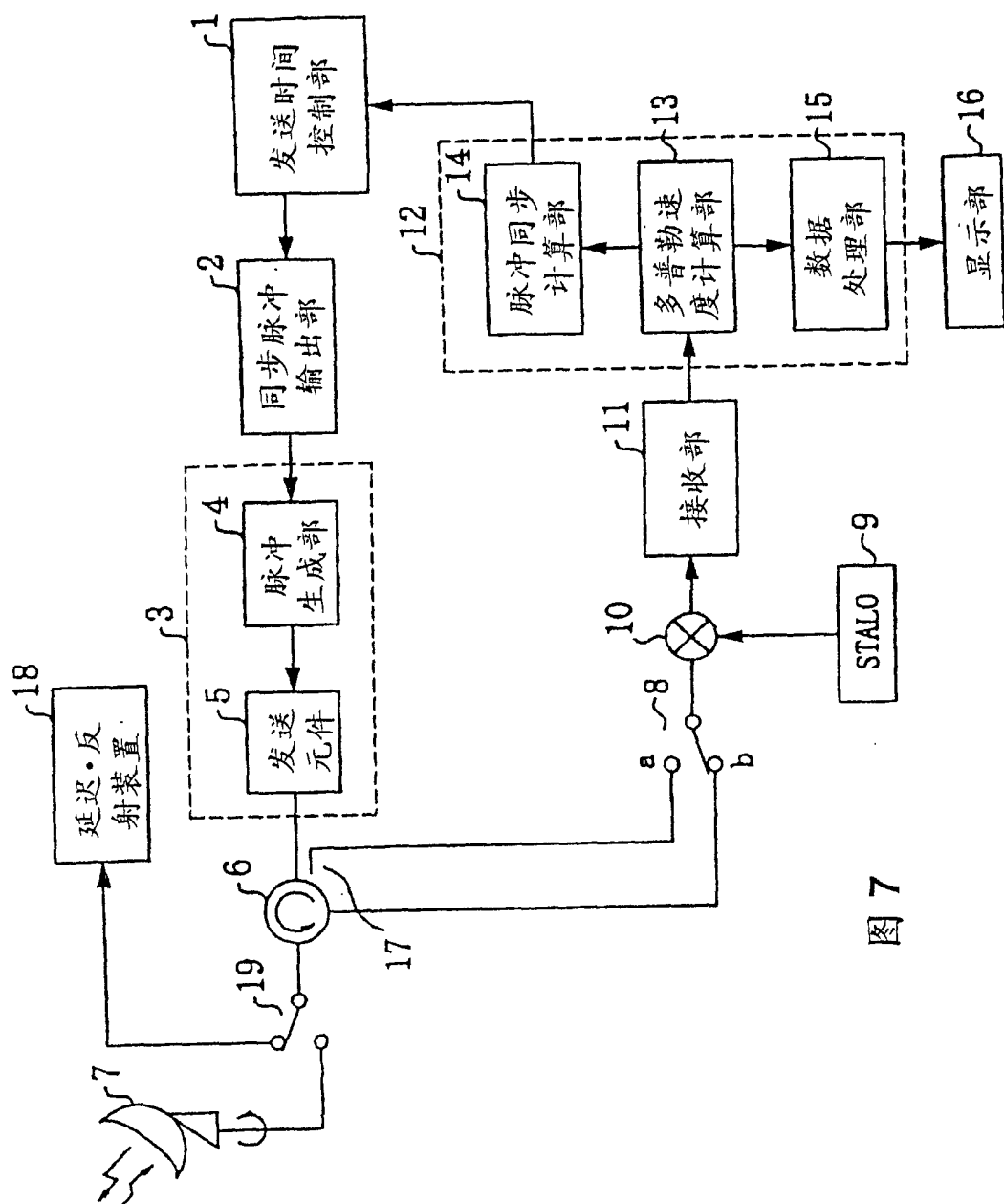


图 7

