



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110023789 B

(45) 授权公告日 2022.02.08

(21) 申请号 201780073701.X
 (22) 申请日 2017.11.27
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 110023789 A
 (43) 申请公布日 2019.07.16
 (30) 优先权数据
 2016-230526 2016.11.28 JP
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2019.05.28
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/JP2017/042333 2017.11.27
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02018/097272 JA 2018.05.31
 (73) 专利权人 国立大学法人京都大学
 地址 日本京都府京都市
 (72) 发明人 梅野健 岩田卓也
 (74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
 务所(普通合伙) 11201
 代理人 宋融冰

(51) Int.Cl.
 G01V 1/00 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 1867839 A, 2006.11.22
 CN 101430384 A, 2009.05.13
 CN 103197340 A, 2013.07.10
 Takuya Iwata 等. Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies around the 2011 Tohoku-Oki earthquake.《Journal of Geophysical Research: Space Physics》.2016,第121卷第 8969-8984页.
 Takuya Iwata 等. Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies around the 2011 Tohoku-Oki earthquake.《Journal of Geophysical Research: Space Physics》.2016,第121卷第 8969-8984页.

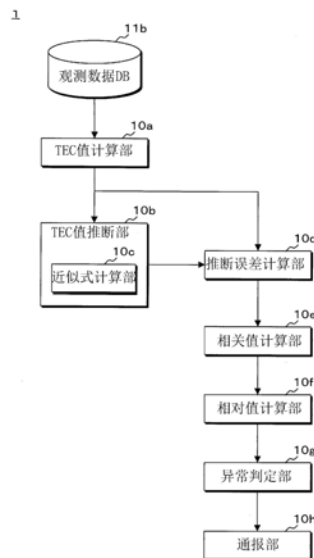
审查员 郭清

权利要求书10页 说明书18页 附图21页

(54) 发明名称
 异常检测装置、通信装置、异常检测方法、程序以及存储介质

(57) 摘要
 基于由地上的观测站从卫星接收到的信号的观测数据,计算观测站与卫星之间的电离层中的全电子数量的从开始观测时起的变化量。基于电离层中的全电子数量的从开始观测时起的变化量的时间变化,推断下一个要计算的全电子数量的变化量,并且计算推断后的全电子数量的变化量、与实际所计算出的全电子数量的变化量之间的差异(推断误差)。计算对各观测站计算出的推断误差、与对各观测站的附近的预定数量的观测站计算出的推断误差之间的相关值。当对每个观测站进行计算的相关值为预定阈值以上的情况下,对该观测站的附近的预定数量的观测站,

即使相关值为预定阈值以上,则判定出在该观测站与卫星之间的电离层中发生异常。



1. 一种异常检测装置,其特征在于,具备:

电子数量计算部,其根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量;

差异计算部,其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异;

选择部,其从每个所述观测站的附近的观测站中,选择从所述观测站隔开预定距离的第一预定数量的观测站;

相关值计算部,其计算由所述差异计算部对每个所述观测站计算出的所述差异、与由所述差异计算部对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值;

判定部,其在由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及

通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报,

在由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为所述预定阈值以上的情况下,当由所述相关值计算部对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,所述判定部判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

2. 一种异常检测装置,其特征在于,具备:

电子数量计算部,其根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量;

差异计算部,其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异;

选择部,其从每个所述观测站的附近的观测站中,选择针对每个所述观测站由所述电子数量计算部计算出的变化量相差预定值以上的第一预定数量的观测站;

相关值计算部,其计算由所述差异计算部对每个所述观测站计算出的所述差异、与由所述差异计算部对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值;

判定部,其在由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及

通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报,

在由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为所述预定阈值以上的情况下,当由所述相关值计算部对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,所述判定部判定出在所述观测站与所述卫星

之间的全电子数量的变化中发生了异常。

3. 一种异常检测装置,其特征在於,具备:

电子数量计算部,其根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量;

差异计算部,其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异;

选择部,其从每个所述观测站的附近的观测站中,选择与每个所述观测站接收的信号类似度小于预定值的第一预定数量的观测站;

相关值计算部,其计算由所述差异计算部对每个所述观测站计算出的所述差异、与由所述差异计算部对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值;

判定部,其在由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及

通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报,

在由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为所述预定阈值以上的情况下,当由所述相关值计算部对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,所述判定部判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的异常检测装置,其特征在於,

所述异常检测装置具备推断部,所述推断部基于由所述电子数量计算部对每个所述观测站在所述第一预定时间范围内计算出的多个变化量,计算表示所述多个变化量的时间变化的近似式,并且基于所计算出的近似式,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量。

5. 根据权利要求4所述的异常检测装置,其特征在於,

所述差异计算部计算以下两个变化量之间的差异:由所述电子数量计算部对每个所述观测站在紧跟所述第一预定时间的第二预定时间范围内以所述预定时间间隔计算出的变化量,由所述推断部在由所述电子数量计算部计算变化量的计算时机基于所述近似式推断出的变化量,

所述相关值计算部计算由所述差异计算部在所述计算时机对各观测站计算出的所述差异、与由所述差异计算部对所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值。

6. 根据权利要求5所述的异常检测装置,其特征在於,

所述相关值计算部基于以下公式1,计算任一个所述观测站 x_0 中的在时刻T的所述相关值 $C(T)$,

数1

$$C(T) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \times (x_{0,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t})$$

公式 1

其中, X_i 表示所述第一预定数量的观测站的任一个,

X_{0,t_0} 表示观测站 x_0 中的在时刻 t_0 的所述差异,

X_{i,t_0} 表示观测站 x_i 中的在时刻 t_0 的所述差异,

另外, 将任意的时刻设为 t , 将所述第一预定时间设为 t_{sample} , 将所述第二预定时间设为 t_{test} , 时刻 T 表示从任意的时刻 t 经过了时间 t_{sample} 以及 t_{test} 的时刻, 并且, M 表示所述第一预定数量, N 表示在第二预定时间 t_{test} 范围内计算出的全电子数量的从开始观测时起的变化量的个数, Δt 是计算全电子数量的从开始观测时起的变化量的时间间隔, 以 $\Delta t = t_{\text{test}} / (N-1)$ 表示。

7. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的异常检测装置, 其特征在于,

所述相关值计算部计算由所述差异计算部对各观测站计算出的所述差异、与由所述差异计算部对所述第一预定数量的观测站之中的两个观测站计算出的所述差异之间的相关值。

8. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的异常检测装置, 其特征在于,

所述异常检测装置具备:

计算部, 其计算由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的在时刻 T 的所述相关值的中央值 $\text{med}(T)$ 以及标准偏差 $\sigma(T)$; 以及

相对值计算部, 其基于由所述计算部计算出的所述中央值 $\text{med}(T)$ 以及标准偏差 $\sigma(T)$, 基于以下公式, 计算各观测站的所述相关值 $C(T)$ 相对于所述中央值 $\text{med}(T)$ 的相对值 $\eta(T)$,

$$\eta(T) = (C(T) - \text{med}(T)) / \sigma(T)$$

在由所述相对值计算部计算出的所述相对值为预定阈值以上的情况下, 当由所述相对值计算部对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相对值为所述预定阈值以上时, 所述判定部判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

9. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的异常检测装置, 其特征在于,

所述异常检测装置具备独立成分分析部, 所述独立成分分析部对由所述观测站的每一个从所述卫星接收到的信号, 执行独立成分分析。

10. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的异常检测装置, 其特征在于,

在由所述判定部对所述多个观测站之中的预定的比例以上的观测站, 判定出发生了异常的情况下, 所述通报部不执行通报的处理。

11. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的异常检测装置, 其特征在于,

在持续判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常的时间达到了预定时间的情况下, 所述判定部确定在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

12. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的异常检测装置, 其特征在于,

所述信号所相关的信息是频率不同的两个信号的各自的相位,

所述电子数量计算部基于所述两个信号的相位差,计算所述大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量。

13. 根据权利要求1至3中任一项所述的异常检测装置,其特征在于,

所述异常检测装置具备特定部,所述特定部基于过去的观测数据,对所述预定阈值进行特定,所述预定阈值是在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中是否发生异常的判断标准。

14. 一种通信装置,其特征在于,具备:

接收部,其接收从权利要求1至3中任一项所述的异常检测装置进行通报的信息;以及
通知部,其通知由所述接收部接收到的信息。

15. 一种异常检测装置,其特征在于,具备:

电子数量计算部,其根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量;

差异计算部,其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异;

选择部,其从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择从所述观测位置隔开预定距离的第一预定数量的观测位置;

相关值计算部,其计算由所述差异计算部对每个所述观测位置计算出的所述差异、与由所述差异计算部针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值;

判定部,其在由所述相关值计算部对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及

通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报,

在由所述相关值计算部对每个所述观测位置计算出的所述相关值为所述预定阈值以上的情况下,当由所述相关值计算部对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,所述判定部判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

16. 一种异常检测装置,其特征在于,具备:

电子数量计算部,其根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量;

差异计算部,其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异;

选择部,其从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择针对每个所述观测位置由所述电子数量计算部计算出的变化量相差预定值以上的第一预定数量的观测位置;

相关值计算部,其计算由所述差异计算部对每个所述观测位置计算出的所述差异、与

由所述差异计算部对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值；

判定部,其在由所述相关值计算部对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及

通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报,

在由所述相关值计算部对每个所述观测位置计算出的所述相关值为所述预定阈值以上的情况下,当由所述相关值计算部对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,所述判定部判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

17. 一种异常检测装置,其特征在于,具备:

电子数量计算部,其根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量;

差异计算部,其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异;

选择部,其从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择与每个所述观测位置接收的信号类似度小于预定值的第一预定数量的观测位置;

相关值计算部,其计算由所述差异计算部对每个所述观测位置计算出的所述差异、与由所述差异计算部对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值;

判定部,其在由所述相关值计算部对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及

通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报,

在由所述相关值计算部对每个所述观测位置计算出的所述相关值为所述预定阈值以上的情况下,当由所述相关值计算部对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,所述判定部判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常。

18. 一种通信装置,其特征在于,具备:

接收部,其接收从权利要求15至17中任一项所述的异常检测装置进行通报的信息;以及

通知部,其通知由所述接收部接收到的信息。

19. 一种异常检测方法,其特征在于,

由异常检测装置执行以下处理:

根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计

算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测站的附近的观测站中,选择从所述观测站隔开预定距离的第一预定数量的观测站,

计算对每个所述观测站计算出的所述差异、与对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

20. 一种异常检测方法,其特征在于,

由异常检测装置执行以下处理:

根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测站的附近的观测站中,选择针对每个所述观测站计算出的变化量相差预定值以上的第一预定数量的观测站,

计算对每个所述观测站计算出的所述差异、与对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

21. 一种异常检测方法,其特征在于,

由异常检测装置执行以下处理:

根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测站的附近的观测站中,选择与每个所述观测站接收的信号的类似度小于预定值的第一预定数量的观测站,

计算对每个所述观测站计算出的所述差异、与对针对各个所述观测站所选择的所述观测站计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

22. 一种异常检测方法,其特征在于,

由异常检测装置执行以下处理:

根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择从所述观测位置隔开预定距离的第一预定数量的观测位置,

计算对每个所述观测位置计算出的所述差异、与对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

23. 一种异常检测方法,其特征在于,

由异常检测装置执行以下处理:

根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择针对每个所述观测位置计算出的变化量相差预定值以上的第一预定数量的观测位置,

计算对每个所述观测位置计算出的所述差异、与对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

24. 一种异常检测方法,其特征在于,

由异常检测装置执行以下处理:

根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择与每个所述观测位置接收的信号的类型相似度小于预定值的第一预定数量的观测位置,

计算对每个所述观测位置计算出的所述差异、与对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

25. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,

所述计算机可读存储介质存储有使计算机执行以下处理的程序:

根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测站的附近的观测站中,选择从所述观测站隔开预定距离的第一预定数量的观测站,

计算对每个所述观测站计算出的所述差异、与对针对各个所述观测站所选择所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

26. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,

所述计算机可读存储介质存储有使计算机执行以下处理的程序:

根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测站的附近的观测站中,选择针对每个所述观测站计算出的变化量相差预定值以上的第一预定数量的观测站,

计算对每个所述观测站计算出的所述差异、与对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

27. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,

所述计算机可读存储介质存储有使计算机执行以下处理的程序:

根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测站的附近的观测站中,选择与每个所述观测站接收的信号类似度小

于预定值的第一预定数量的观测站，

计算对每个所述观测站计算出的所述差异、与对针对各个所述观测站所选择的所述第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值，

在对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下，当针对所述观测站的附近的第二预定数量的观测站的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时，判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常，

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

28. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，

所述计算机可读存储介质存储有使计算机执行以下处理的程序：

根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息，以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量，

基于对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量，推断下一个要计算的变化量，并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异，

从每个所述观测位置的附近的观测位置中，选择从所述观测位置隔开预定距离的第一预定数量的观测位置，

计算对每个所述观测位置计算出的所述差异、与对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值，

在对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下，当针对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时，判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常，

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

29. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，

所述计算机可读存储介质存储有使计算机执行以下处理的程序：

根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息，以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量，

基于对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量，推断下一个要计算的变化量，并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异，

从每个所述观测位置的附近的观测位置中，选择针对每个所述观测位置计算出的变化量相差预定值以上的第一预定数量的观测位置，

计算对每个所述观测位置计算出的所述差异、与针对各个所述观测所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值，

在对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下，当针对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时，判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常，

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

30. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，

所述计算机可读存储介质存储有使计算机执行以下处理的程序：

根据多个观测位置的每一个所相关的信息以及在所述观测位置的每一个从卫星接收的信号所相关的信息,以预定时间间隔计算各观测位置与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量,

基于对每个所述观测位置在第一预定时间范围内计算出的多个变化量,推断下一个要计算的变化量,并计算推断后的变化量、与下一个所计算出的变化量之间的差异,

从每个所述观测位置的附近的观测位置中,选择与每个所述观测位置接收的信号的类似度小于预定值的第一预定数量的观测位置,

计算对每个所述观测位置计算出的所述差异、与对针对各个所述观测位置所选择的所述第一预定数量的观测位置计算出的所述差异之间的相关值,

在对每个所述观测位置计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,当针对所述观测位置的附近的第二预定数量的观测位置的每一个计算出的所述相关值为所述预定阈值以上时,判定出在所述观测位置与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常,

在判定出发生了异常的情况下进行通报。

异常检测装置、通信装置、异常检测方法、程序以及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及异常检测装置、通信装置、异常检测方法、程序以及存储介质。

背景技术

[0002] 进行早期通知地震的发生的地震速报。若发生地震，则从震源传播称为P波(Primary Wave)以及S波(Secondary Wave)的地震波(摆动)。由于P波(初期微动)以及S波(主要震动)所传播的速度不同，因此能够在感测出先传播到的P波的时刻，在传播来S波之前用地震速报通知地震的发生。具体而言，在用设置于靠近震源的场所的地震计感测出P波的时刻，根据P波的观测数据，推断震源的位置以及规模(震级)，基于推断出来的震源的位置以及规模，预测并通知在各地中的S波的到达时刻以及震度。另外，近几年，对地震的发生、与称为高层大气的电离层中的电子数量的变动的关系进行研究。例如，在非专利文献1中报告：在从地震发生大约一个小时之前至地震发生大约30分钟之后的时间段中，震源的上空的电离层中的电子数量，与其前后的时间段中的电离层的电子数量的变动进行比较，异常增加。

[0003] 现有技术文献

[0004] 非专利文献 非专利文献1:Heki, K., "Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake", Geophysical Research Letters, Vol. 38, L17312 (2011)

发明内容

[0005] 发明要解决的问题

[0006] 在非专利文献1中，基于地震发生的前后中的电离层的电子数量的变动，检测地震发生前后大约一个半小时中的电子数量的异常变动(地震的发生)。在事先预测到地震发生的情况下，需要仅利用地震发生前的数据，检测电离层中的电子数量的异常变动。但是，电离层的电子数量，还由于太阳、季节的自然变化、太阳耀斑等宇宙天气而进行变动，因此仅基于地震发生前的数据，难以高精度地检测电离层中的电子数量的异常变动。本发明是鉴于上述情况而做出的，其目的在于提供一种异常检测装置等，其能够仅基于地震发生前的数据，高精度地检测电离层中的电子数量的异常变动。

[0007] 用于解决问题的方案

[0008] 本发明的一个方案的异常检测装置，其特征在于具备：电子数量计算部，其根据由设置于地上的多个观测站的每一个从卫星接收的信号所相关的信息，以预定时间间隔计算各观测站与所述卫星之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量；差异计算部，其基于由所述电子数量计算部对每个所述观测站在第一预定时间范围内计算出的多个变化量，推断下一个由所述电子数量计算部要计算的变化量，并计算推断后的变化量、与下一个由所述电子数量计算部计算出的变化量之间的差异；相关值计算部，其计算由所述差异计算部对每个所述观测站进行计算出的所述差异、与由所述差异计算部对与各个所述观

测站处于预定位置关系的第一预定数量的观测站计算出的所述差异之间的相关值;判定部,其当由所述相关值计算部对每个所述观测站计算出的所述相关值为预定阈值以上的情况下,判定出在所述观测站与所述卫星之间的全电子数量的变化中发生了异常;以及通报部,其在判定出发生了异常的情况下进行通报。发明效果

