



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115079110 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 20

(21) 申请号 202210776198.7

(22) 申请日 2022.06.30

(71) 申请人 中国科学院国家天文台

地址 100012 北京市朝阳区大屯路甲20号

(72) 发明人 张宗煜 苏彦 李春来 刘建军

刘书宁 戴舜 杜维 洪天晟

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

专利代理师 任岩

(51) Int. Cl.

G01S 7/40 (2006.01)

权利要求书3页 说明书9页 附图5页

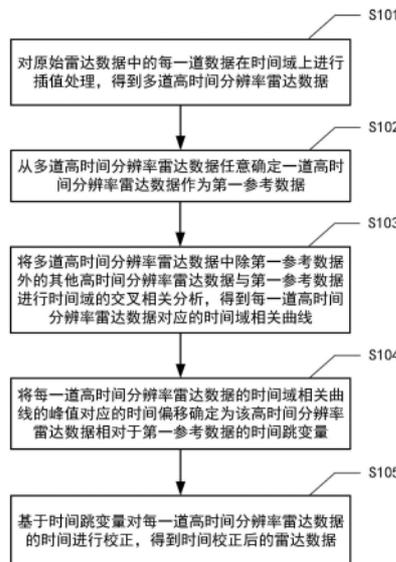
## (54) 发明名称

火星车雷达信号的校正方法、装置、设备及介质

## (57) 摘要

本公开提供一种火星车雷达信号的校正方法、装置、设备介质,方法包括:对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值,并对插值后的信号取绝对值,得到多道高时间分辨率雷达数据;从多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据;将其他多道高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域交叉相关分析,得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的时间域相关曲线;利用每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,并对时间校正后的信号进行相位域分析实现相位校正。该方法解决了火星车下传雷达信号出现跳变和断层等不连续性的问题。

CN 115079110 A



1. 一种火星车雷达信号的校正方法,其特征在于,包括:

对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,得到多道高时间分辨率雷达数据;

从所述多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据;

将所述多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与所述第一参考数据进行时间域交叉相关分析,得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的时间域相关曲线;

将每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移确定为该高时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量;

基于所述时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,得到时间校正后的雷达数据。

2. 根据权利要求1所述的火星车雷达信号的校正方法,其特征在于,所述校正方法还包括:

从多道所述时间校正后的雷达数据中任意确定一道时间校正后的雷达数据作为第二参考数据;

将多道所述时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与所述第二参考数据进行相位域交叉相关分析,得到每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线;

将每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线的实部最大值所对应的相位值确定为该道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变;

基于所述相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正,得到相位校正后的雷达数据。

3. 根据权利要求1或2所述的火星车雷达信号的校正方法,其特征在于,所述对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,具体包括:

采用香农插值法对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理。

4. 根据权利要求1或2所述的火星车雷达信号的校正方法,其特征在于,所述将所述多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与所述第一参考数据进行时间域交叉相关分析,具体包括:

根据

$$R_i[\Delta m] = \sum_m |S_{ref}[m]| \cdot |S_{i,hires}[m + \Delta m]|$$

对高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域交叉相关分析,其中, $R_i[\Delta m]$ 表示第*i*道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线, $S_{ref}[m]$ 为第一参考数据, $S_{i,hires}[m]$ 为第*i*道高时间分辨率雷达数据, $m$ 为高时间分辨率雷达数据对应的点数, $\Delta m$ 为时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移量, $||$ 表示取绝对值。

5. 根据权利要求4所述的火星车雷达信号的校正方法,其特征在于,所述基于所述时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,得到时间校正后的雷达数据,具体包括:

根据

$$S_{i, \text{ hires}}[m] = S_{i, \text{ hires}}[m + \Delta m]$$

对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正, 其中,  $S_{i, \text{ hires}}[m]$  为第  $i$  道高时间分辨率雷达数据,  $S'_{i, \text{ hires}}[m]$  为第  $i$  道高时间分辨率雷达数据经时间校正后的雷达数据。

6. 根据权利要求 2 所述的火星车雷达信号的校正方法, 其特征在于, 所述将多道所述时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与所述第二参考数据进行相位域的交叉相关分析, 具体包括:

根据

$$f_i[\phi_i] = \sum_n (S'_i[n] \cdot e^{i\phi_i}) \cdot S'_{\text{ref}}{}^*[n]$$