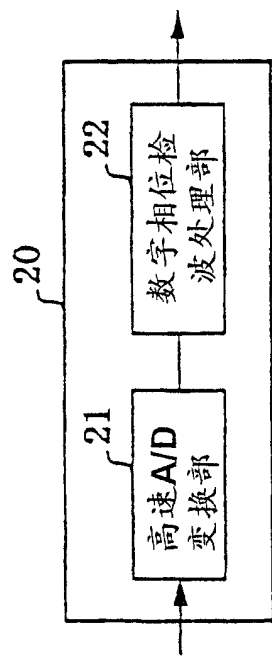
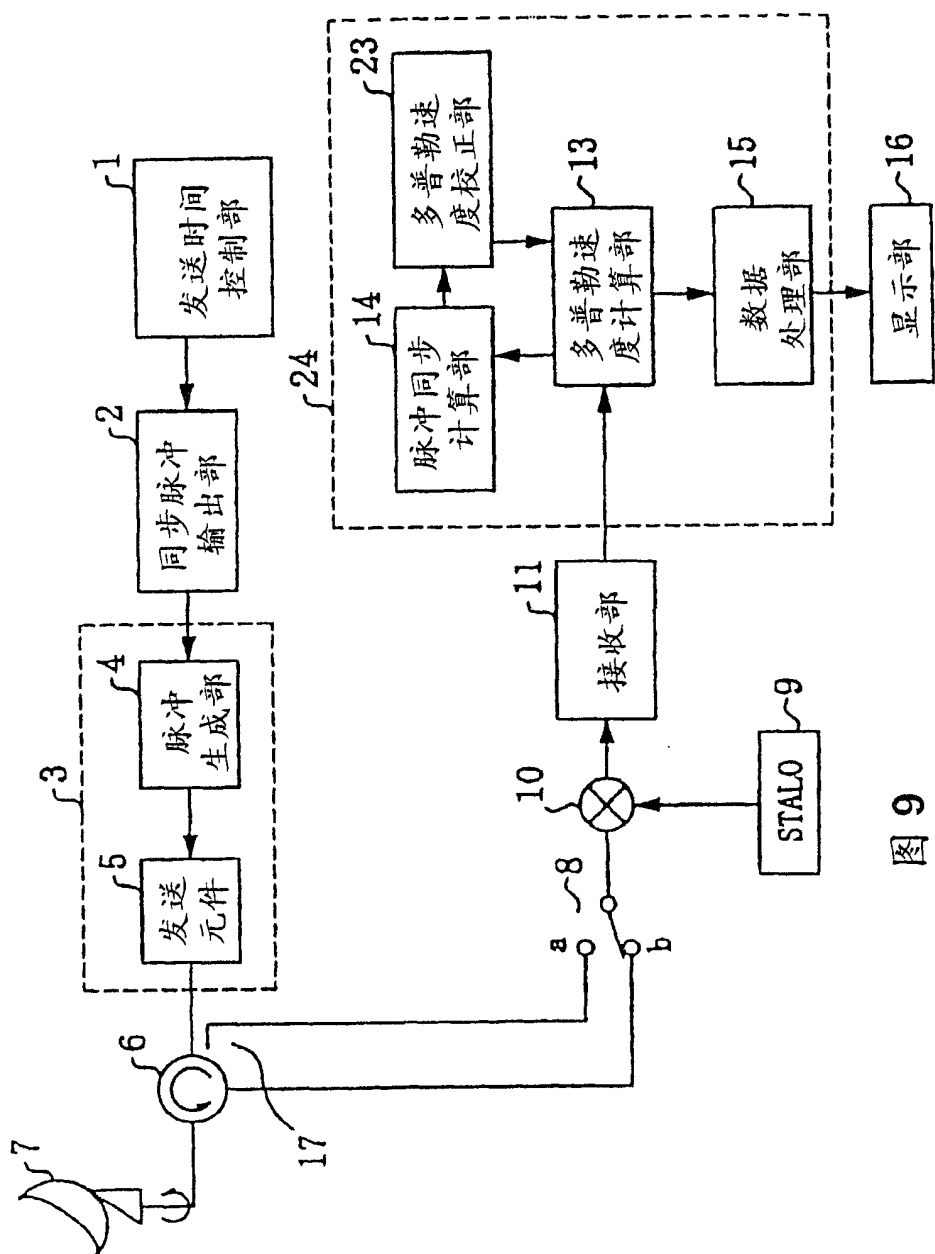