[0009] 在本发明的一个方案中,能够基于地震发生前(未发生地震时)的大气中的电子数量的变动,高精度地检测电子数量的异常变动。

附图说明

[0010] 图1是表示实施方式1的计算机以及通信装置的结构例的框图。

[0011] 图2是用于说明观测数据的模式图。

[0012] 图3是表示由控制部实现的功能的框图。

[0013] 图4A是用于说明由TEC值计算部计算出的电子数量的模式图。

[0014] 图4B是用于说明由TEC值计算部计算出的电子数量的模式图。

[0015] 图5是用于说明由TEC值计算部计算出的电子数量的模式图。

[0016] 图6是表示由TEC值计算部计算出的TEC值的时间变化的图表。

[0017] 图7A是表示由TEC值计算部计算出的TEC值的时间变化以及由相关值计算部计算出的相关值的时间变化的图表。

[0018] 图7B是表示由TEC值计算部计算出的TEC值的时间变化以及由相关值计算部计算出的相关值的时间变化的图表。

[0019] 图8是表示由异常判定部判定的判定结果的模式图。

[0020] 图9是表示由计算机进行的处理的过程的流程图。

[0021] 图10是表示实施方式2的异常检测系统的结构例的框图。

[0022] 图11是表示由观测站计算机以及中央计算机进行的处理的过程的流程图。

[0023] 图12是表示由实施方式3的计算机的控制部实现的功能的框图。

[0024] 图13是表示由实施方式4的计算机进行的处理的过程的流程图。

[0025] 图14A是用于说明由实施方式4的计算机进行的处理的模式图。

[0026] 图14B是用于说明由实施方式4的计算机进行的处理的模式图。

[0027] 图14C是用于说明由实施方式4的计算机进行的处理的模式图。

[0028] 图15是表示由实施方式5的计算机的控制部实现的功能的框图。

[0029] 图16是表示由实施方式5的计算机进行的处理的过程的流程图。

[0030] 图17是表示由实施方式6的计算机进行的处理的过程的流程图。

[0031] 图18是表示由异常判定部判定的判定结果的模式图。

[0032] 图19是表示由实施方式7的计算机进行的处理的过程的流程图。

[0033] 图20是表示参考数据DB的结构例的模式图。

[0034] 图21是表示由计算机进行的处理的过程的流程图。

具体实施方式

[0035] 以下利用附图对本发明的实施方式进行具体说明。

[0036] 实施方式1 对实施方式1的异常检测装置进行说明。在实施方式1中,将本公开的

程序例如安装于计算机而执行,由此实现本公开的异常检测装置。图1是表示实施方式1的计算机以及通信装置的结构例的框图。计算机1是例如个人计算机、工作站、以及巨型计算机等。具体而言,计算机1包含控制部10、存储部11、存储器12、以及通信部13等,并且这些各部分经由总线相互连接。计算机1除了这些各部分,还可以具备:包含键盘、鼠标等的操作部,以及液晶显示器、有机EL(Electro Luminescence;电致发光)显示器等的显示部。控制部10包含CPU(Central Processing Unit;中央处理单元)或MPU(Micro-Processing Unit;微处理单元)等处理器。控制部10将存储于存储部11的控制程序在适宜存储器12中展开执行,由此进行由计算机1进行的各种控制处理。存储部11例如是硬盘、以及SSD(Solid State Drive;固态硬盘)等。存储部11存储由控制部10执行的各种控制程序以及各种数据。在由存储部11存储的控制程序中包含异常检测程序11a,在由存储部11存储的数据中包含有观测数据数据库(以下,称为观测数据DB)11b。此外,异常检测程序11a以及观测数据DB11b,还可以由CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory;光盘只读存储器)或DVD-ROM(Digital Versatile Disc-ROM;数字化通用磁盘ROM)等存储介质提供。在该情况下,控制部10利用读取装置(未图示)从存储介质读取异常检测程序11a以及观测数据DB11b,从而存储于存储部11。另外,异常检测程序11a以及观测数据DB11b,还可以经由互联网等网络N而提供。在该情况下,控制部10,使异常检测程序11a以及观测数据DB11b,经由通信部13从其他计算机下载而存储于存储部11。此外,还可以将异常检测程序11a以及观测数据DB11b的一个从存储介质获取,将另一个经由网络N而获取是毋庸置疑的。存储器12例如是RAM(Random Access Memory随机存取存储器)、以及闪存器等。存储器12暂时存储在由控制部10执行存储于存储部11的控制程序之时发生的数据。通信部13是用于与网络N连接的接口,经由网络N,与包含通信装置100的其他计算机进行通信。由通信部13进行的通信,既可以是经由电缆的有线通信,也可以是无无线通信。在此,对存储于观测数据DB11b的观测数据进行说明。图2是用于说明观测数据的模式图。观测数据是,关于由设置于地上(地表面)的观测站2从配置于宇宙空间的卫星3接收的信号(电波)的数据。例如,卫星3发送不同频率的两个信号L1、L2,在由观测站2接收到信号L1、L2的各时刻的相位,作为观测数据而被利用。此外,作为信号L1、L2,能够利用例如频率分别为1.5GHz以及1.2GHz的信号。

[0037] 现在,在从地表面的高度大约为2万km的位置中,大约30个GPS(Global Positioning System;全球定位系统)卫星3绕着地球旋转。另外,在日本,在大约1300个地方设置有接收来自GPS卫星3的信号观测站2,组建有观测站2的GEONET(GPS Earth Observation Network;GPS地球观测网络)。GEONET由国土交通省的国土地理院运营,由GEONET(各观测站2)收集的观测数据一般是公开的。于是,在由GEONET收集的数据之中,能够将在由观测站2接收到信号L1、L2的各时刻的相位,作为观测数据而利用。另外,在日本的上空中在高度大约36000km的位置,多个准天顶卫星在准天顶轨道上移动。多个准天顶卫星以始终一颗准天顶卫星存在于日本的天顶(正上方)附近的方式配置。于是,还能够将在由观测站2从准天顶卫星接收到的信号L1、L2的各接收时刻的相位用于观测数据。日本以外的国家也将卫星配置于各自的上空,例如在观测站2设置于印度的情况下,能够将IRNSS(Indian Regional Navigational Satellite System;印度区域导航卫星系统)中的IRNSS卫星用于卫星3。只要能够发送由观测站2可接收的信号L1、L2,卫星3就可以是任何卫星。

在实施方式1的观测数据DB11b中,例如对设置于日本中的所有观测站2,由各观测站2以

预定时间间隔(例如每30秒)接收到的信号L1、L2的相位与接收时刻相关联而存储。通信装置100例如是手机、智能手机、以及个人计算机等。具体而言,通信装置100包含控制部101、存储部102、存储器103、通信部104、以及通知部105等,并且这些各部分经由总线而相互连接。控制部101包含CPU或MPU等处理器,将存储于存储部102的控制程序,在适宜存储器103中展开执行,由此进行由通信装置100进行的各种控制处理。存储部102例如是硬盘、SSD、以及闪存器等,并储存由控制部101执行的各种控制程序以及各种数据。存储器103例如是RAM、以及闪存器等,并且暂时存储在控制部101执行存储于存储部102的控制程序之时发生的数据。通信部104是用于与网络N连接的接口,经由网络N,例如与计算机1进行通信。利用通信部104进行的通信,既可以是经由电缆的有线通信,也可以是无无线通信。通知部105例如包含液晶显示器、有机EL显示器等显示部、灯、蜂鸣器、以及扬声器等,根据来自控制部101的指示,进行向显示部的预定信息的显示、灯的点灯或点灭、蜂鸣器的鸣动、利用扬声器的声音输出等,由此向通信装置100的用户通知预定的状况。其次,对通过由计算机1的控制部10执行异常检测程序11a而实现的功能进行说明。图3是表示由控制部10实现的功能的框图。控制部10执行存储于存储部11的异常检测程序11a,由此实现TEC(Total Electron Content总电子含量)值计算部10a、TEC值推断部10b、推断误差计算部10d、相关值计算部10e、相对值计算部10f、异常判定部10g、以及通报部10h的各功能。TEC值计算部(电子数量计算部)10a,基于存储于观测数据DB11b的观测数据,计算观测站2的每一个与卫星3之间的大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量。具体而言,TEC值计算部10a,基于由各观测站2从卫星3接收到的信号L1、L2的相位,计算各观测站2与卫星3之间的全电子数量的从开始观测时起的变化量。在从卫星3发送的信号(电波)中由于大气中的电子而发生延迟,电子的数量越多延迟就越多。另外,由于由电子引起的延迟的大小随着信号的频率也不同,因此根据从相同的卫星3接收到的不同频率的信号L1、L2的延迟时间的差,能够计算大气中的全电子数量的从开始观测时起的变化量。实施方式1的观测数据是各观测站2以预定时间间隔(例如每30秒)接收到的信号L1、L2的相位。于是,通过由TEC值计算部10a基于观测数据依次进行电子数量的计算处理,从而以预定时间间隔(例如每30秒)计算出各观测站2与卫星3之间的大气中的电子数量的变化量。

[0038] 图4A、图4B以及图5是用于说明由TEC值计算部10a计算出的电子数量的模式图。在图4A、图4B以及图5的上侧中表示地球的截面的一部分,在图5的下侧中表示从上空观察的地球的一部分(地图)。对由TEC值计算部10a计算出的电子数量的单位利用TECU(Total Electron Content unit;总电子含量单位)。1TECU表示如图4A以及图4B所示在连接观测站2与卫星3的半径1m的圆柱C内存在 1×10^{16} 个电子。即,由TEC值计算部10a计算的电子数量,是存在于连接观测站2与卫星3的半径1m的圆柱C内的全电子数量的从开始观测时起的变化量(TEC值)。此外,由于卫星3在轨道上移动,因此如图4A以及图4B所示,圆柱C的容积随着卫星3的位置而变化。大气中的电子在高度大约300km附近密度最高,该区域称为电离层。另外,可以这么考虑:存在于圆柱C内的电子数量,与存在于圆柱C与电离层交叉的区域R内的电子数量大致相同。于是,由TEC值计算部10a计算的全电子数量的从开始观测时起的变化量,能够作为圆柱C与电离层交叉的区域R中的全电子数量的从开始观测时起的变化量(TEC值)而进行处理,该圆柱C连接观测站2与卫星3。在此,存在如下情况:由TEC值计算部10a计算的TEC值的电离层中的区域R的正下方的位置(经度以及纬度),与观测站2的位置(经度以

及纬度)不一致。所谓区域R的正下方的位置,是将区域R向竖直下方向下降的地表面的位置。例如,如图4B所示,在观测站2的正上方(竖直上方向)存在卫星3的情况下,区域R的正下方的位置与观测站2的位置一致。另一方面,如图4A以及图5所示,在观测站2的正上方不存在卫星3的情况下,区域R的正下方的位置与观测站2的位置不一致。在图4A中,区域R的正下方的位置比观测站2的位置更靠近右侧而错开。此外,将区域R的正下方的位置(场所)称为亚电离层点(SIP:Sub-Ionospheric point)。另外,在以下还存在如下情况:例如将SIP的上空的电离层中的TEC值,称为SIP中的TEC值。观测站2的位置(经度以及纬度)预先知道。另外,卫星3的高度以及卫星3的正下方的位置(经度以及纬度)的信息,包含于由观测站2从卫星3接收到的信号。于是,能够利用这些信息计算出SIP的信息(经度以及纬度)。TEC值计算部10a计算出各观测站2与卫星3之间的TEC值,并且还计算出与所计算出的TEC值对应的SIP的信息(经度以及纬度)。此外,在图5的下侧的图(地图)中,图示与各TEC值对应而计算的SIP,由此可知:卫星3随着时间的流逝而移动,SIP也随着移动。TEC值计算部10a,使所计算出的TEC值以及SIP的信息,例如与作为原始数据的观测数据的接收时刻相关联而存储于存储部11。此外,TEC值以及SIP的信息,既可以存储于观测数据DB11b,也可以存储于在存储部11中被作成的另外数据库。

[0039] 图6是表示由TEC值计算部10a计算出的TEC值的时间变化的图表。图6的横轴表示时间(例如协定世界时间或日本标准时间),纵轴表示由TEC值计算部10a计算出的TEC值。图6中的实线A图示:对某观测站2,在从任意的时刻(T)开始至时刻 $(T + T_{\text{sample}} + T_{\text{test}})$ 为止的时间的范围内,由TEC值计算部10a以预定时间间隔计算出的TEC值。TEC值推断部(推断部)10b对每一个观测站2(SIP),基于由TEC值计算部10a在第一预定时间(在以下称为取样时间 t_{sample})范围内计算出的多个TEC值,推断由TEC值计算部10a在紧跟取样时间的第二预定时间(在以下称为测试时间 t_{test})范围内要计算的TEC值。此外,由TEC值推断部10b推断的TEC值,是各观测站2与卫星3中的在SIP中的TEC值。取样时间例如能够设为两个小时,测试时间例如能够设为0.25小时(15分钟),但不限于这些时间。此外,在将取样时间设为两个小时,将测试时间设为0.25小时,将由TEC值计算部10a计算出的TEC值的计算间隔(由观测站2接收的信号L1、L2的接收间隔)设为30秒的情况下,TEC值计算部10a在取样时间内计算出240个TEC值,在测试时间内计算30个TEC值。TEC值推断部10b具有近似式计算部10c。近似式计算部10c,对每一个观测站2,根据最小二乘法计算近似式,所述近似式表示在取样时间内计算出的多个TEC值的时间变化。近似式例如能够利用七次多项式函数,但不限于此,还能够利用五次多项式函数、三阶傅里叶级数、以及七阶高斯函数等。图6中的虚线B表示,对某观测站2,基于由近似式计算部10c计算出的近似式,在各时刻的TEC值。TEC值推断部10b,基于由近似式计算部10c计算出的近似式,针对在测试时间内由TEC值计算部10a计算TEC值的时机(以下,称为计算时机)的每一个,推断由TEC值计算部10a要计算的TEC值。在图6中的虚线中,测试时间的部分表示由TEC值推断部10b推断的TEC值(推断TEC值)。推断误差计算部(差异计算部)10d,对每一个观测站2(SIP),在测试时间内的各计算时机,计算由TEC值计算部10a计算出的TEC值、与由TEC值推断部10b推断的推断TEC值之间的差异(以下,称为推断误差)。TEC值计算部10a、TEC值推断部10b、以及推断误差计算部10d,对各个观测站2的每一个观测数据进行处理。于是,由TEC值计算部10a计算出的TEC值以及SIP的信息、由TEC值推断部10b计算出的推断TEC值、以及由推断误差计算部10d计算出的推断误差,能

够与存储于观测数据DB11b的各观测站2的观测数据相关联,从而存储于观测数据DB11b。此外,各数据无需存储于观测数据DB11b,在每一个观测站2存储于存储部11即可。相关值计算部10e,在测试时间内的各计算时机,基于由推断误差计算部10d计算出的各观测站2(各SIP)中的推断误差,进行处理。相关值计算部10e,在测试时间内的各计算时机,将多个观测站2之中的一个设为中央观测站,将该中央观测站的附近的第一预定数量(例如30个)的观测站2设为外围观测站。优选地,在外围观测站中,以与中央观测站的位置接近的顺序选择第一预定数量的观测站2。而且,相关值计算部10e计算出如下推断误差之间的相关值:对中央观测站由推断误差计算部10d计算出的推断误差,对外围观测站的每一个由推断误差计算部10d计算出的推断误差的每一个。相关值计算部10e,将中央观测站 x_0 中的在时刻T的相关值 $C(T)$,例如基于以下公式1进行计算。

[0040] 数1

$$[0041] \quad C(T) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^{N-1} (x_{i,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t}) \times (x_{0,t+t_{\text{sample}}+j\Delta t})$$

[0042]

公式1

[0043] 只是, X_0 :中央观测站, x_i :外围观测站的任一个, X_{0,t_0} :中央观测站 x_0 中的在时刻 t_0 的推断误差, X_{i,t_0} :外围观测站 x_i 中的在时刻 t_0 的推断误差, t :任意的时刻, t_{sample} :取样时间(第一预定时间), t_{test} :测试时间(第二预定时间), M :外围观测站的数量(第一预定数量), T :从时刻T起经过了时间 T_{sample} 以及 T_{test} 的时刻, N :由TEC值计算部10a在测试时间内计算出的TEC值的个数, Δt :TEC值的计算时机的时间间隔($\Delta t = t_{\text{test}} / (N-1)$) 相关值计算部10e,对所有的观测站2,将各观测站2作为中央观测站而进行上述的处理,对测试时间内的每一个计算时机计算观测站2的每一个的相关值 $C(T)$ 。此外,优选地,在计算相关值 $C(T)$ 之时利用的中央观测站中的推断误差、与外围观测站的每一个中的推断误差,利用基于从同一的卫星3接收到的观测数据而计算出的值。由于各观测站2之间的距离预先知道,因此在将各观测站2设为中央观测站的情况下,作为外围观测站而选择的观测站2预先知道。于是,对各观测站2,在将各观测站2设为中央观测站的情况下,还可以将设为外围观测站的第一预定数量的观测站2预先存储于存储部11。此外,外围观测站的数量(第一预定数量)例如能够设为30个,但不限于此。