对时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析, 其中,  $f_i[\phi]$  为第  $i$  道时间校正后的雷达数据的相位域相关曲线,  $S'_i[n]$  为第  $i$  道时间校正后的雷达数据,  $S'_{\text{ref}}[n]$  为所述第二参考数据,  $\phi_i$  为表示第  $i$  道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变, \* 上标代表取共轭。

7. 根据权利要求 6 所述的火星车雷达信号的校正方法, 其特征在于, 所述基于所述相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正, 得到相位校正后的雷达数据, 具体包括:

根据

$$S_i''[n] = S'_i[n] \cdot e^{i\phi}$$

对每一道时间校正后的雷达数据的相位进行校正, 其中,  $S'_i[n]$  为第  $i$  道时间校正后的雷达数据,  $S_i[n]$  为时间校正后的雷达数据经相位校正后的雷达数据。

8. 一种火星车雷达信号的校正装置, 其特征在于, 包括:

插值模块, 用于对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理, 得到多道高时间分辨率雷达数据;

第一确定模块, 用于从所述多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据;

第一相关分析模块, 用于将所述多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与所述第一参考数据进行时间域的交叉相关分析, 得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的的时间域相关曲线;

第二确定模块, 用于将每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的的时间偏移确定为该高时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量;

第一校正模块, 用于基于所述时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正, 得到时间校正后的雷达数据;

第三确定模块, 用于从多道所述时间校正后的雷达数据中任意确定一道时间校正后的雷达数据作为第二参考数据;

第一相关分析模块, 用于将多道所述时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与所述第二参考数据进行相位域的交叉相关分析, 得到每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线;

第四确定模块, 用于将每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线的实部最

大值所对应的相位值确定为该道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变；  
第二校正模块，用于基于所述相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正，得到相位校正后的雷达数据。

9. 一种电子设备，其特征在于，包括：

一个或多个处理器；

存储器，用于存储一个或多个程序，

其中，当所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器执行时，使得所述一个或多个处理器实现权利要求1至7中任一项所述的方法。

10. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，其上存储有可执行指令，该指令被处理器执行时使处理器实现权利要求1至7中任一项所述的方法。

## 火星车雷达信号的校正方法、装置、设备及介质

### 技术领域

[0001] 本公开涉及数据处理技术领域,尤其涉及一种火星车雷达信号的校正方法、装置、设备及介质。

### 背景技术

[0002] 火星车次表层探测雷达 (RoSPR, Rover Subsurface Penetrating Radar) 是一种基于火星车平台的高分辨率火星次表层地质结构探测雷达,有低频和高频两个通道,其中,低频主要用于探测火星表层以下大约100m以内的土壤和水冰结构。

[0003] 火星车次表层探测雷达的低频通道使用线性调频信号作为其发射信号,并通过基于匹配滤波的脉冲压缩方法来将回波信号转换成可以识别的脉冲,经过星上处理后,雷达回波信号被变频到零中频,以复数的时间序列形式下传至地球。在火星上实际工作的时候,受环境和系统状态的影响,其信号出现时间和相位跳变,使得下传的雷达信号矩阵出现跳变和断层等不连续性,影响到后期的处理和信号解译工作。

### 发明内容

[0004] 鉴于上述技术问题,本公开第一方面提供一种火星车雷达信号的校正方法,包括:对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,得到多道高时间分辨率雷达数据;从多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据;将多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域交叉相关分析,得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的时间域相关曲线;将每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移确定为该高时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量;基于时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,得到时间校正后的雷达数据。

[0005] 根据本公开实施例,校正方法还包括:从多道时间校正后的雷达数据中任意确定一道时间校正后的雷达数据作为第二参考数据;将多道时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,得到每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线;将每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线的实部最大值所对应的相位值确定为该道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变;基于相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正,得到相位校正后的雷达数据。

[0006] 根据本公开实施例,对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,具体包括:采用香农插值法对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理。

[0007] 根据本公开实施例,将多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域的交叉相关分析,具体包括:根据

$$[0008] \quad R_i[\Delta m] = \sum_m |S_{ref}[m]| \cdot |S_{i,hires}[m + \Delta m]|$$