图 8



九

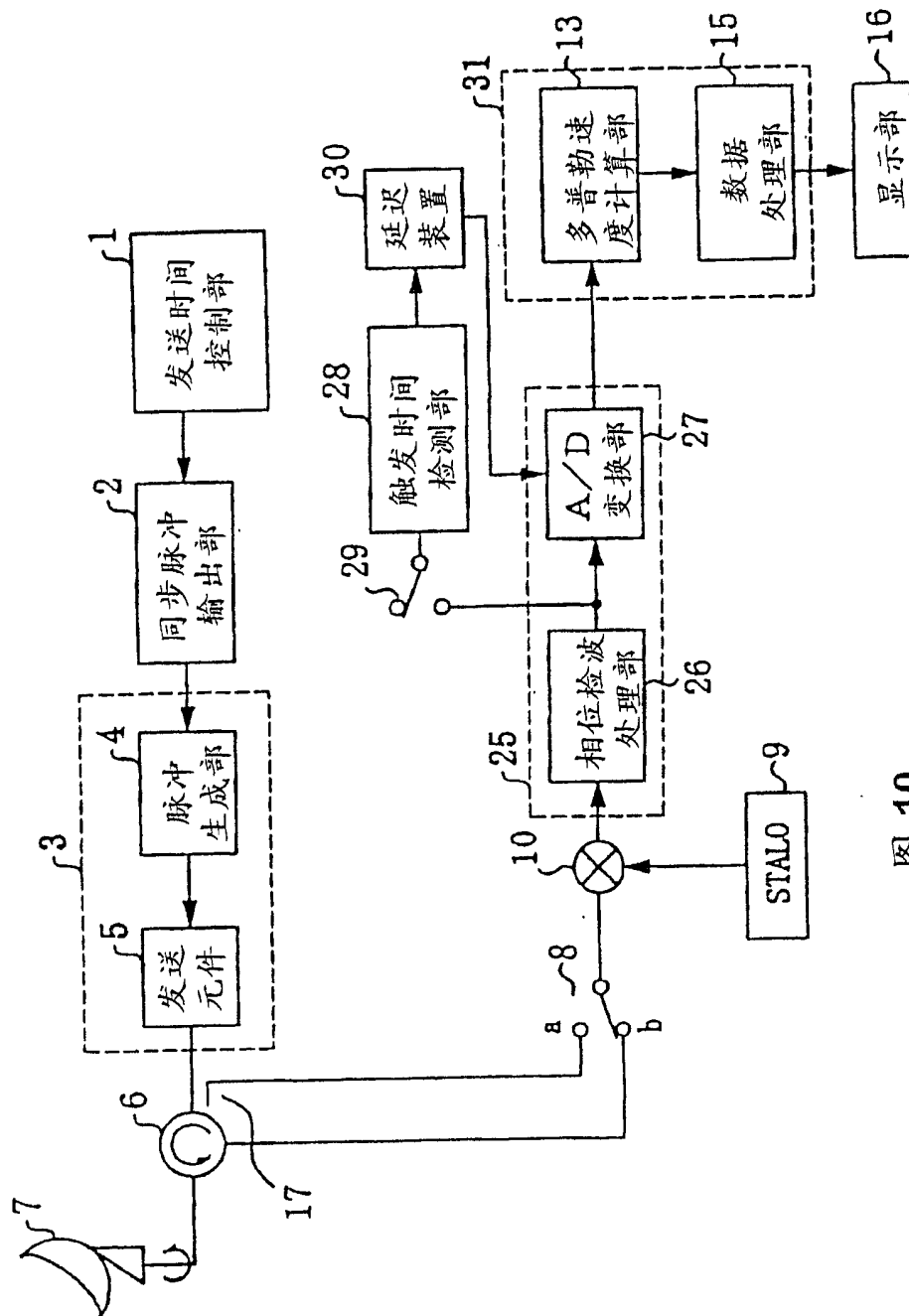


图 10