[0044] 图7A以及图7B是表示由TEC值计算部10a计算出的TEC值的时间变化以及由相关值计算部10e计算出的相关值的时间变化的图表。图7A表示未发生地震时(地震发生前)的TEC值以及相关值的时间变化。图7A的左侧是表示TEC值的时间变化的图表,横轴表示时间,纵轴表示由TEC值计算部10a计算出的TEC值。图7A的右侧是表示相关值的时间变化的图表,横轴表示时间,纵轴表示由相关值计算部10e计算出的相关值。图7B表示在发生地震(时间5:45)的前后的TEC值以及相关值的时间变化。与图7A相同地,图7B的左侧是表示TEC值的时间变化的图表,右侧是表示相关值的时间变化的图表。如图7A所示,在TEC值的时间变化随着卫星3的移动而进行的通常的变化的情况下,由推断误差计算部10d计算出的推断误差大约为0,在该情况下由相关值计算部10e计算出的相关值是接近0的较小的值,变化也较少。另一方面,如图7B所示,在TEC值的时间变化发生异常的情况下,由推断误差计算部10d计算出

的推断误差变大,在该情况下由相关值计算部10e计算出的相关值变化较大。即,通过观察由相关值计算部10e计算出的相关值,从而能够检测TEC值的异常变化。如上述的公式1所示,在实施方式1中,中央观测站 x_0 中的在时刻T的相关值 $C(T)$ 是,以在测试时间内的计算时机的每一个中的中央观测站 x_0 中的推断误差、与外围观测站 x_i 中的推断误差的乘积的总和,除以乘积的个数的值(平均值)。即,相关值计算部10e计算相同时刻中的在两点(中央观测站 x_0 以及外围观测站 x_i)的推断误差之间的相关值。此外,待计算的相关值不限于两点之间的相关值,例如还能够利用三点之间的相关值。在该情况下,例如,能够将平均值用于相关值,该平均值是以中央观测站中的推断误差、与任何两个外围观测站中的推断误差的乘积的总和,除以乘积的个数的值。相对值计算部10f,在时刻T,基于由相关值计算部10e计算出的所有的观测站2(中央观测站)中的相关值,进行处理。相对值计算部(计算部)10f,在时刻T计算出由相关值计算部10e计算出的各观测站2(SIP)中的相关值的中央值 $med(T)$ 以及标准偏差 $\sigma(T)$ 。而且,相对值计算部10f,利用所计算出的中央值 $med(T)$ 以及标准偏差 $\sigma(T)$,例如基于以下的公式2而进行计算相对值 $\eta(T)$,该相对值 $\eta(T)$ 表示各观测站2中的相关值 $C(T)$ 与中央值 $med(T)$ 何种程度不同。

[0045] $\eta(T) = (C(T) - med(T)) / \sigma(T) \dots$ (公式2)

[0046] 异常判定部10g,在时刻T,基于由相对值计算部10f计算出的所有的观测站2(所有的SIP)中的相对值 $\eta(T)$,进行处理。异常判定部10g判定出由相对值计算部10f计算出的各观测站2(各SIP)的相对值是否分别为预定阈值(例如3.5)以上。而且,异常判定部10g,将相对值为预定阈值以上的观测站2(SIP),作为SIP中的TEC值具有异常变化的可能性的观测站2(在以下称为异常观测站2)而提取。图8是表示由异常判定部10g判定的判定结果的模式图。在图8所示的地图中,在观测站2作为异常观测站2而被提取的SIP附注黑色三角形的标记,在观测站2未作为异常观测站2而被提取的SIP附注白色圆圈的标记。已知:从发生大地震大约一个小时之前,在靠近震源的SIP中,电离层的TEC值发生异常变化。于是,如下可能性较高:在各SIP的相对值小于预定阈值的情况下,即,在各SIP中的相关值与相关值的中央值相比无变化的情况下,是TEC值只随着卫星3的移动而进行一般变化的状况,或者是虽大于一般变化,但是只因由发生大地震以外的要因引起的变化的状况。从而,通过根据各SIP的相对值是否为预定阈值以上,判定各SIP中的TEC值是否发生异常变化,从而能够确保判定的正确性。此外,预定阈值只要是能够判定出因发生大地震在TEC值中是否发生异常变化的值,就可以是任何值。

[0047] 在实施方式1中,对在各SIP中的TEC值是否发生异常变化的判定,利用在各SIP(观测站2)中所计算出的相对值 $\eta(T)$,但也能够利用由相关值计算部10e计算出的各SIP中的相关值。在该情况下,在各SIP中的相关值为预定阈值(例如 3.5σ)以上的情况下,能够判定出在各SIP中的TEC值发生异常变化。异常判定部10g,对作为异常观测站2而被提取的观测站2,判断出附近的第二预定数量(例如4个)的观测站2是否也作为异常观测站2而被提取。即,判断:附近的观测站2是否也判定为具有SIP中的TEC值发生异常变化的可能性。在发生大地震之前产生的TEC值的异常变化,在震源附近的上空的电离层中显著。从而,如下可能性较高:不只在SIP(观测站2)中,在附近的多个SIP(观测站2)中也具有TEC值发生异常变化的可能性。于是,在附近的多个观测站2也作为异常观测站2而被提取的情况下,能够判定出该观测站2(SIP)中的TEC值切实地发生异常变化。从而,异常判定部10g确定发生异常。此

外,附近的观测站2的数量(第二预定数量)不限于4个。在异常判定部10g确定了发生异常的情况下,通报部10h将关于发生了异常(TEC值发生了异常变化)的观测站2(SIP)的信息,例如经由通信部13向通信装置100通报。在接收通报的通信装置100中,通信部104从计算机1接收被通报的信息,控制部101,将用通信部104接收的信息,用通知部105向通信装置100的用户通知。例如,通知部105,根据来自控制部101的指示,将用于通知TEC值发生异常变化的观测站2(SIP)的信息,显示于显示部,或者将所述信息用扬声器语音输出。此外,通知部105还可以是如下结构:通过灯的点灯或点灭、以及蜂鸣器的鸣动,通知TEC值发生异常。

[0048] 在实施方式1中,通过由计算机1的控制部10执行异常检测程序11a,从而实现上述的各功能。除此之外,还可以是如下结构:例如利用现场可编程门阵列(FPGA:Field ProgRAMmable Gate Array),实现上述的功能的一部分。例如,还可以用一个或多个FPGA实现TEC值计算部10a、TEC值推断部10b、推断误差计算部10d、以及相关值计算部10e。其次,对由计算机1进行的处理进行说明。图9是表示由计算机1进行的处理的过程的流程图。以下的处理,根据存储于计算机1的存储部11的异常检测程序11a,利用控制部10执行。在观测数据DB11b中存储有关于由各观测站2从卫星3接收到的信号(电波)的观测数据,具体而言存储有接收到不同频率的两个信号L1、L2的在各时刻的相位。计算机1的控制部10(TEC值计算部10a),基于存储于观测数据DB11b的观测数据,对每一个观测站2,计算各观测站2与卫星3之间的大气中(电离层)的TEC值(S1)。此外,控制部10对每一个观测站2以预定时间间隔(例如每30秒)计算TEC值。控制部10,基于存储于观测数据DB11b的所有的观测数据,依次计算TEC值。另外,在观测数据DB11b中存储有新的观测数据的情况下,控制部10,在预定的时机,基于新存储的观测数据,依次计算TEC值。控制部10,与TEC值一起,还计算与该TEC值对应的SIP的信息(经度以及纬度),所计算出的TEC值以及SIP的信息依次存储于存储部11(例如观测数据DB11b)。其次,控制部10(近似式计算部10c),对每一个观测站2(SIP),将某时刻作为取样时间的开始时刻,利用最小二乘法计算近似式,所述近似式表示在取样时间内计算出的多个TEC值的时间变化(S2)。而且,控制部10(TEC值推断部10b),基于所计算出的近似式,计算与紧跟取样时间的测试时间中的TEC值的计算时机的每一个相关联的推断TEC值(S3)。其次,控制部10(推断误差计算部10d),对每一个观测站2(SIP),在测试时间内的各计算时机,计算在步骤S1中计算出的TEC值、与在步骤S3中计算出的推断TEC值之间的推断误差(S4)。其次,控制部10(相关值计算部10e),在测试时间内的各计算时机,将观测站2的每一个作为中央观测站,将中央观测站的附近的第一预定数量的观测站2作为外围观测站,基于上述公式1,计算各个观测站2(中央观测站)中的相关值(S5)。其次,控制部10(相对值计算部10f),相对于各计算时机计算所计算出的各观测站2(各中央观测站)中的相关值的中央值以及标准偏差(S6)。而且,控制部10,利用所计算出的中央值以及标准偏差,基于上述的公式2,计算各观测站2(各中央观测站)中的相关值相对于中央值的相对值(表示相关值与中央值何种程度不同的值),进行计算(S7)。其次,控制部10(异常判定部10g),基于所计算出的各观测站2(各SIP)中的相对值是否分别为预定阈值以上,判定各SIP中的TEC值是否发生异常变化(S8)。控制部10,将相对值为预定阈值以上的观测站2作为异常观测站2而提取。其次,控制部10对作为异常观测站2而提取了的观测站2,判定附近的第二预定数量的观测站2是否也被提取。即,判定与附近的观测站2对应的SIP中的TEC值是否也发生异常

变化。在附近的第二预定数量的观测站2也被提取的情况下,控制部10确定与该观测站2对应的SIP中的TEC值发生异常变化。控制部10对作为异常观测站2而提取了的各观测站2,判断是否确定为SIP中的TEC值发生异常变化(S9)。在对任一个观测站2也未确定的情况下(S9:否),控制部10结束处理。在对任一个观测站2确定了发生异常变化的情况下(S9:是),控制部(通报部10h)10,将关于确定了发生异常的观测站2(SIP)的信息,例如向通信装置100进行通报(S10),结束处理。控制部10,例如将每一个预定时间(例如每30秒)的各时刻分别作为取样时间的开始时刻,进行步骤S2~S10的处理。由此,能够早期检测出各SIP中的TEC值的异常变化。在从计算机1接收到通报的通信装置100中,通信部104接收被通报的信息,控制部101,基于由通信部104接收到的信息,用通知部105通知在任一个观测站2(SIP)中的TEC值中发生了异常。在实施方式1中,由观测站2从卫星3接收到的信号(直达波),用于观测数据。存在如下情况:作为观测数据,例如是,在从地上的发射天线发送的信号被电离层反射之后用地上的接收天线接收的结构中,利用以接收天线接收到的信号(反射波)。如实施方式1所示,在利用直达波的情况下,与利用反射波的情况进行比较,在通信路径中对接收信号施加的噪音较少,能够得到精度较高的观测数据。于是,通过利用精度较高的观测数据,从而能够高精度地检测出电离层的TEC值的变化。另外,通过利用直达波,从而能够基于观测站2的位置与卫星3的位置,容易特定电离层中的观测位置(SIP)。

[0049] 在实施方式1中,具有如下可能性:在对某SIP计算出的相对值为预定阈值(例如3.5)以上的情况下,或所计算出的相关值为预定阈值(例如 3.5σ)以上的情况下,判定出该SIP中的TEC值发生异常变化。而且,当判定出具有TEC值发生异常变化的可能性的SIP的附近的第二预定数量的SIP中的TEC值,也判定出具有发生异常变化的可能性的情况下,确定为该SIP中的TEC值切实地发生异常变化。由此,能够高精度地检测出TEC值仅随着发生大地震而引起的异常变化,能够抑制误通报。确定为各SIP中的TEC值发生异常变化的方法,不限于上述的方法。例如,还可以基于判定出具有各SIP中的TEC值发生异常变化的可能性的次数(计算时机的次数),确定各SIP中的TEC值的异常变化。即,在判定出具有在各SIP中TEC值在预定时间范围内发生异常变化的可能性的情况下,也能够确定该SIP中的TEC值的异常变化。另外,还可以是,当判定出具有TEC值发生异常变化的可能性的SIP(观测站2)的数量,是多个观测站2之中的一定比例以上(例如30%以上)的情况下,所检测出的TEC值的异常,被确定为不是随着发生大地震而发生的异常,而是由宇宙天气、太阳、季节的自然变化引起的异常,计算机1不进行通报处理。已知:由发生地震以外的要因引起的电离层(TEC值)的异常,用能够观测的观测站2之中的一定比例以上的观测站2进行检测。于是,当用一定比例以上的观测站2同时检测出TEC值的异常的情况下,确定为不是随着发生大地震而发生的异常,由此能够排除由发生地震以外的要因引起的TEC值的异常。于是,能够高精度地检测出仅随着发生大地震而发生的TEC值的异常变化,并且能够进行通报。

[0050] 在实施方式1中,能够早期且高精度地检测出电离层中的TEC值的异常变化。已知:从发生大地震的大约一个小时之前起,电离层中的TEC值发生异常变化。于是,能够早期通报由计算机1检测出的电离层中的TEC值的异常变化。另外,将由计算机1检测出的电离层中的TEC值的异常变化,能够在发生地震之前,利用于具有接下来发生的可能性较高的大地震的震源的预测。例如,通过将TEC值发生异常变化的电离层(SIP)与震源的位置关系、各SIP中的地盘的信息等,从预先过去的的数据中预先导出,并且利用这些信息,能够预测震源的场

所。当利用了如图8所示的判定结果的情况下,从九州的东南端更靠近东南的海上的SIP中的TEC值发生异常变化,因此能够预测出发生以该地方的附近为震源的地震的可能性较高。于是,例如,当在通报者的通信装置100中,基于从计算机1通报的信息,在发生地震之前预测地震的发生以及震源,在将预测到的信息用于紧急速报的情况下,例如能够在发生地震30分钟左右之前发送紧急速报。

[0051] 实施方式2 对上述的实施方式1的异常检测装置中的变形例进行说明。在实施方式1中,对利用一个计算机1进行所有的处理的结构进行了说明。相对于此,在实施方式2中,对如下结构进行说明:将由实施方式1的计算机1进行的处理,利用多个计算机分散进行。

[0052] 图10是表示实施方式2的异常检测系统的结构例的框图。实施方式2的异常检测系统具有:多个观测站计算机5,其设置于各观测站2;以及一个中央计算机4。观测站计算机5以及中央计算机4例如是个人计算机、工作站、巨型计算机等。在实施方式2中,本公开的异常检测程序的一部分(推断误差计算程序51a)安装于各个观测站计算机5,其余部分(异常检测程序41a)安装于中央计算机4,作为整体而进行与实施方式1的计算机1相同的处理。观测站计算机5包含控制部50、存储部51、存储器52、以及通信部53等,这些各部分经由总线而相互连接。控制部50包含CPU或MPU等处理器,将存储于存储部51的控制程序,在适宜存储器52中展开执行,由此进行由观测站计算机5执行的各种控制处理。存储部51例如是硬盘、SSD等,存储由控制部50执行的各种控制程序以及各种数据。在由存储部51存储的控制程序中包含有推断误差计算程序51a,在由存储部51存储的数据中包含有观测数据DB51B。存储器52例如是RAM、闪存器等,并且暂时存储在由控制部50执行存储于存储部51的控制程序之时发生的数据。通信部53是用于与网络N连接的接口,经由网络N,与其他计算机进行通信。利用通信部53进行的通信,既可以是经由电缆的有线通信,也可以是无无线通信。存储于观测数据DB51B的观测数据的内容,与实施方式1的观测数据相同,但只是关于由设置有观测站计算机5的观测站2从卫星3接收到的信号(电波)的数据。观测站计算机5的控制部50执行推断误差计算程序51a,由此实现由实施方式1的计算机1的控制部10实现的功能之中的TEC值计算部10a、TEC值推断部10b、以及推断误差计算部10d的各功能。此外,由观测站计算机5的控制部50实现的TEC值计算部10a、TEC值推断部10b、以及推断误差计算部10d,只是基于利用设置于自身的观测站计算机5的观测站2观测的观测数据,进行处理。于是,例如TEC值计算部10a只计算出设置有自身的观测站计算机5的观测站2与卫星3之间的TEC值。实施方式2的TEC值推断部10b、推断误差计算部10d,进行与实施方式1相同的处理。观测站计算机5的控制部50,将在测试时间内的各计算时机由推断误差计算部10d计算出的推断误差,从通信部53向中央计算机4发送。此外,控制部50,使测试时间内的各计算时机(观测数据的各接收时刻)、与由TEC值计算部10a计算出的SIP的信息、与推断误差相关联,从而向中央计算机4发送。中央计算机4包含控制部40、存储部41、存储器42、以及通信部43等,这些各部分经由总线而相互连接。控制部40包含CPU或MPU等处理器,将存储于存储部41的控制程序在适宜存储器42中展开执行,由此进行由中央计算机4进行的各种控制处理。存储部41例如是硬盘、SSD等,并且存储由控制部40执行的各种控制程序以及各种数据。在由存储部41存储的控制程序中包含有异常检测程序41a,在由存储部41存储的数据中包含有推断误差数据库(以下,称为推断误差DB)41b。存储器42例如是RAM、闪存器等,并且暂时存储在由控制部40执行存储于存储部41的控制程序之时发生的数据。通信部43是用于与网络N连接的接