[0009] 对高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域的交叉相关分析,其中, $R_i[\Delta m]$ 表示第*i*道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线, $S_{ref}[m]$ 为第一参考数据, $S_{i,hires}[m]$ 为第*i*道高时间分辨率雷达数据, $m$ 为高时间分辨率雷达数据对应的点数, $\Delta m$ 为时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移量, $||$ 表示取绝对值。

[0010] 根据本公开实施例,基于时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,得到时间校正后的雷达数据,具体包括:根据

$$[0011] \quad S'_{i,hires}[m] = S_{i,hires}[m + \Delta m]$$

[0012] 对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,其中, $S_{i,hires}[m]$ 为第*i*道高时间分辨率雷达数据, $S'_{i,hires}[m]$ 为第*i*道高时间分辨率雷达数据经时间校正后的雷达数据。

[0013] 根据本公开实施例,将多道时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,具体包括:根据

$$[0014] \quad f_i[\phi_i] = \sum_n (S'_i[n] \cdot e^{i\phi_i}) \cdot S'_{ref}{}^*[n]$$

[0015] 对时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,其中, $f_i[\phi]$ 为第*i*道时间校正后的雷达数据的相位域相关曲线, $S'_i[n]$ 为第*i*道时间校正后的雷达数据, $S'_{ref}[n]$ 为第二参考数据, $\phi_i$ 为表示第*i*道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变,\*上标代表取共轭。

[0016] 根据本公开实施例,基于相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正,得到相位校正后的雷达数据,具体包括:

$$[0017] \quad S''_i[n] = S'_i[n] \cdot e^{i\phi}$$

[0018] 对每一道时间校正后的雷达数据的相位进行校正,其中, $S'_i[n]$ 为第*i*道时间校正后的雷达数据, $S_i[n]$ 为时间校正后的雷达数据经相位校正后的雷达数据。

[0019] 本公开第一方面提供一种火星车雷达信号的校正装置,包括:插值模块,用于对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,得到多道高时间分辨率雷达数据;第一确定模块,用于从多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据;第一相关分析模块,用于将多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域的交叉相关分析,得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的时间域相关曲线;第二确定模块,用于将每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移确定为该高时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量;第一校正模块,用于基于时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,得到时间校正后的雷达数据;第三确定模块,用于从多道时间校正后的雷达数据中任意确定一道时间校正后的雷达数据作为第二参考数据;第一相关分析模块,用于将多道时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,得到每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线;第四确定模块,用于将每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线的实部最大值所对应的相位值确定为该道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变;第二校正模块,用于基于相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正,得到相位校正后的雷达数据。

[0020] 本公开第三方面还提供一种电子设备,包括:一个或多个处理器;存储器,用于存

储一个或多个程序,其中,当所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器执行时,使得所述一个或多个处理器实现上述所述的方法。

[0021] 本公开第四方面还提供一种计算机可读存储介质,其特征在于,其上存储有可执行指令,该指令被处理器执行时使处理器实现上述所述的方法。

[0022] 根据本公开实施例提供的火星车雷达信号的校正方法、装置、设备及介质,至少能够实现以下技术效果:

[0023] 通过直接从火星车雷达数据中确定参考数据,以参考数据为基准对雷达数据进行时间和相位域的交叉相关分析,来弥补雷达系统受环境影响而出现的时间相位跳变情况。在经过时间相位校正后,雷达信号在行走路线方向上的不连续性得到修复,为后续雷达信号处理和解译具有重要意义。

### 附图说明

[0024] 通过以下参照附图对本公开实施例的描述,本公开的上述以及其他目的、特征和优点将更为清楚,在附图中:

[0025] 图1示意性示出了根据本公开一实施例的火星车雷达信号的校正方法的流程图。

[0026] 图2示意性示出了根据本公开实施例的经过插值后的火星车雷达信号的实部和虚部的曲线图。

[0027] 图3示意性示出了根据本公开另一实施例的火星车雷达信号的校正方法的流程图。

[0028] 图4示意性示出了根据本公开实施例的火星车雷达信号经时间校正前后的信号曲线对比图。

[0029] 图5示意性示出了根据本公开实施例的火星车雷达信号经时间和相位校正前后的信号曲线对比图。

[0030] 图6示意性示出了根据本公开实施例的火星车雷达信号校正装置的框图。

[0031] 图7示意性示出了根据本发明实施例的适于实现上文描述的方法的电子设备的框图。

### 具体实施方式

[0032] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本公开进一步详细说明。显然,所描述的实施例是本公开一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本公开中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本公开保护的范围。