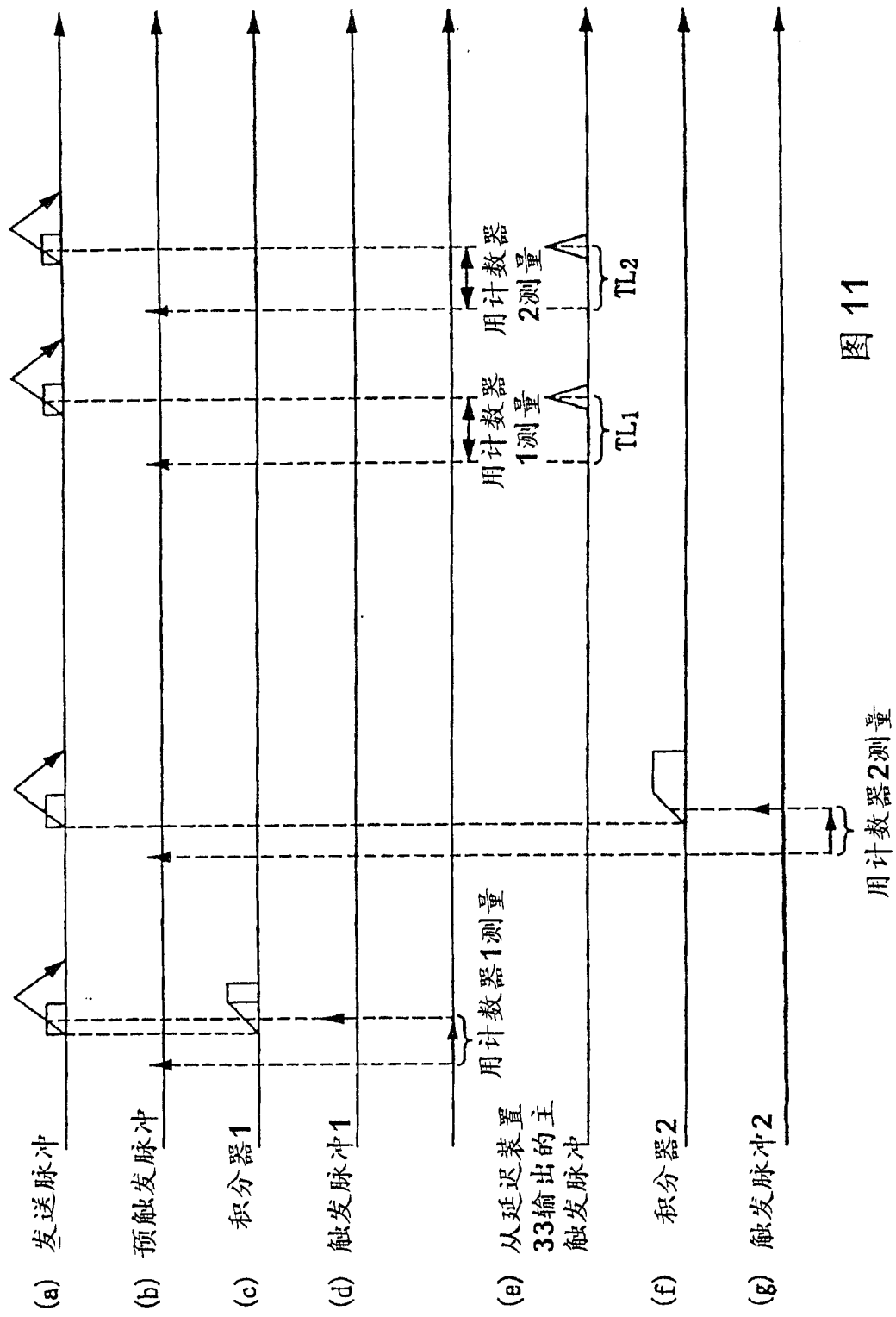


图 11