口,并且经由网络N,与其他计算机进行通信。利用通信部43进行的通信,既可以是经由电缆的有线通信,也可以是无绳通信。在推断误差DB41b中,与各观测站2相关联地存储有从各观测站计算机5接收的测试时间内的各计算时机、SIP的信息、以及推断误差。控制部40,每次从各观测站计算机5接收各信息时,与观测站2相关联地存储于推断误差DB41b。中央计算机4的控制部40执行异常检测程序41a,由此实现由实施方式1的计算机1的控制部10实现的功能之中的相关值计算部10e、相对值计算部10f、异常判定部10g、以及通报部10h的各功能。实施方式2的相关值计算部10e,基于从各观测站2接收并存储于推断误差DB41b的推断误差,在测试时间内的各计算时机,计算各观测站2(中央观测站)中的相关值。实施方式2的相对值计算部10f、异常判定部10g、以及通报部10h,进行与实施方式1相同的处理。观测站计算机5以及中央计算机4,除了上述的各部分以外,还可以具备包含键盘、鼠标等的操作部,以及液晶显示器、有机EL显示器等显示部。其次,对在实施方式2的异常检测系统中由观测站计算机5以及中央计算机4进行的处理进行说明。图11是表示由观测站计算机5以及中央计算机4进行的处理的过程的流程图。在图11中,在左侧表示由观测站计算机5进行的处理,在右侧表示由中央计算机4进行的处理。在各观测站计算机5的观测数据DB51B中,存储有关于由设置有各观测站计算机5的观测站2从卫星3接收到的信号(电波)的观测数据。观测站计算机5的控制部50,进行与如图9所示的由实施方式1的计算机1进行的步骤S1~S4的处理相同的处理(S21~S24)。此外,观测站计算机5,基于存储于观测数据DB51B的观测数据,计算设置有自身的观测站计算机5的观测站2与卫星3之间的电离层(SIP)的各值(TEC值、近似式、推断TEC值、以及推断误差)。控制部50将在步骤S24中计算出的推断误差,从通信部53向中央计算机4发送(S25)。中央计算机4的控制部40,将从各观测站计算机5接收到的推断误差,在每一个观测站2存储于推断误差DB41b(S26)。而且,中央计算机4的控制部40,进行如图9所示的与由实施方式1的计算机1进行的步骤S5~S10的处理相同的处理(S27~S32)。

[0053] 如上所述,即使将由实施方式1的计算机1进行的处理,分散于观测站计算机5以及中央计算机4的情况下,也得到与实施方式1相同的效果。于是,在实施方式2中,也能够高精度地检测出电离层中的TEC值的变化,并且能够高精度地检测出TEC值仅随着发生大地震而发生的异常变化。另外,在实施方式2中,将在各观测站2中能够执行的处理,由观测站计算机5进行,由此能够减轻中央计算机4中的处理负担。实施方式3 对上述的实施方式1中的异常检测装置的变形例进行说明。实施方式3的异常检测装置,能够利用实施方式1的计算机1实现。于是,省略对实施方式3的计算机1的结构说明。

[0054] 图12是表示利用实施方式3的计算机1的控制部10实现的功能的框图。在实施方式3的计算机1中,也由控制部10执行异常检测程序11a,由此实现TEC值计算部10a、TEC值推断部10b、推断误差计算部10d、相关值计算部10e、相对值计算部10f、异常判定部10g、以及通报部10h的各功能。这些各部分进行与实施方式1相同的处理。

在实施方式3的计算机1中,控制部10还实现独立成分分析部10i的功能。独立成分分析部10i,针对存储于观测数据DB11b的观测数据,进行分离为从卫星3发送的信号的成分、与在通信路径中对信号施加的噪音的成分的分离处理。于是,实施方式3的TEC值计算部10a,基于由独立成分分析部10i处理的观测数据,进行TEC值的计算。如此,通过对用于TEC值的计算的观测数据进行独立成分分析,从而能够从由观测站2接收到的信号去除噪音成分,并能

够获取精度更高的观测数据。于是,通过利用这种观测数据,从而能够高精度地检测出电离层的TEC值的变化。

[0055] 实施方式3的结构还能够适用于实施方式2。即,在实施方式2中能够采用如下结构:观测站计算机5针对存储于观测数据DB51B的观测数据,利用独立成分分析部10i进行处理之后,利用TEC值计算部10a进行TEC值的计算处理。即使在该情况下,也能够获取去除噪音的高精度的观测数据,因此能够高精度地检测出电离层的TEC值的变化。即使在这种结构的情况下,也能够实现与上述的实施方式1、2相同的动作,因此得到相同的效果。

[0056] 实施方式4 对上述的实施方式3中的异常检测装置的变形例进行说明。实施方式4的异常检测装置能够利用实施方式3的计算机1实现,并且由控制部10执行异常检测程序11a,由此实现图12所示的各功能。于是,省略对由实施方式4的计算机1的结构以及各功能进行的处理的说明。在实施方式4的计算机1中,相关值计算部10e进行与实施方式3稍微不同的处理。相关值计算部10e,将多个观测站2的每一个作为中央观测站,对中央观测站以及其外围观测站的每一个,计算由推断误差计算部10d计算出的推断误差的相关值。在此,上述的实施方式3的相关值计算部10e,将中央观测站的附近的第一预定数量(例如30个)的观测站2作为外围观测站。具体而言,以与中央观测站的位置接近的顺序,选择第一预定数量的观测站2为外围观测站。相对于此,实施方式4的相关值计算部10e,将处于与中央观测站处于预定的位置关系的第一预定数量(例如3个或4个)的观测站2,作为外围观测站。具体而言,从中央观测站隔开预定距离的第一预定数量的观测站2被选择为外围观测站。其次,对由实施方式4的计算机1进行的处理进行说明。图13是表示由实施方式4的计算机1执行的处理的过程的流程图,图14A至图14C是用于说明由实施方式4的计算机1进行的处理的模式图。此外,在图13中,在图9中的步骤S1的处理之前追加步骤S41的处理,在步骤S4、S5的处理之间追加步骤S42的处理,在图13中省略图9中的步骤S6~S10的图示。

[0057] 在实施方式4的计算机1中,控制部10(独立成分分析部10i),针对存储于观测数据DB11b的每一个观测站2的观测数据,进行独立成分分析(S41)。由此,控制部10将观测数据分离为,从卫星3发送的信号的成分、与在通信路径中对信号施加的噪音的成分,提取从卫星3发送的信号的成分,生成去除噪音成分的观测数据。去除噪音成分的观测数据,还可以暂且存储于存储部11。控制部10,基于进行独立成分分析并去除噪音成分的观测数据,进行图9中的步骤S1~S4的处理。其次,当将观测站2的每一个作为中央观测站的情况下,控制部10针对各中央观测站特定外围观测站(S42)。例如,如图14A所示,控制部10选择三个从中央观测站2a分离一定距离(例如50km或80km)的观测站2,作为外围观测站2b。此时,优选地,选择由三个外围观测站2b位于大致正三角形的顶点的场所的观测站2。另外,如图14B所示,控制部10还可以选择四个从中央观测站2a分离一定距离(例如50km或80km)的观测站2,作为外围观测站2b。此时,优选地,选择由四个外围观测站2b位于大致正方形的顶点的场所的观测站2。另外,如图14C所示,控制部10还可以将在将中央观测站2a作为中心的线段上以一定间隔(例如50km或80km)配置的多个观测站2,作为外围观测站2b。在图14C中,表示将四个观测站2作为外围观测站2b的情况的例子,但不限于四个,还可以是五个以上。此外,在图14C中,表示中央观测站2a以及四个外围观测站2b配置于线段上的状态,但将在具有预定宽度的线段上以一定间隔配置的观测站2,选择为外围观测站2b即可。相对于中央观测站2a的外围观测站2b的位置以及数量(第一预定数量),不限于图14A至图14C所示的例子,能够将与

各个中央观测站2a处于预定的位置关系的观测站2作为外围观测站2b。此外,当将从中央观测站2a分离一定距离的观测站2作为外围观测站2b的情况下,外围观测站2b的数量不限于三个或四个,优选为均等的数。另外,能够将将从中央观测站2a例如分离50km或80km(一定距离)的观测站2作为外围观测站2b,但不限于这些距离。例如还可以将各观测站2中的TEC值相差预定值以上的值的观测站2,作为中央观测站2a以及外围观测站2b。具体而言,例如,还可以在中央观测站2a的附近的观测站2之中,选择各个观测站2中的TEC值与中央观测站2a中的TEC值相差预定值以上的预定数量(第一预定数量)的观测站2,将选择后的观测站2作为外围观测站2b。另外,还可以将在各观测站2中接收到的信号为不同的信号(不类似的信号)的观测站2作为中央观测站2a以及外围观测站2b。具体而言,例如,还可以在中央观测站2a的附近的观测站2之中,计算由各个观测站2接收到的信号、与由中央观测站2a接收到的信号的类似度,选择接收到类似度小于预定值的信号的预定数量(第一预定数量)的观测站2,将选择后的观测站2作为外围观测站2b。此外,信号的类似度,还可以例如能够基于由中央观测站2a以及各个观测站2接收到的信号的相位(观测数据),根据单位矢量的内积计算出,在内积小于预定值的情况下,判断为信号不类似(不同)。而且,控制部10(相关值计算部10e),基于对中央观测站在步骤S4中计算出的推断误差、对在步骤S42中特定的外围观测站在步骤S4中计算出的推断误差、以及上述的公式1,计算各个中央观测站中的相关值(S5)。之后,控制部10进行步骤S6以后的处理。此外,还可以将各个观测站2作为中央观测站的情况的外围观测站预先决定,并且例如存储于存储部11。在该情况下,控制部10不进行如图13中的步骤S42的处理,计算各中央观测站、与相对于各中央观测站预先决定的外围观测站中的推断误差之间的相关值即可。即使在实施方式4中,也得到与实施方式1至3相同的效果。即,即使在实施方式4中,也能够高精度地检测出电离层中的TEC值的变化,能够高精度地检测出TEC值仅随着发生大地震而发生异常变化。另外,在实施方式4中,对用于计算TEC值的观测数据进行独立成分分析,由此能够从由观测站2接收到的信号去除噪音成分,从而得到精度更高的观测数据。在利用这样的观测数据,对各观测站2计算所计算出的推断误差的相关值之时,能够减少相对于中央观测站中的外围观测站的数量(第一预定数量)。即,能够利用中央观测站中的推断误差、与较少数量(例如三个或四个)的外围观测站中的推断误差之间的相关值,检测出TEC值的异常变化。从而,即使是观测站2的设置地方较少且观测站2之间的间隔较宽的地域,也能够高精度地检测出TEC值的异常变化,因此能够利用异常检测装置的范围变广。

[0058] 实施方式5 对上述的实施方式4中的异常检测装置的变形例进行说明。实施方式5的异常检测装置,能够利用实施方式4的计算机1实现。于是,省略对实施方式4的计算机1的结构说明。图15是表示由实施方式5的计算机1的控制部10实现的功能的框图。在实施方式5的计算机1的控制部10执行了异常检测程序11a的情况下,实现与实施方式4相同的功能。于是,省略对由各功能进行的处理的说明。此外,在实施方式5中,独立成分分析部10i,针对由推断误差计算部10d计算出的推断误差进行独立成分分析。其次,对由实施方式5的计算机1进行的处理进行说明。图16是表示由实施方式5的计算机1进行的处理的过程的流程图。此外,在图16中在图9中的步骤S4、S5的处理之间追加步骤S71、S72的处理,在图16中省略图9中的步骤S6~S10的图示。

[0059] 实施方式5的计算机1的控制部10,进行图9中的步骤S1~S4的处理。而且,控制部10

(独立成分分析部10i),针对在每一个观测站2(SIP)中计算出的推断误差(多个站),进行独立成分分析(S71)。此外,控制部10接收多个观测站2的推断误差(多个站数据)而进行独立成分分析。由此,控制部10将对每一个观测站2中计算出的推断误差,分离为基于从卫星3发送的信号的成分、和基于在来自卫星3的通信路径中施加的噪音的成分。于是,提取基于从卫星3发送的信号的成分,从而生成去除基于噪音的成分的推断误差。其次,控制部10特定:对当将观测站2的每一个作为中央观测站的情况下的各中央观测站的外围观测站(S72)。在此,控制部10进行与图13中的步骤S42相同的处理。而且,控制部10(相关值计算部10e),基于对中央观测站在步骤S71中进行了独立成分分析的推断误差、对在步骤S72中特定的外围观测站在步骤S71中进行了独立成分分析的推断误差、以及上述的公式1,计算各个中央观测站中的相关值(S5)。之后,控制部10进行步骤S6以后的处理。即使在实施方式5中,也得到与实施方式1至4相同的效果。即,即使在实施方式5中,也能够高精度地检测出电离层中的TEC值的变化,并且能够高精度地检测出TEC值仅随着发生大地震而发生异常变化。另外,在实施方式5中,通过对基于各观测站2中的TEC值计算出的推断误差进行独立成分分析,从而能够得到去除噪音成分的推断误差。当通过利用这种推断误差,计算推断误差的相关值之时,能够减少相对于中央观测站的外围观测站的数量(第一预定数量)。即,能够利用中央观测站中的推断误差、与较少数量(例如三个或四个)的外围观测站中的推断误差之间的相关值,检测出TEC值的异常变化。从而,即使是观测站2的设置地方较少,且观测站2之间的间隔较宽的地域,也能够高精度地检测出TEC值的异常变化,因此能够利用异常检测装置的范围变广。

[0060] 实施方式6 对上述的实施方式1中的异常检测装置的变形例进行说明。实施方式6的异常检测装置,能够利用实施方式1的计算机1实现。在上述的实施方式1中,在对在各SIP中的TEC值是否发生异常变化的判定中,利用了在各SIP(观测站2)中计算出的相对值 $\eta(T)$ 。在实施方式6中,利用由相关值计算部10e计算出的各SIP中的相关值,判定在各SIP中的TEC值是否发生异常变化。实施方式6的计算机1,通过控制部10执行异常检测程序11a,实现图3所示的各功能之中、相对值计算部10f以外的各功能。于是,省略对由实施方式6的计算机1的结构以及各功能执行的处理的说明。

[0061] 在实施方式6的计算机1中,异常判定部10g进行与实施方式1稍微不同的处理。实施方式6的异常判定部10g,基于在时刻T由相关值计算部10e计算出的所有的观测站2(中央观测站)中的相关值,进行处理。异常判定部(判定部)10g,判定由相关值计算部10e计算出的各观测站2(各SIP)的相关值是否分别为预定阈值(例如 3.5σ)以上。而且,在相关值为预定阈值以上的情况下,异常判定部10g判定为该观测站2(SIP)中的TEC值发生异常变化。其次,对由实施方式6的计算机1进行的处理进行说明。图17是表示由实施方式6的计算机1进行的处理的过程的流程图。此外,图17是从图9所示的处理中消除步骤S6、S7的处理的图。

[0062] 在实施方式6的计算机1中,控制部10进行与图9中的步骤S1~S5相同的处理。而且,控制部10(异常判定部10g),基于相对于各计算时机计算出的各观测站2(各中央观测站)中的相关值是否分别为预定阈值以上,判定各中央观测站(各SIP)中的TEC值是否发生异常变化(S8)。在观测站2中的相关值为预定阈值以上的情况下,控制部10确定:与该观测站2对应的SIP中的TEC值发生异常变化。而且,控制部10进行步骤S9以后的处理。具体而言,控制部10判断:是否确定了与各观测站2对应的SIP中的TEC值发生异常变化(S9)。而且,在对任一

个观测站2确定了发生异常变化的情况下(S9:是),控制部10通报关于确定了异常发生的观测站2(SIP)的信息(S10)。即使在实施方式6中,也将由观测站2从卫星3接收到的信号(直达波)作为观测数据而利用,因此能够高精度地检测出电离层中的TEC值的变化,并且能够高精度地检测出随着发生大地震而发生的TEC值的异常变化。另外,即使在实施方式6中,也能够变更在实施方式1中所述的各结构。实施方式6的结构还能够适用于实施方式2至5。即,实施方式2至5的计算机1(异常检测装置)还可以为如下结构:利用由相关值计算部10e计算出的各SIP中的相关值,判定在各SIP中的TEC值是否发生异常变化。即使在作为这种结构的情况下,也得到相同的效果。

[0063] 实施方式7 对上述的实施方式1中的异常检测装置的变形例进行说明。实施方式7的异常检测装置,能够利用实施方式1的计算机1实现,通过控制部10执行异常检测程序11a,实现图3所示的各功能。于是,省略对由实施方式7的计算机1的结构以及各功能执行的处理的说明。在实施方式7的计算机1中,异常判定部10g进行与实施方式1稍微不同的处理。在相对值计算部10f在时刻T计算出所有的观测站2(所有的SIP)中的相对值的情况下,实施方式7的异常判定部10g判定所计算出的各观测站2(各SIP)的相对值是否分别为预定阈值(例如3.5)以上。而且,异常判定部10g,将相对值为预定阈值以上的观测站2(SIP),作为SIP中的TEC值具有发生异常变化的可能性的观测站2(异常观测站2)而提取。在此的处理与实施方式1相同。

[0064] 图18是表示利用异常判定部10g判定的判定结果的模式图。在图18所示的地图中,对由观测站2作为异常观测站2而被提取的SIP,附注黑色三角形的标记,对由观测站2未作为异常观测站2而被提取的SIP,附注白色圆圈的标记。已知:电离层的TEC值,不仅随着发生大地震而发生异常变化,而且随着宇宙天气、太阳、季节的自然变化而发生异常变化。另外,已知:由发生地震以外的要因而发生的电离层(TEC值)的异常,如图18所示,利用能够观测的观测站2之中的一定比例以上的观测站2来检测。于是,实施方式7的异常判定部10g,计算作为异常观测站2而提取的观测站2(SIP)的比例,根据所计算出的比例是否小于一定比例(例如小于30%),判定所检测出的TEC值的异常是否是随着发生大地震而发生的异常。具体而言,异常判定部10g,在所计算出的比例小于一定比例的情况下,判定为所检测出的TEC值的异常为随着发生大地震而发生的异常,在所计算出的比例为一定比例以上的情况下,判定为所检测出的TEC值的异常不是随着发生大地震而发生的异常。另外,作为异常观测站2的比例,例如,异常判定部10g,相对于设置于日本列岛的观测站2的总数,计算作为异常观测站2提取的观测站2的比例。另外,异常判定部10g既可以对每一个关东地区、近畿地区等地方,计算相对于设置于各地方的观测站2的数量的异常观测站2的比例,也可以对每一个预先区分的区域计算异常观测站2的比例。在由异常判定部10g判断出异常观测站2的比例为一定比例以上的情况下,即,在所检测出的TEC值的异常不是随着发生大地震而发生的异常的情况下,通报部10h不进行通报。另一方面,在由异常判定部10g判断出异常观测站2的比例小于一定比例的情况下,即,在所检测出的TEC值的异常是随着发生大地震而发生的异常的情况下,异常判定部10g进行与实施方式1相同的处理。具体而言,异常判定部10g,对作为异常观测站2而被提取的观测站2,判断出附近的第二预定数量(例如4个)的观测站2是否也作为异常观测站2而被提取。而且,在附近的多个观测站2也作为异常观测站2而被提取的情况下,异常判定部10g确定为该观测站2(SIP)中的TEC值随着发生大地震而发生异常变

化。在该情况下,通报部10h进行通报。其次,对由实施方式7的计算机1进行的处理进行说明。图19是表示由实施方式7的计算机1进行的过程的流程图。此外,在图19中在图9中的步骤S8、S9的处理之间追加步骤S51、S52的处理,在图19中省略图9中的步骤S1~S7的图示。

[0065] 在实施方式7的计算机1中,控制部10进行与图9中的步骤S1~S8相同的处理。而且,控制部10(异常判定部10g),计算判断为相对值是预定阈值以上且TEC值发生异常变化的观测站2(异常观测站2)的比例(S51),判断所计算出的比例是否小于一定比例(S52)。在判断出所计算出的比例小于一定比例的情况下(S52:是),控制部10,作为所检测出的TEC值的异常是随着大地震的发生而发生的异常,进行步骤S9以后的处理。在判断出所计算出的比例为一定比例以上的情况下(S52:否),控制部10,作为所检测出的TEC值的异常不是随着大地震的发生的异常,从而结束处理。

[0066] 在实施方式7中,在判定出具有TEC值发生异常变化的可能性的SIP(异常观测站2)的比例为一定比例以上(例如30%以上)的情况下,所检测出的TEC值的异常,作为不是随着大地震的发生而发生的异常,不进行通报处理。于是,通过在一定比例以上的观测站2中同时检测出TEC值的异常的情况下,确定为不是随着大地震的发生而发生的异常,从而能够将由于发生地震以外的要因而发生的TEC值的异常,从通知对象的异常中排除。由此,能够高精度地检测出TEC值仅随着大地震的发生而发生的异常变化,并且能够进行通报。实施方式7的结构既能够适用于实施方式2至6,在适用于实施方式2至6的情况下也能够得到相同的效果。此外,在适用于实施方式6的情况下,异常判定部10g,判定由相关值计算部10e在时刻T计算出的各观测站2(各SIP)的相关值是否分别为预定阈值(例如3.5σ)以上。而且,异常判定部10g,将相关值为预定阈值以上的观测站2(SIP),作为具有SIP中的TEC值发生异常变化的可能性的观测站2(异常观测站2)而提取。而且,异常判定部10g,计算提取后的异常观测站2(SIP)的比例,当所计算出的比例为一定比例以上(例如30%以上)的情况下,判定出所检测出的TEC值的异常不是随着大地震的发生而发生的异常。在异常判定部10g判定出所检测出的TEC值的异常不是随着发生地震而发生的异常的情况下,不会进行利用通报部10h的通报。另一方面,在异常观测站2(SIP)的比例小于一定比例的情况下,异常判定部10g判定出所检测出TEC值的异常是随着地震发生而发生的异常。

[0067] 实施方式8 对上述的实施方式1中的异常检测装置的变形例进行说明。实施方式8的异常检测装置,能够利用实施方式1的计算机1实现,由控制部10执行异常检测程序11a,由此实现图3所示的各功能。于是,省略对由实施方式8的计算机1的结构以及各功能进行的处理的说明。实施方式8的计算机1构成为,在异常判定部10g中能够对在判定各观测站2是否为异常观测站2之时的判定基准(预定阈值)进行最优化。具体而言,异常判定部10g,基于由相对值计算部10f计算出的各观测站2(各SIP)的相对值,用于判定各SIP中的TEC值是否发生异常变化(是否为异常观测站2)的阈值被最优化。

[0068] 图20是表示参考数据DB的结构例的模式图。在参考数据DB中积累多个参考数据。图20所示的参考数据包含:判定基准(阈值),其在判定各观测站2是否为异常观测站2之时利用;信息(异常检测的有无),其表示是否利用该判定基准检测出了TEC值的异常变化;以及信息(地震发生的有无),其表示地震是否实际发生了。包含于参考数据的判定基准以及异常检测的有无的信息,通过基于过去的观测数据,利用不同的阈值判定TEC值是否异常变

化来生成。另外,包含于参考数据的发生地震的有无,由计算机1的用户(例如地震的观测者)输入。此外,在参考数据中还可以包含TEC值的分布、基于TEC值而计算出的各观测站2的相对值的分布等。计算机1,通过利用积累于参考数据DB的参考数据,基于由相对值计算部10f计算出的各观测站2(各SIP)的相对值,特定在由异常判定部10g判定各观测站2是否为异常观测站2之时的最优的阈值(判定基准)。而且,计算机1,将特定后的最优的阈值用于从下一次的处理。通过如此对判定基准进行最优化,从而能够更高精度地检测出TEC值随着地震的发生而发生的异常变化。另外,由于能够根据检测对象的场所设定最优的阈值,因此能够设定还考虑各场所的自然环境等的判定基准。

[0069] 实施方式8的结构还能够适用于实施方式2至7,即使在适用于实施方式2至7的情况下也能够得到相同的效果。此外,在适用于实施方式6的情况下,计算机1对阈值进行最优化,该阈值用于异常判定部10g基于由相关值计算部10e计算出的各观测站2(各SIP)的相关值,判定各SIP中的TEC值是否发生异常变化(是否为异常观测站2)。对上述的实施方式1~8中的异常检测装置的进一步的变形例进行说明。实施方式1至8的异常检测装置,例如能够与观测地表面中的地磁的地磁观测装置(未图示)组合而利用。地磁观测装置例如具有地磁传感器,利用地磁传感器检测出地表面中的地磁,观测所检测出的地磁的状态是否为正常或发生了异常等。例如,地磁观测装置,以预定时间间隔检测出地表面的地磁,在检测出的地磁的值与最近的检测值的差异为预定值以上的情况下,或者,在所检测出的地磁的随着时间的变化中发生了异常的情况下,判定出在地表面的地磁发生了异常。而且,地磁观测装置,在判断出在地磁发生了异常的情况下,向实施方式1至8的异常检测装置(计算机1)进行通知。计算机1在从地磁观测装置中通知到地磁的异常的情况下,进行上述的实施方式1至8的处理。

[0070] 图21是表示由计算机1进行的处理的过程的流程图。此外,在图21中在图9中的步骤S1的处理之前追加步骤S61的处理,在图21中省略图9中的步骤S2~S10的图示。计算机1的控制部10,例如基于来自地磁观测装置的通知,判断出利用地磁观测装置是否检测出地表面中的地磁的异常(S61)。在判断出在地表面中的地磁的异常未被检测出的情况下(S61:否),控制部10进行待机。在判断出地磁的异常被检测出的情况下(S61:是),控制部10进行图9中的步骤S1以后的处理。即,控制部10基于观测数据,进行TEC值是否发生异常变化的检测处理。例如,已知:从发生大地震数周之前,在地表面的地磁等中发生了异常。于是,在检测了在地表面的地磁中发生异常的情况下,还可以基于从卫星3接收到的观测数据,进行TEC值是否发生异常变化的检测处理。在该情况下,能够高效率地检测出TEC值随着发生地震而发生的异常变化。另外,代替地表面中的地磁,还可以利用由电离层引起的反射波,来判断在地表面中是否发生了异常等。例如,从地上的发射天线发射VLF(Very Low Frequency;特低频率)等长波的电波,在该电波被电离层反射之后,用地上的接收天线接收。在如此接收到的反射波中,例如在接收到的反射波的强度或频率等中发生了变化的情况下,能够判断为在地表面中发生了某些异常。

[0071] 在上述的实施方式1至8中,观测数据除了关于由设置于地上的观测站2从卫星3接收到的信号(电波)的数据以外,还可以是关于由搭载于汽车、电车、船舶等移动体的接收机从卫星3接收到的信号(电波)的数据。例如在移动体,与观测站2相同地,搭载能够接收从配置于宇宙空间的卫星3发射的不同频率的信号(例如1.5GHz以及1.2GHz的频率的信号)的接

收机。而且,能够将在由各接收机接收到两个信号的各时刻的相位,作为观测数据而利用。此外,各接收机在获取观测数据之时,预先获取表示在该时刻的当前位置的信息(观测位置所相关的信息),并且与观测数据相关联而存储。由此,能够掌握获取了观测数据的场所(观测位置),并且使多个观测位置的每一个所相关的信息、与来自在各个观测位置中接收到的卫星的信号所相关的信息相关联而存储。即使在利用了这种观测数据的情况下,也能够计算出各个观测位置与卫星之间的大气中的TEC值,并且能够检测TEC值的异常变化。在这种结构的情况下,即使是观测站2的设置地方较少的地域,也能够利用由搭载于移动体的接收机接收到的观测数据,检测TEC值的异常变化,因此能够利用异常检测装置的范围变广。另外,通过利用由搭载于船舶的接收机接收到的观测数据,即使是在海上也与地上相同地,能够进行TEC值的异常变化的检测处理。此外,在利用这种观测数据的情况下,还可以将在预定范围内(例如直径为数km的圆形区域内)的观测位置中获取的观测数据,作为在同一的观测位置中获取的观测数据而处理。例如,在各接收机连续获取观测数据,并且与观测数据一起获取的观测位置自最近(前一)的观测位置起分离预定距离(例如数km)以上的情况下,还可以将最近的观测位置作为这次的观测位置。

[0072] 这次公开的实施方式在所有的点进行举例说明,应该考虑到不是限制性的。本发明的范围,不以上述的意思表示,而是以权利要求书所示,并且包含与权利要求书等同的意思以及在范围内的所有的变更。

[0073] 附图标记说明:

[0074] 1:计算机 2:观测站 3:卫星 10:控制部 11:存储部

[0075] 10a:TEC值计算部 10b:TEC值推断部 10d:推断误差计算部 10e:相关值计算部 10f:相对值计算部 10g:异常判定部 10h:通报部 10i:独立成分分析部 11a:异常检测程序 11b:观测数据DB 100:通信装置 104:通信部 105:通知部