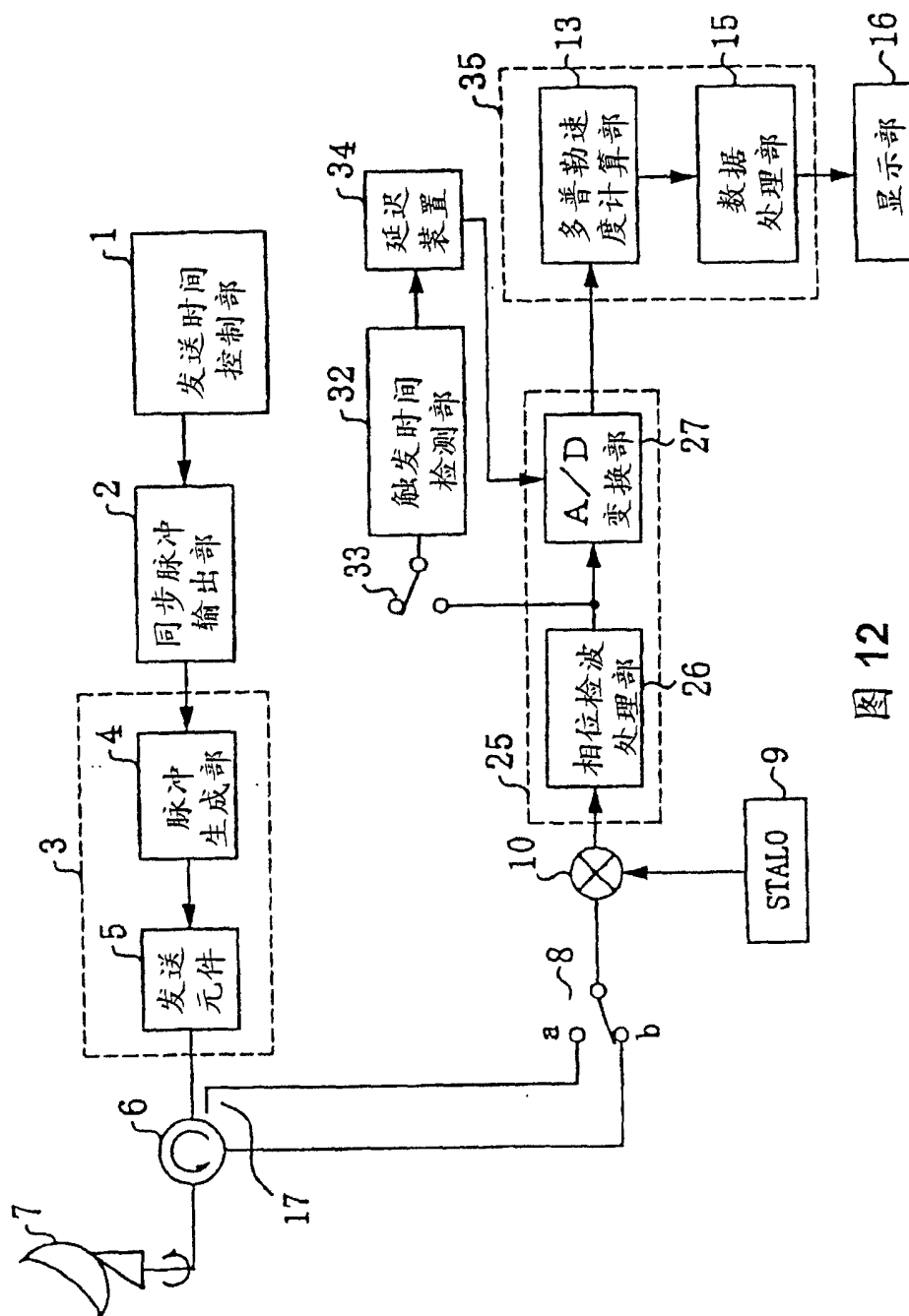


图 12

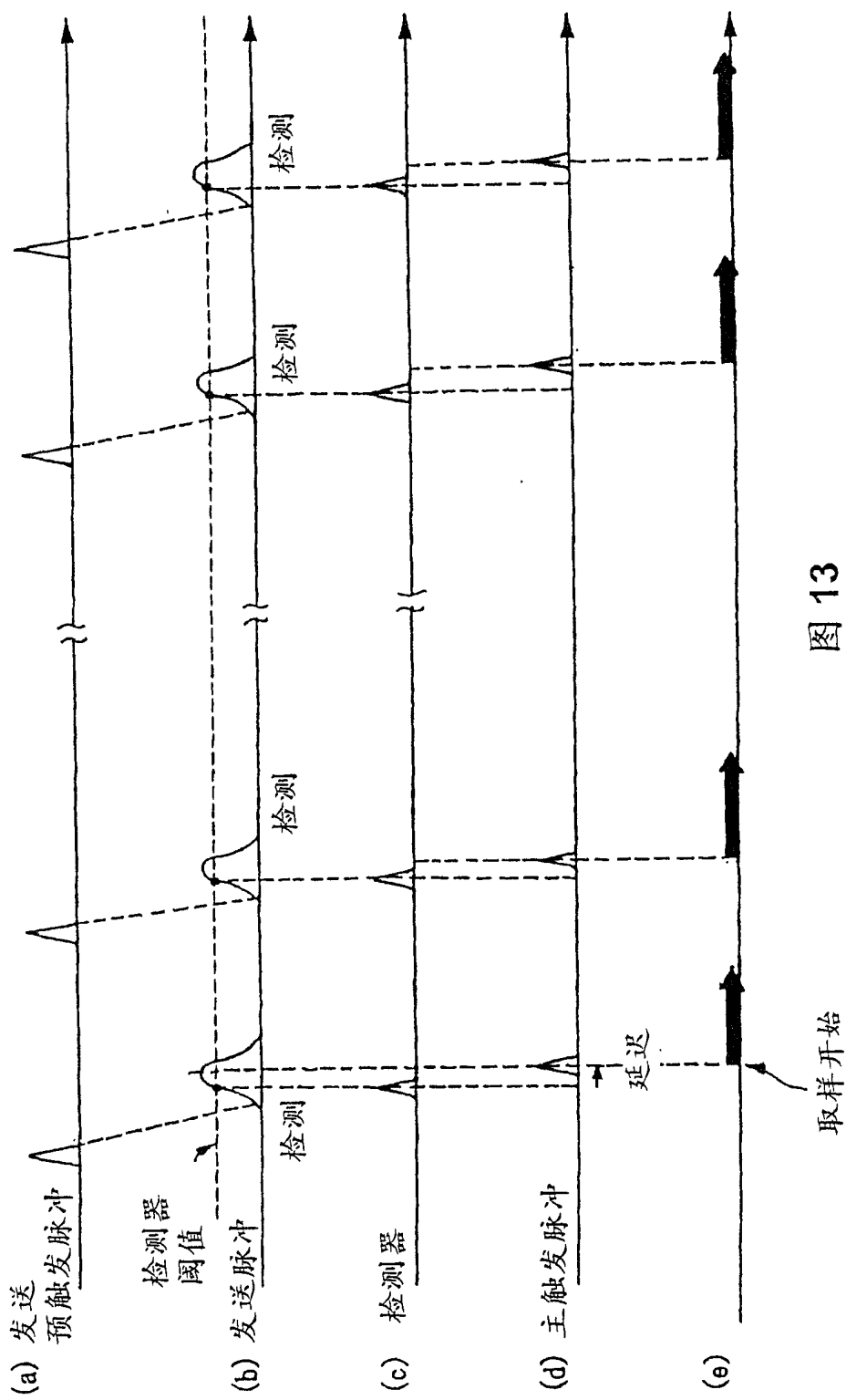


图 13

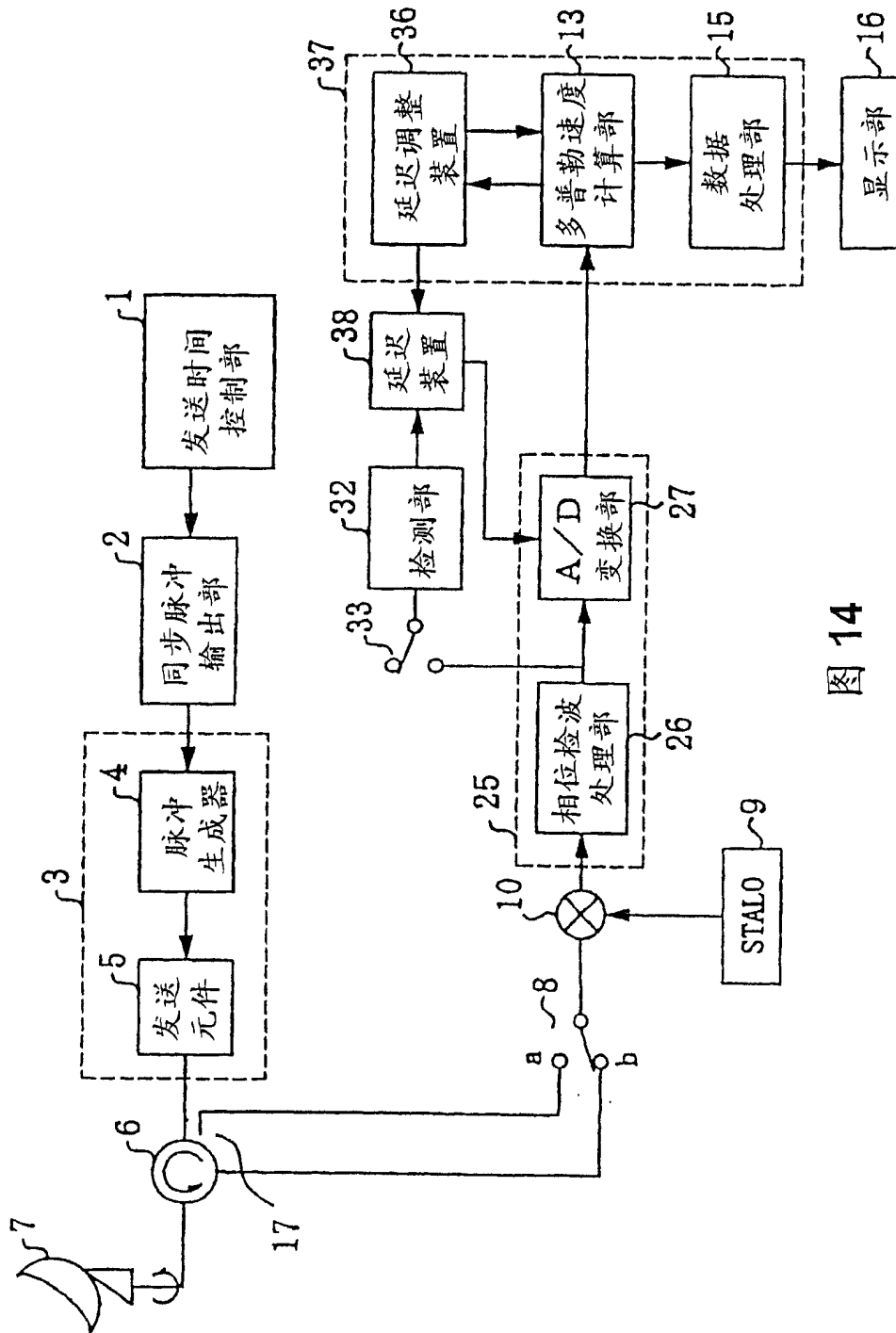