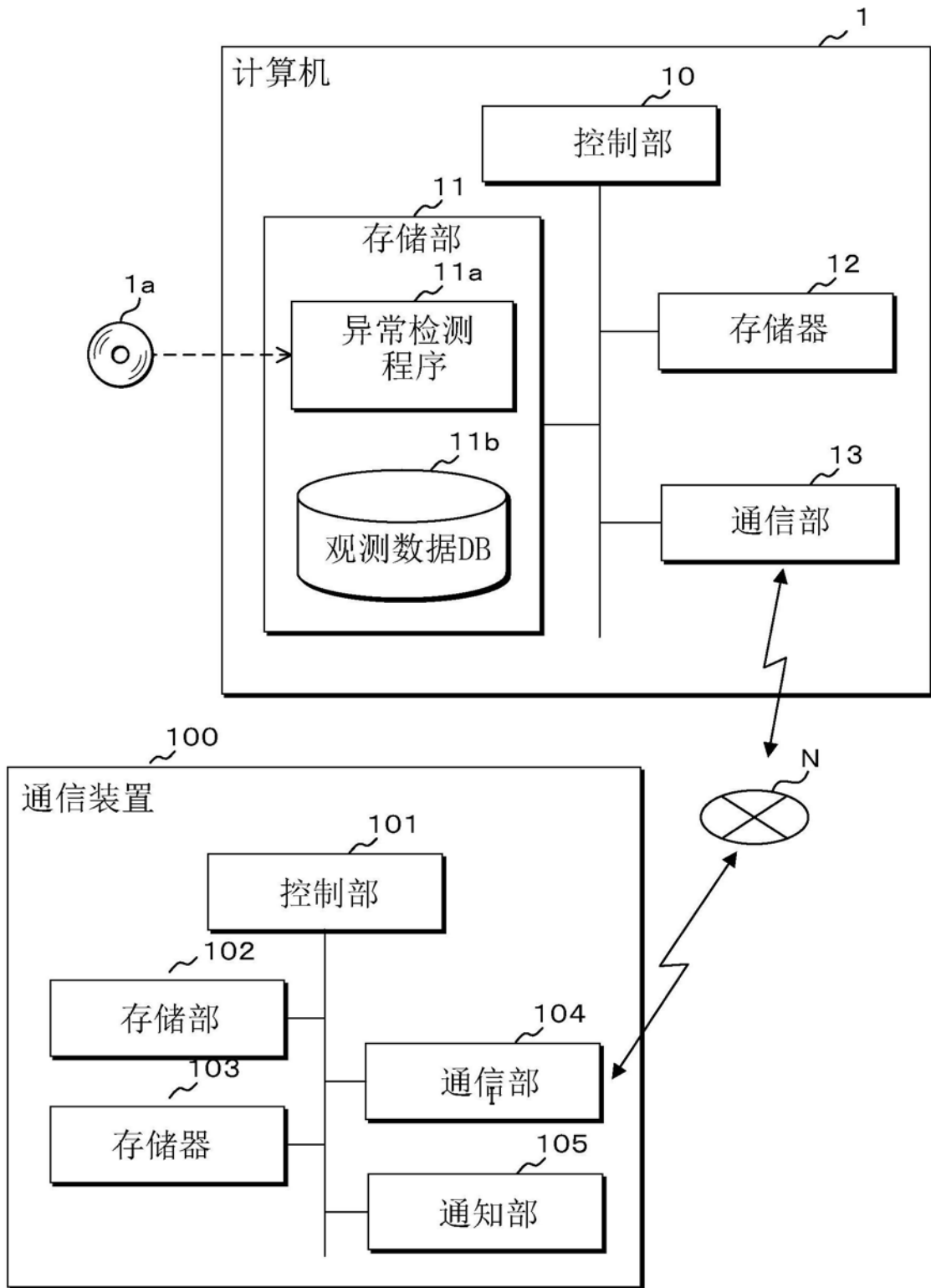


图1

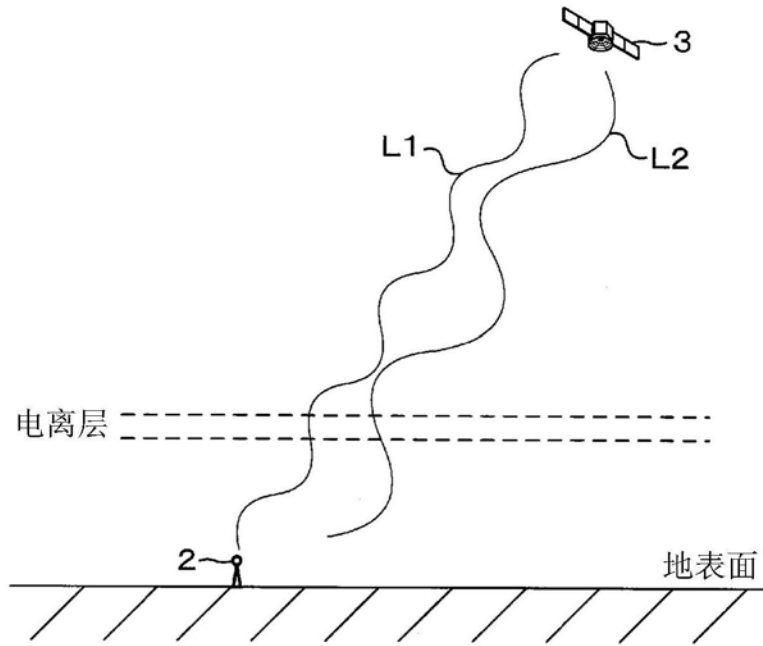


图2

1

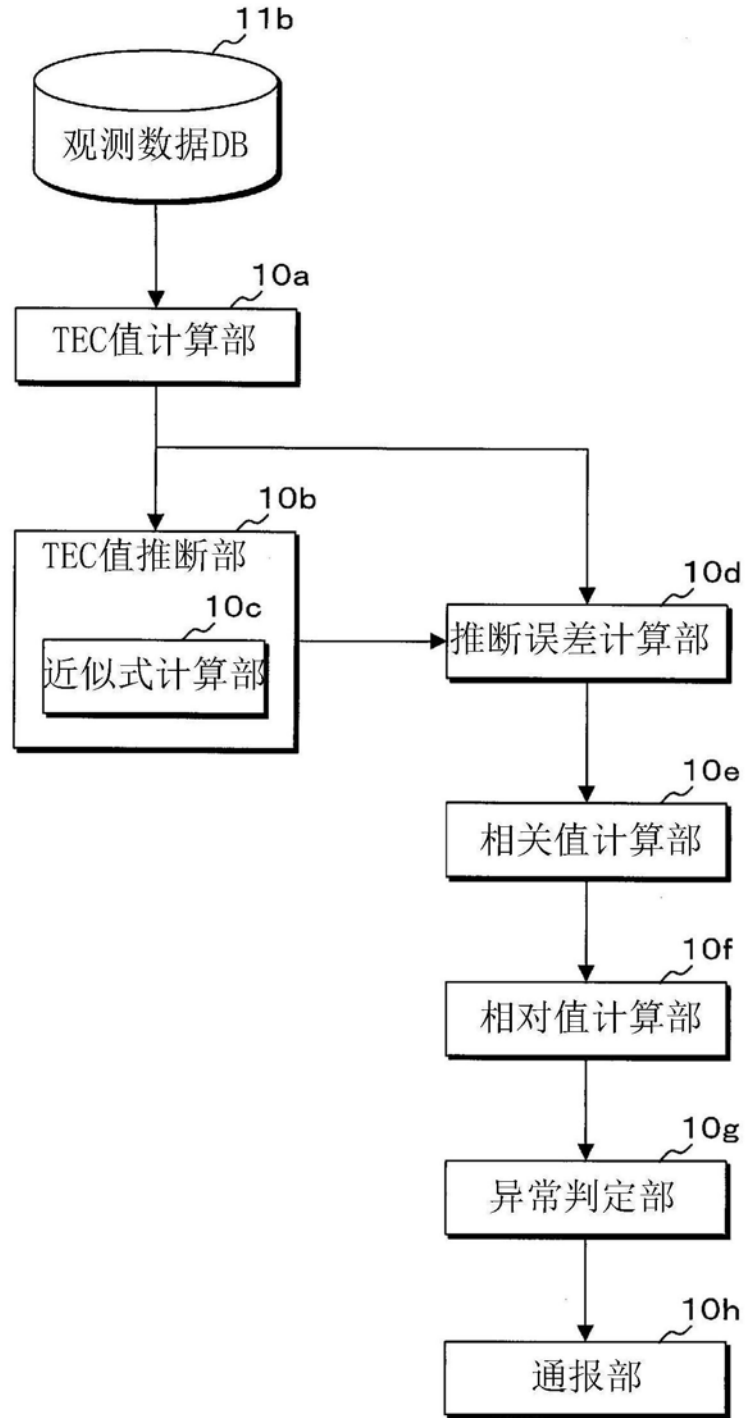


图3

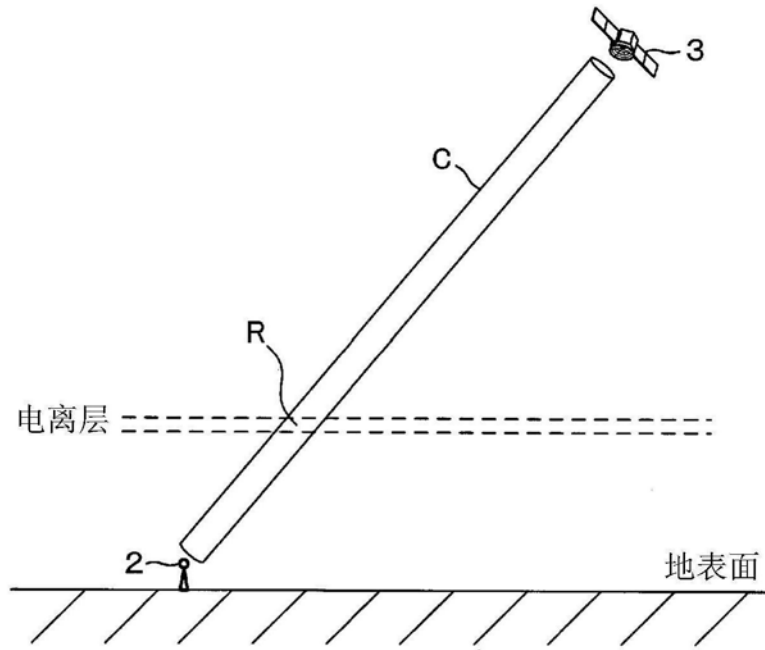


图4A

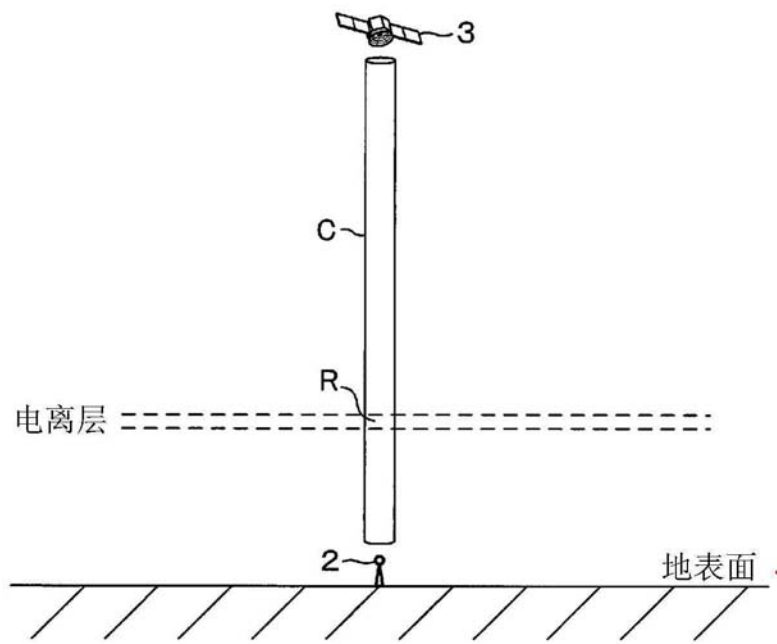


图4B

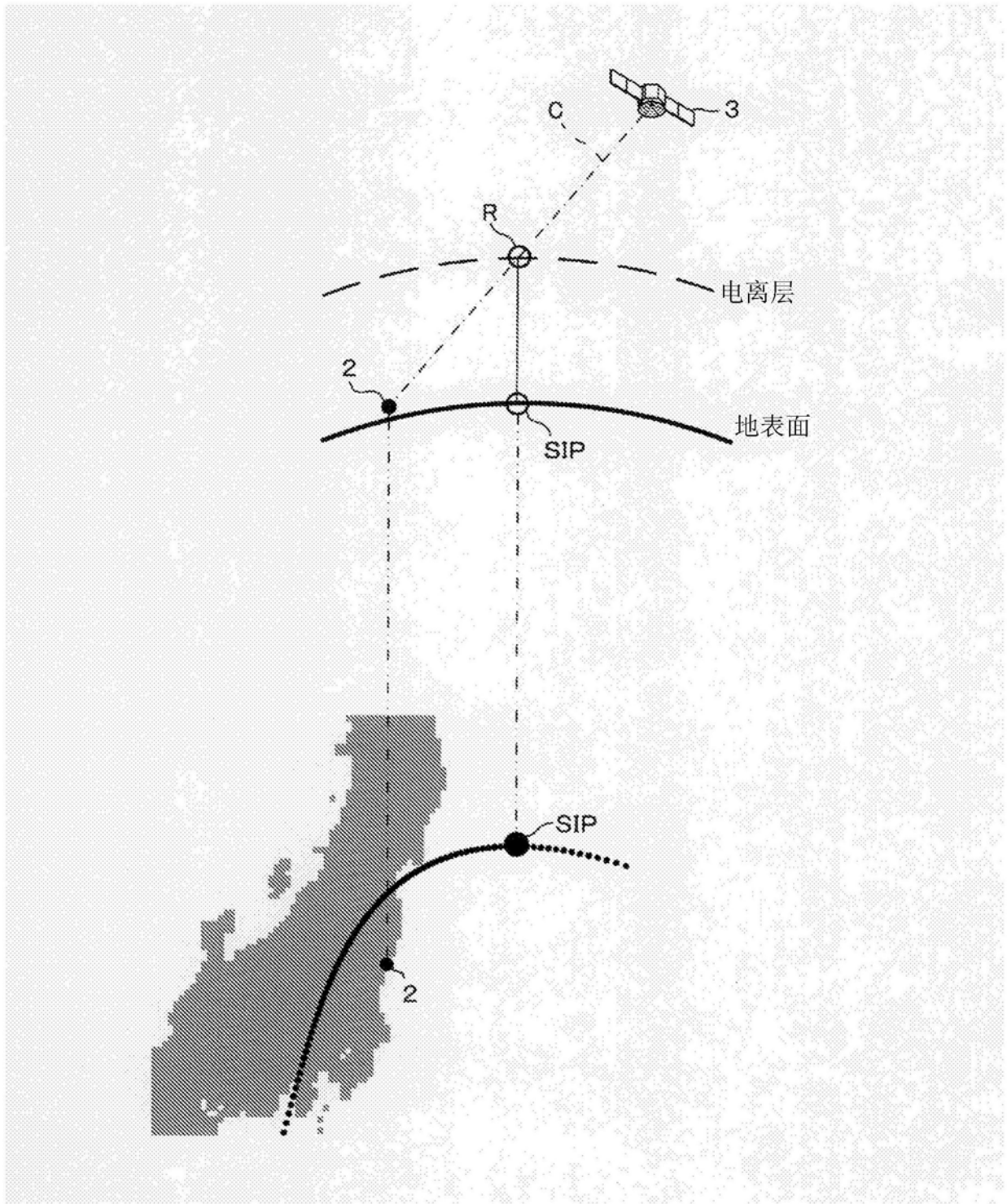


图5

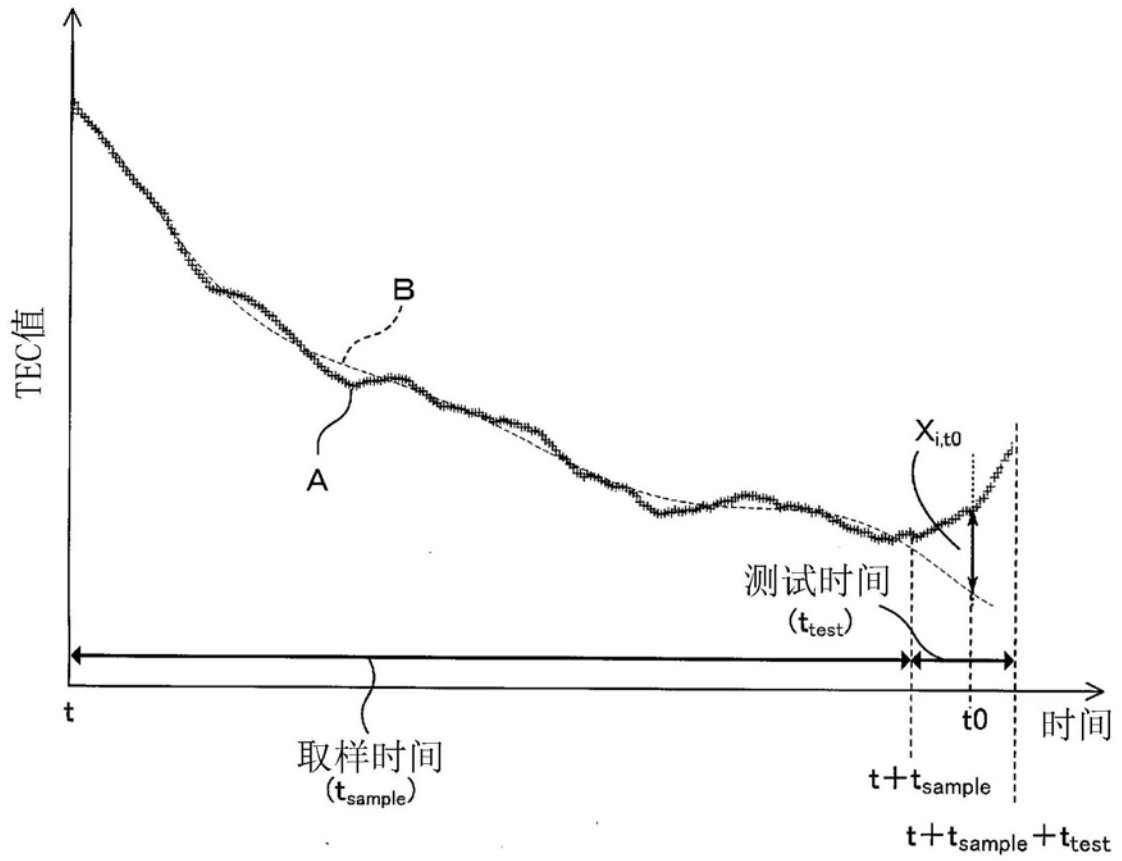


图6

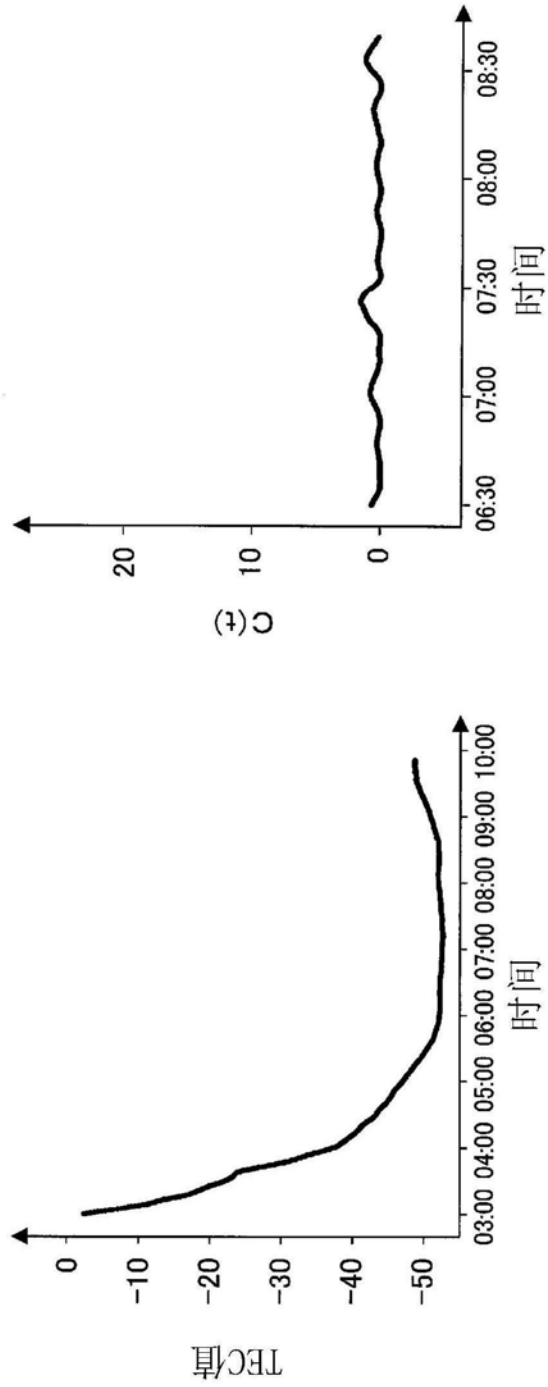


图7A