图 14

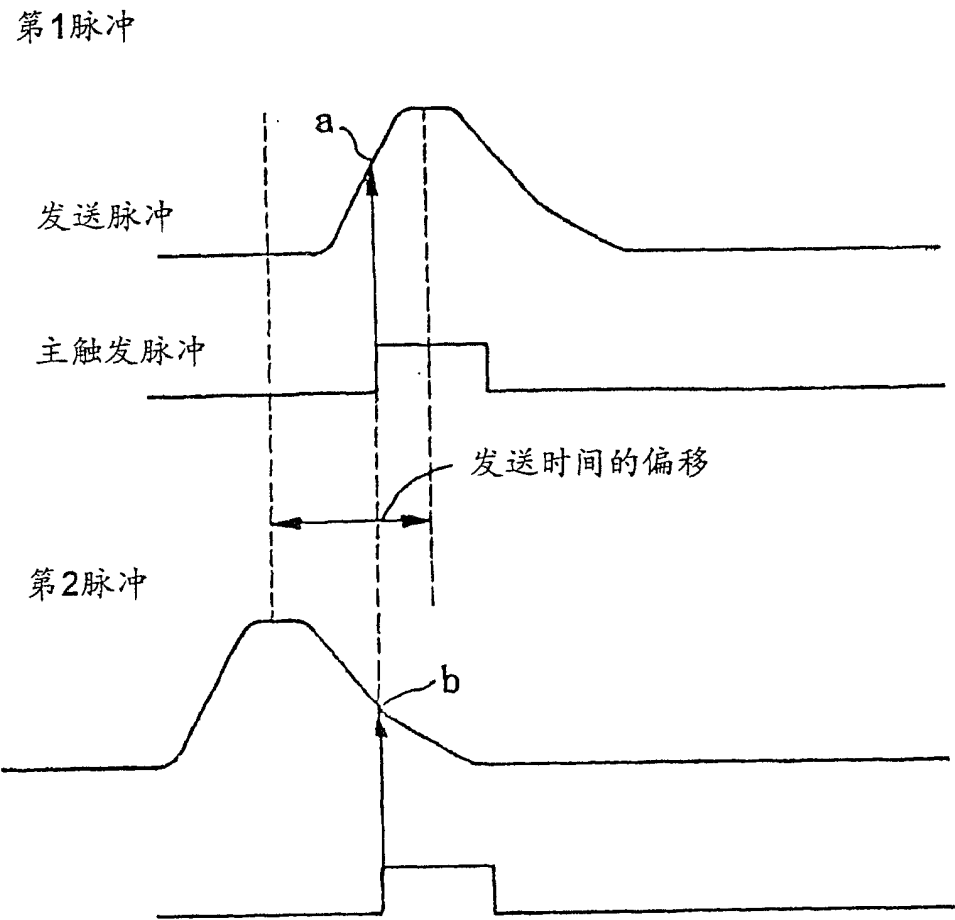


图 15

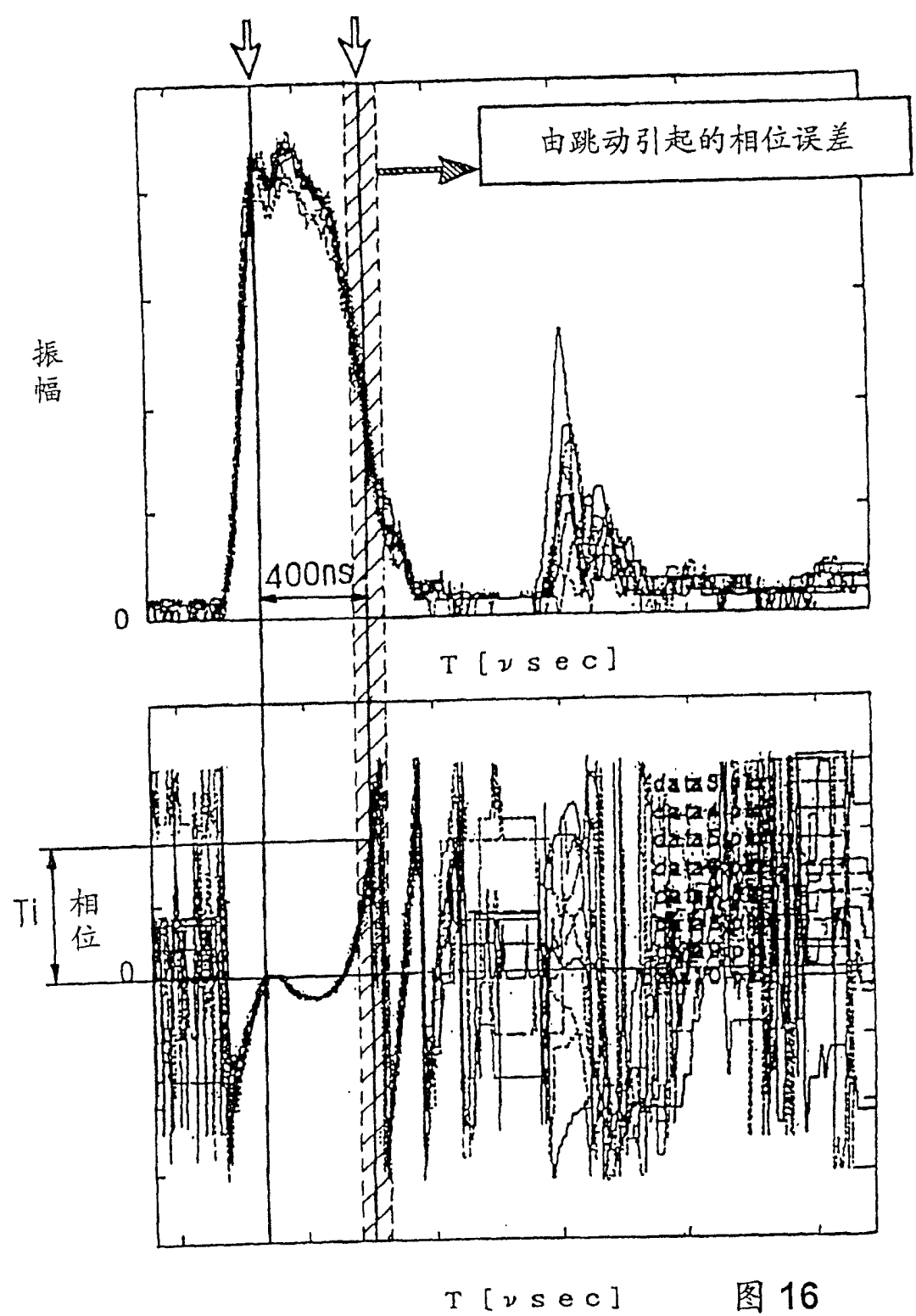


图 16