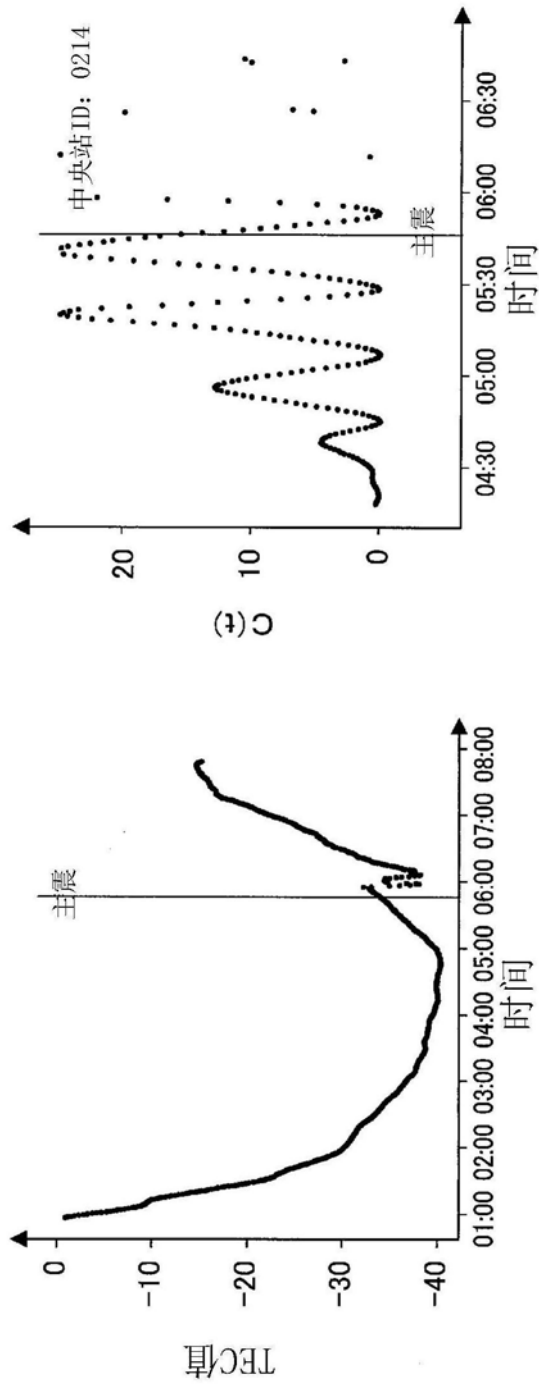


图7B

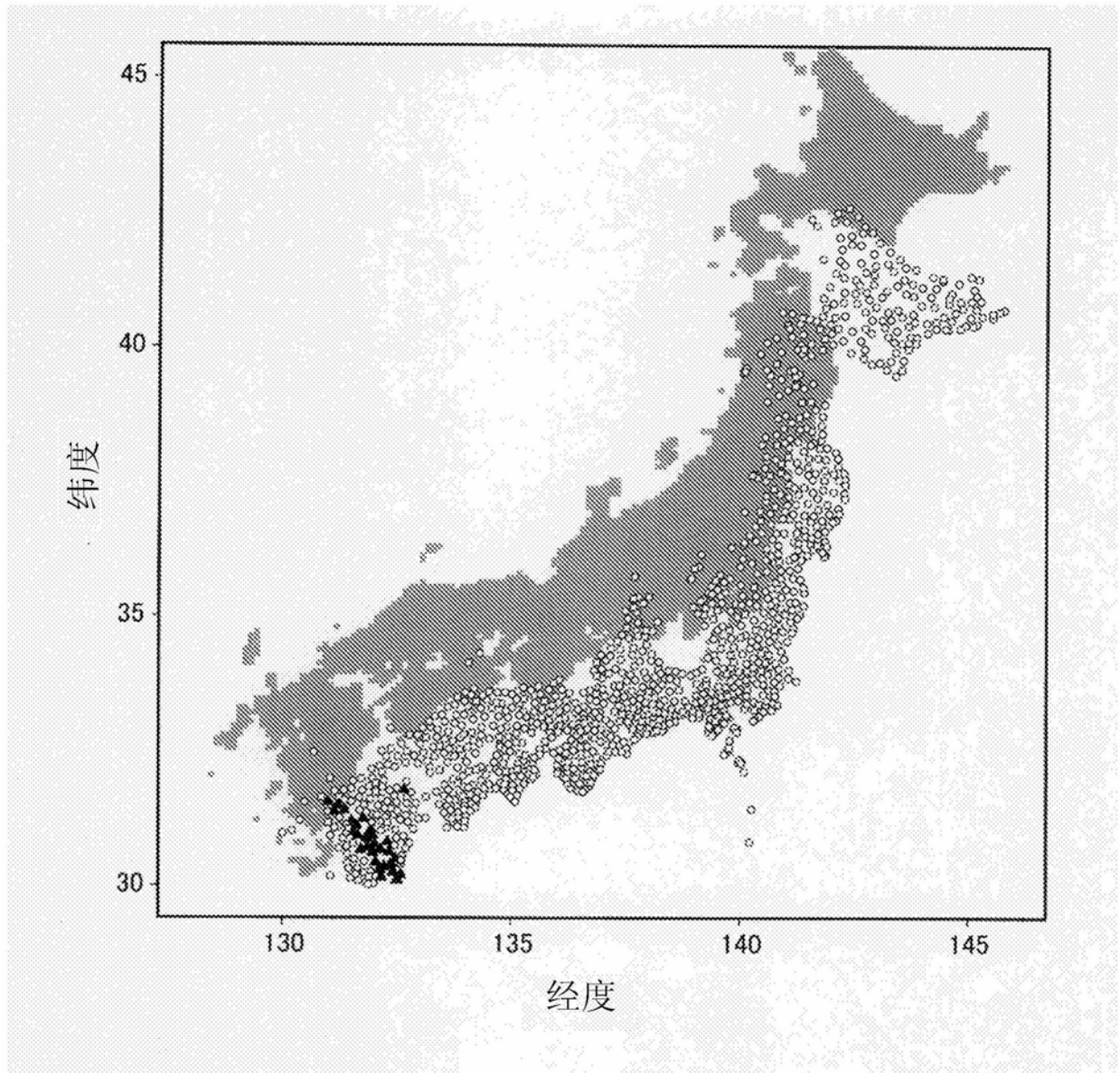


图8

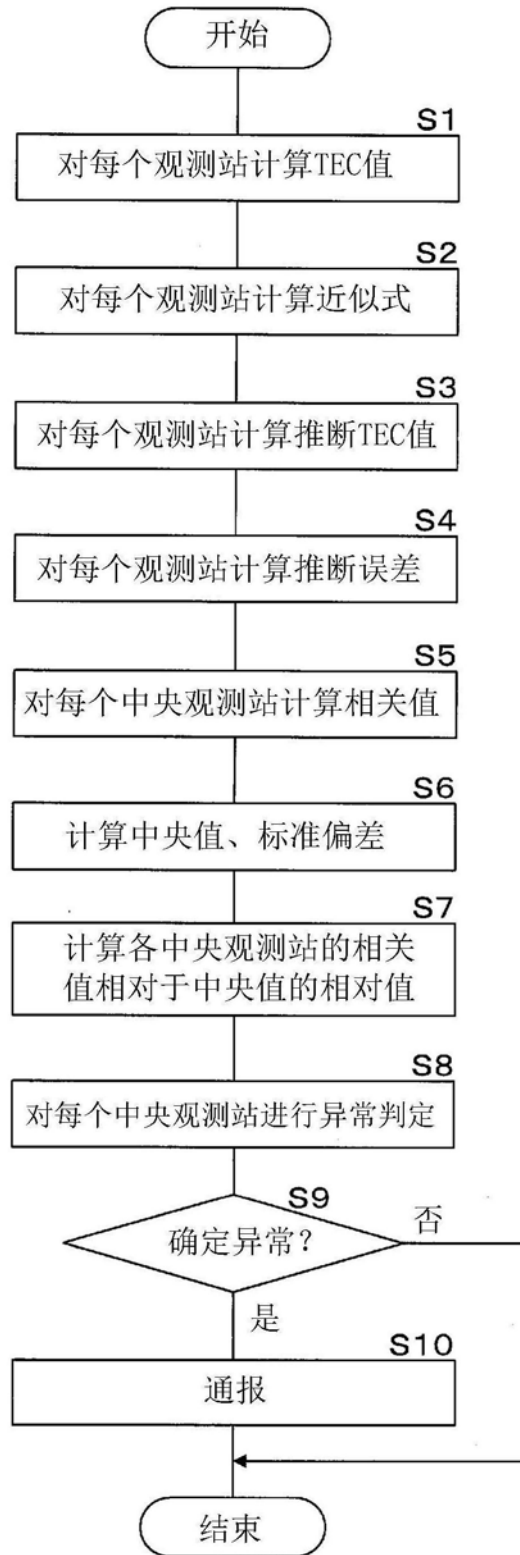


图9

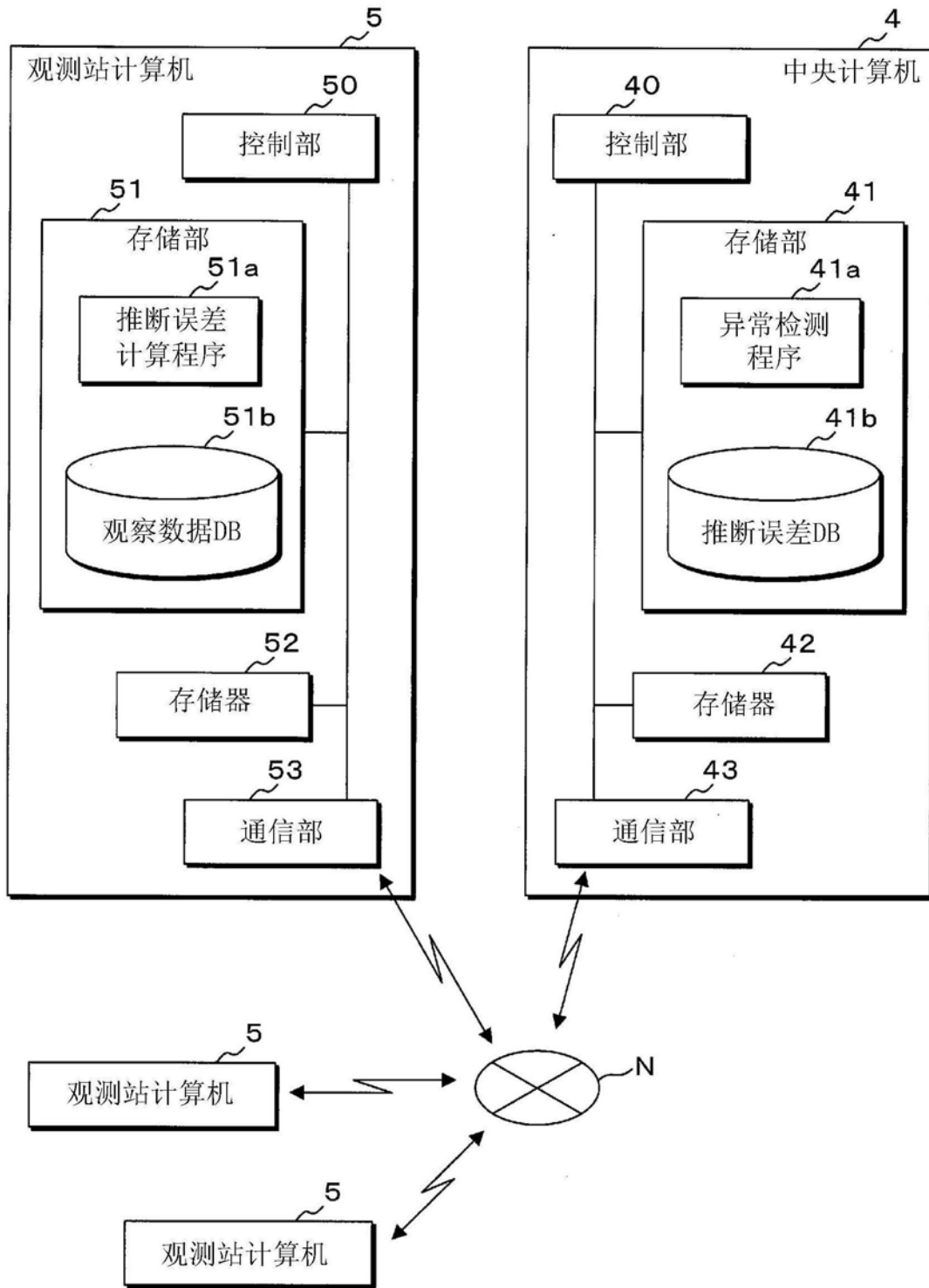


图10

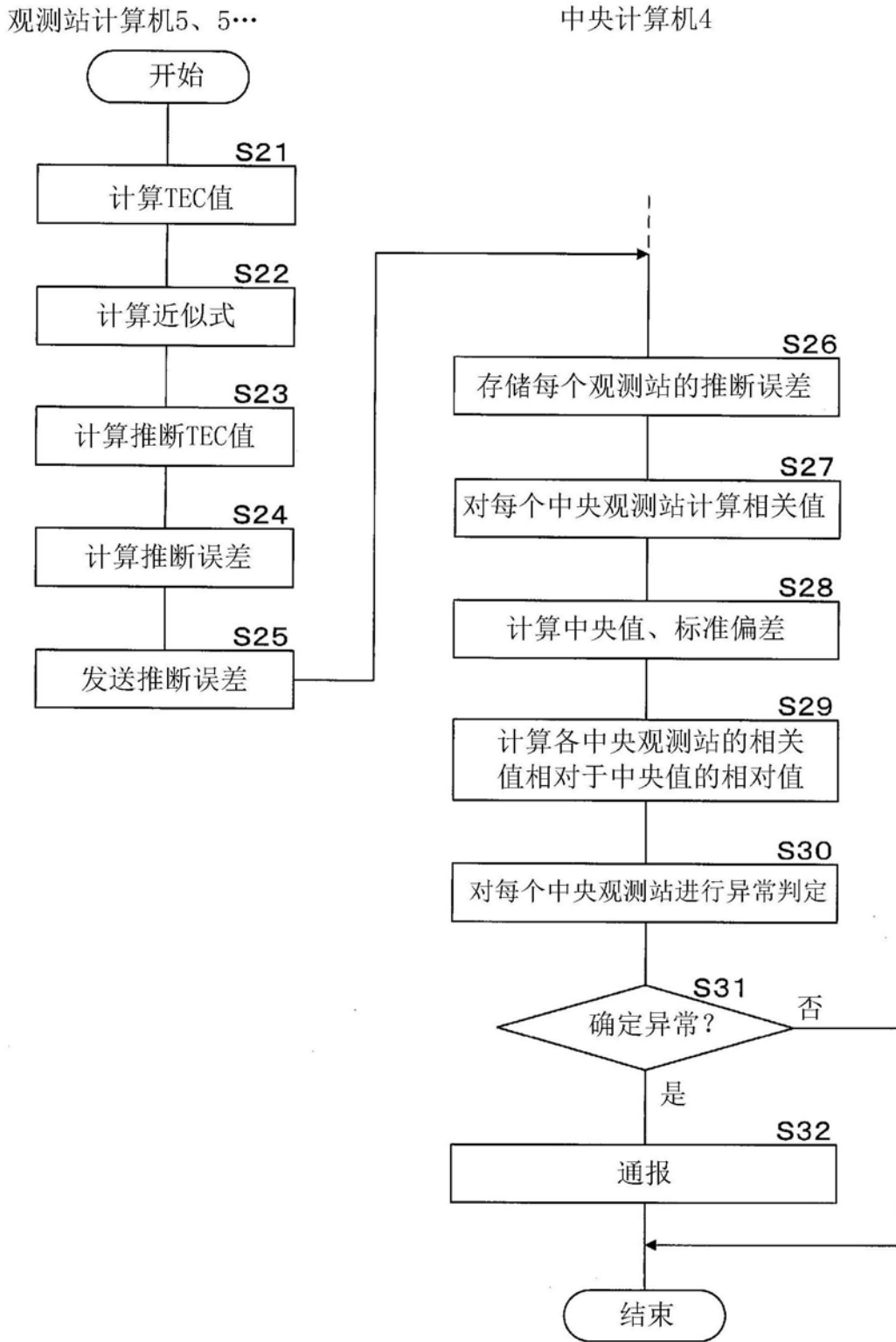


图11

1

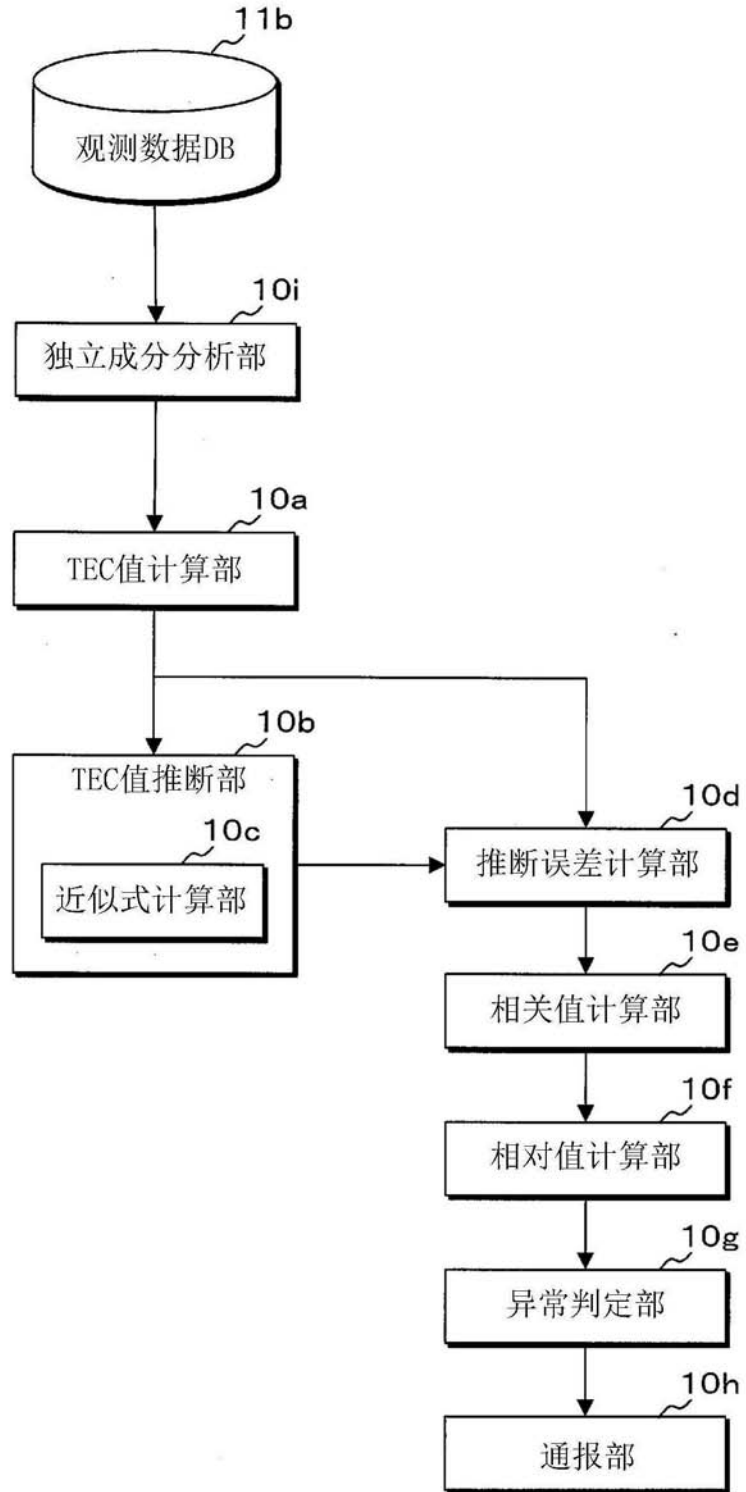


图12

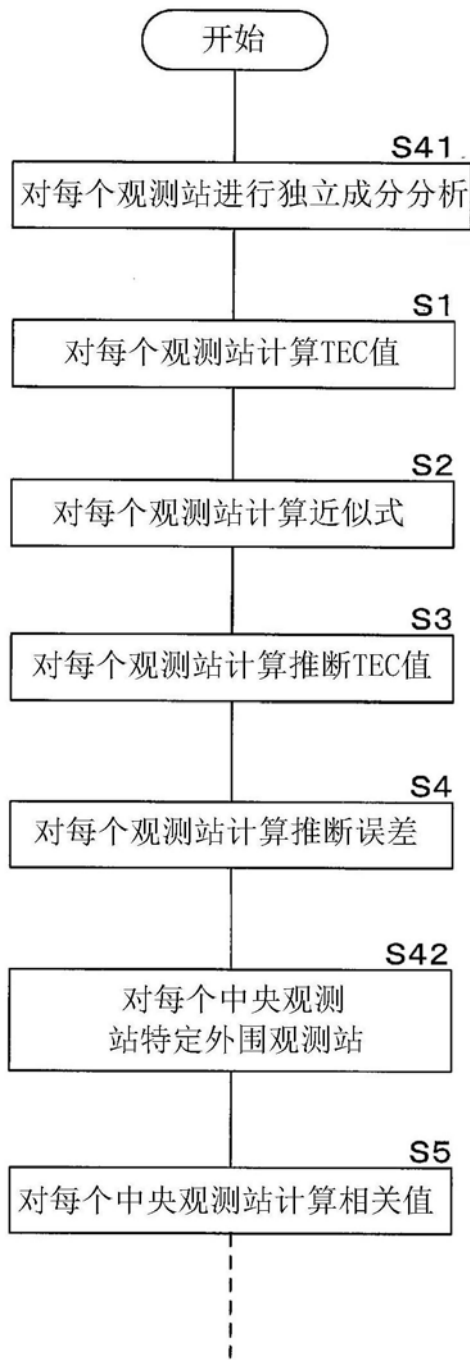


图13

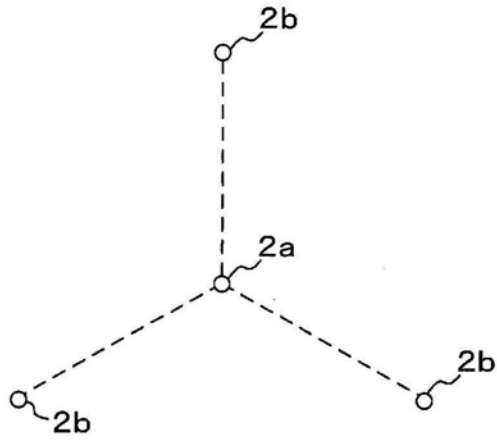


图14A

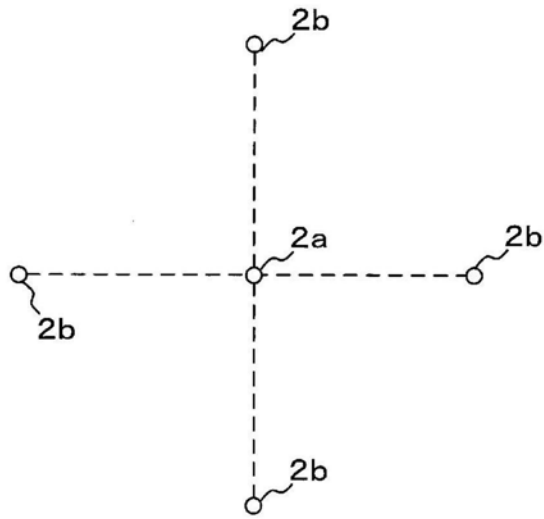


图14B

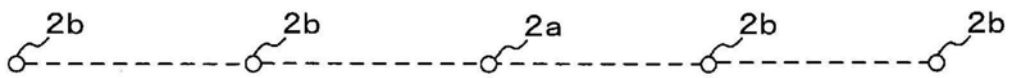


图14C

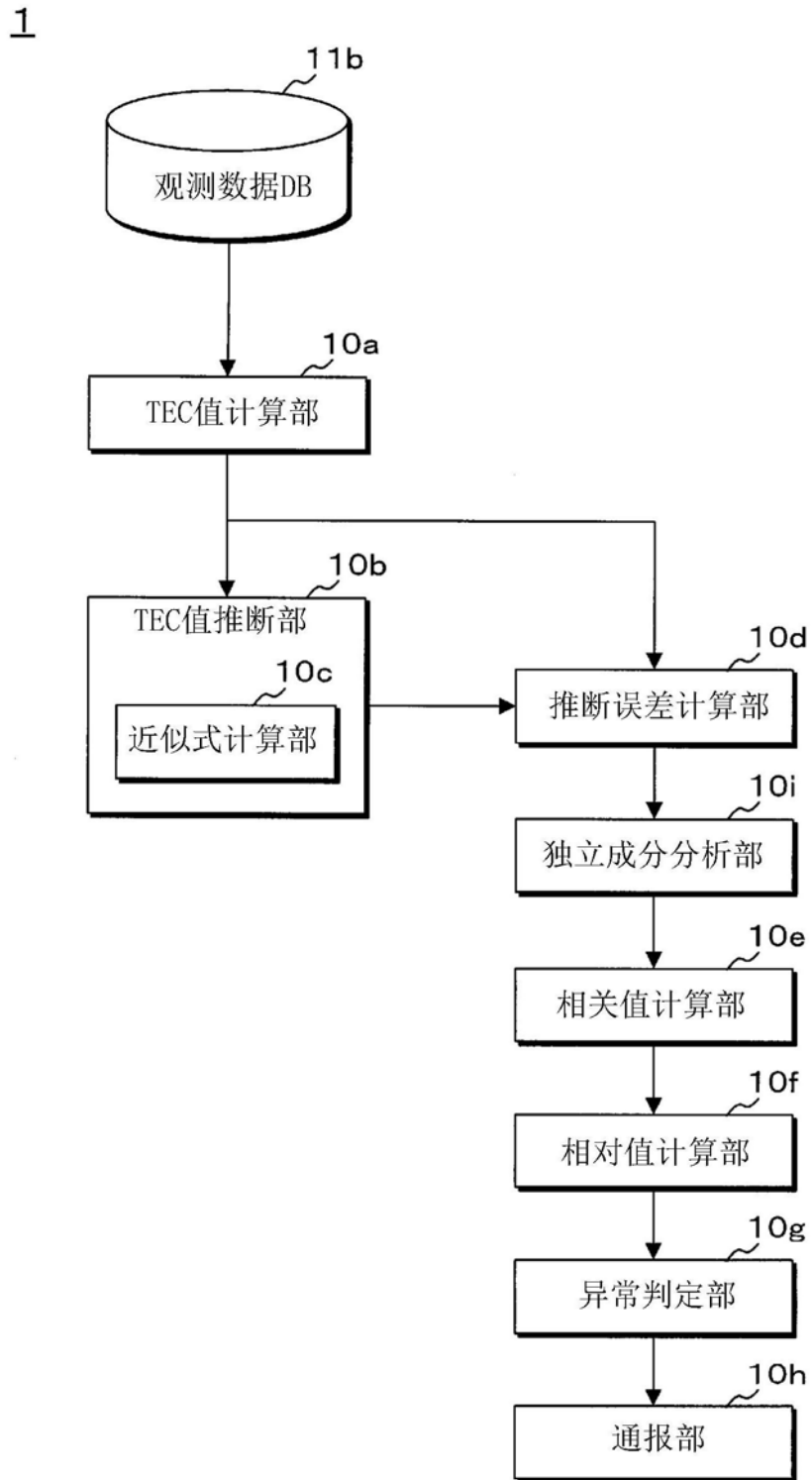


图15



图16

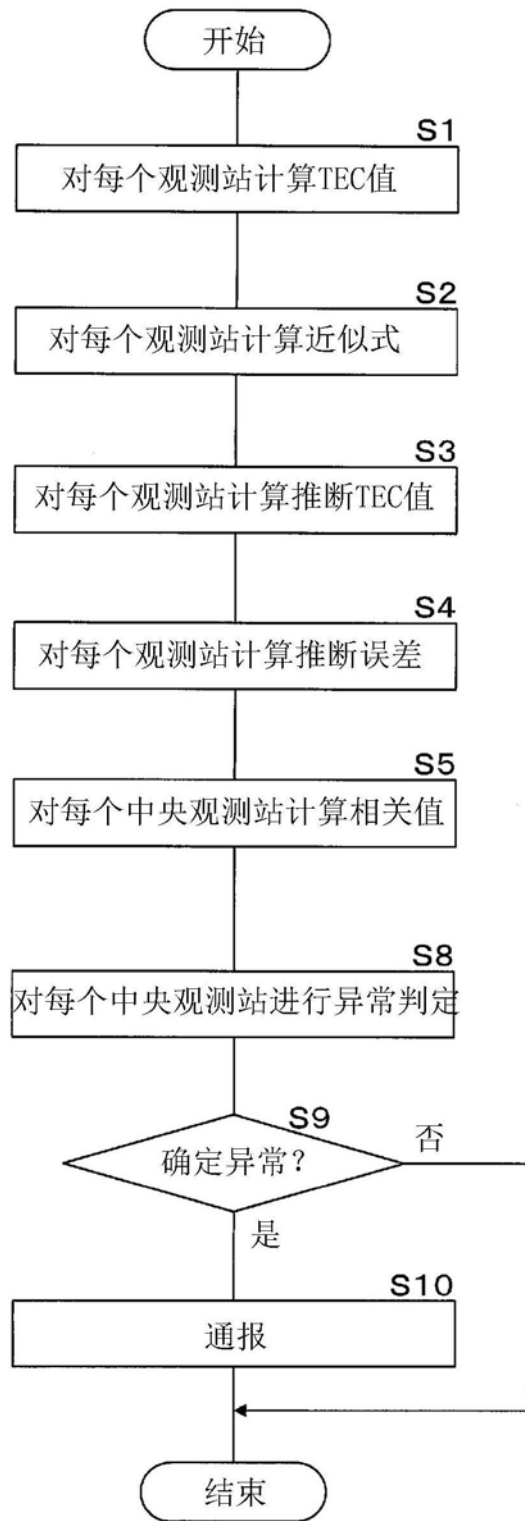


图17

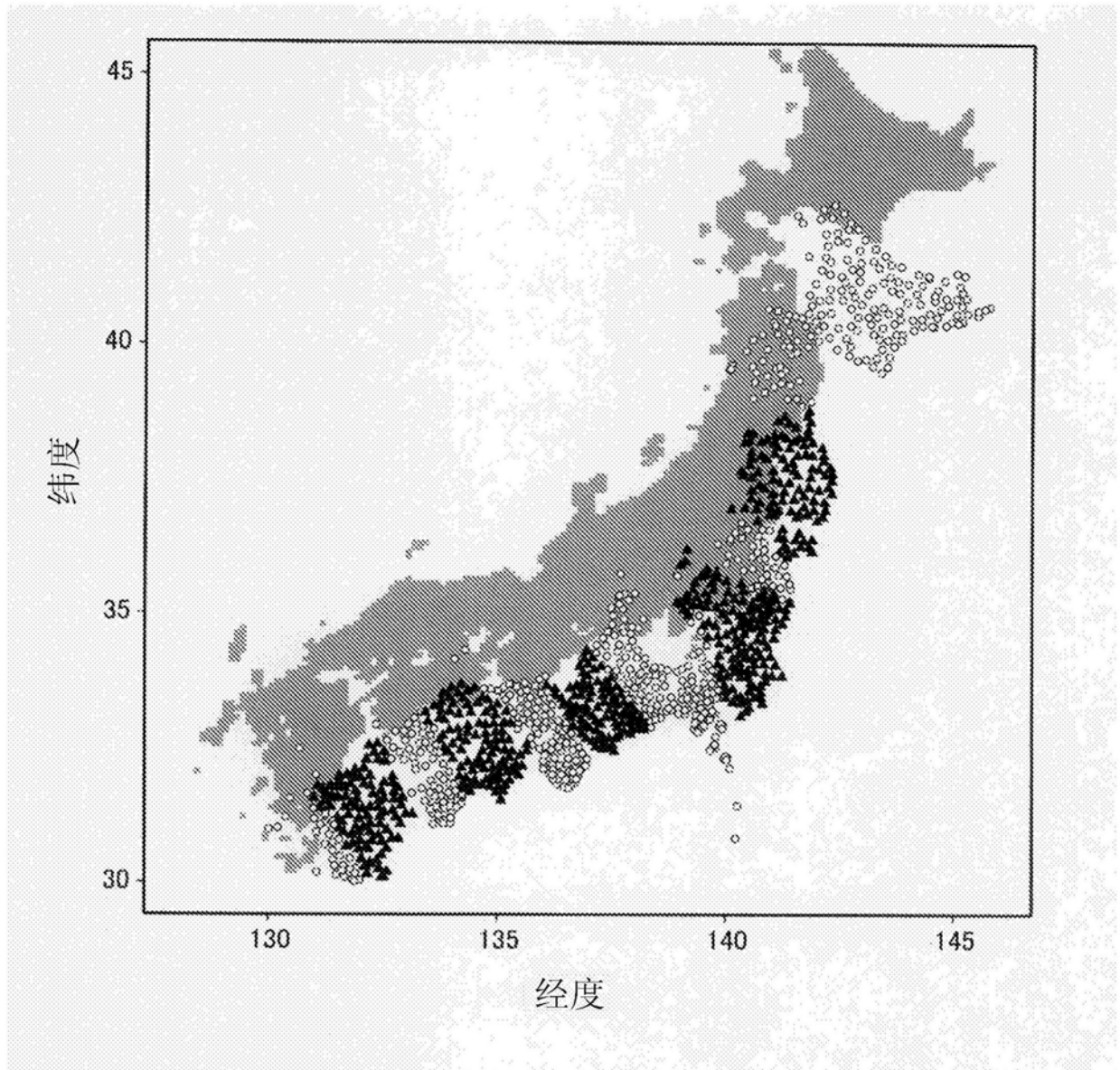


图18

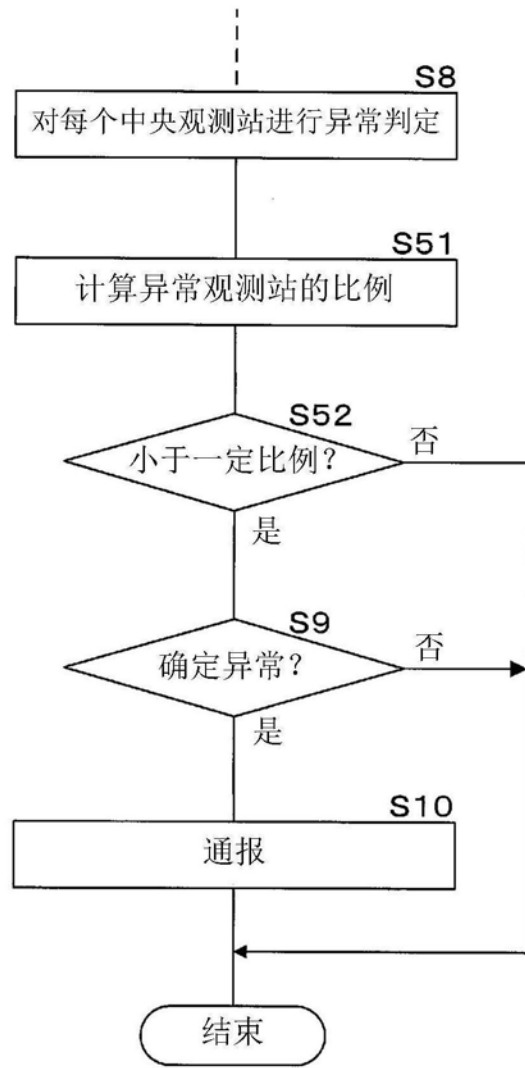


图19

阈值	异常检测的有无	地震发生的有无
...
2.5	无	无
3.3	无	有
3.5	有	有
3.6	有	有
...

图20

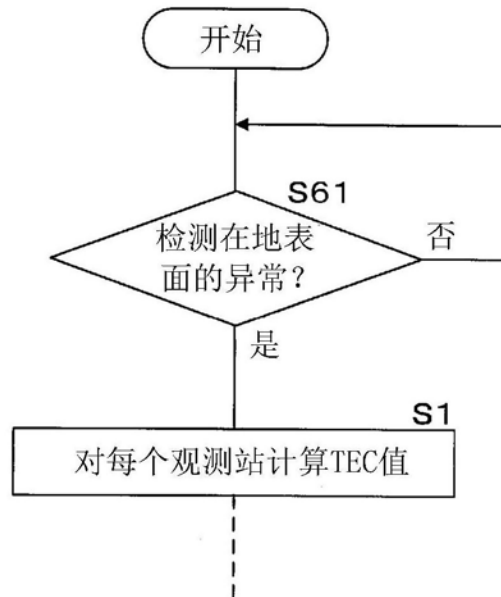


图21