[0033] 在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例,而并非意在限制本公开。在此使用的术语“包括”、“包含”等表明了所述特征、步骤、操作和/或部件的存在,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、步骤、操作或部件。

[0034] 在本公开中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接或可以互相通讯;可以是直接连接,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,

可以根据具体情况理解上述术语在本公开中的具体含义。

[0035] 在本公开的描述中,需要理解的是,术语“纵向”、“长度”、“周向”、“前”、“后”、“左”、“右”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本公开和简化描述,而不是指示或暗示所指的子系统或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本公开的限制。

[0036] 贯穿附图,相同的元素由相同或相近的附图标记来表示。可能导致本公开的理解造成混淆时,将省略常规结构或构造。并且图中各部件的形状、尺寸、位置关系不反映真实大小、比例和实际位置关系。另外,在本公开中,不应将位于括号之间的任何参考符号构造对本公开的限制。

[0037] 类似地,为了精简本公开并帮助理解各个公开方面中的一个或多个,在上面对本公开示范性实施例的描述中,本公开的各个特征有时被一起分到单个实施例、图或者对其描述中。参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本公开的至少一个实施例或示例中。本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或者多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0038] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。因此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本公开的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个、三个等,除非另有明确具体的限定。

[0039] 针对现有技术的不足,本公开实施例提供一种火星车雷达信号的校正方法,可用于对火星车次表层探测雷达的低频通道数据的时间跳变进行估计和校正,以便进行后续的雷达信号处理和译的工作。需要说明的是,本公开实施例提供的方法不仅限于应用于火星车雷达信号的校正,对于其他需要进行时间和相位校正的雷达信号也适用,具体可以根据实际应用需求选择,本公开不做限制。下面结合具体的实施例进行详细介绍。

[0040] 图1示意性示出了根据本公开一实施例的火星车雷达信号的校正方法的流程图。

[0041] 如图1所示,该火星车雷达信号的校正方法例如可以包括操作S101~操作S104。

[0042] 在操作S101,对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,得到多道高时间分辨率雷达数据。

[0043] 由于火星车雷达低频数据的时间跳变很难恰好为低频数据的采样间隔的整数倍,因此会存在所谓“亚采样间隔”的时间跳变,影响时间跳变的定位精度。可以通过插值提高火星车雷达低频数据的时间分辨率,从而提升影响时间跳变的定位精度。

[0044] 在本公开一实施例中,可以采用香农插值法对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理。

[0045] 具体地,为了便于后续计算,可以先将原始的雷达数据转化为矩阵,对于雷达数据矩阵中的第*i*道数据进行香农插值,记该道原始雷达数据为 $S_i[n]$ , $n \in [1, N]$ ,则可以根据下式:

$$[0046] \quad S_i(t) = \sum_n S_i[n] \operatorname{sinc}\left(\frac{t - nT}{T}\right)$$

[0047] 进行香农插值。其中,  $S_i(t)$  是理论上香农插值可以重建得到的连续信号,  $T$  是原始雷达数据的采样时间间隔,  $\sin c$  为归一化辛格函数。

[0048] 图2示意性示出了根据本公开实施例的经过插值后的低频通道雷达信号的实部和虚部的曲线图。

[0049] 如图2所示, 在插值时, 原始信号对应的时间序列为  $t = [0, T, \dots, (N-1) \cdot T]$ , 对信号进行预设倍数的插值, 输出新的时间序列变为原始时间序列的预设倍数分之一, 例如, 对信号进行100倍插值, 新的时间序列为  $t = [0, T/100, \dots, (NT-T)/100]$ 。通过香农插值以后, 输出数据记为  $S_{i, \text{hires}}[m]$ ,  $m \in [1, 100N]$ 。

[0050] 又由于火星车数据中不仅存在时间跳变, 还存在相位跳变, 因此, 可以通过取绝对值的方法可以消除相位的影响, 从而精确定出时间跳变量。示例性的, 取绝对值时, 对雷达数据矩阵中的每一个元素, 取其绝对值, 记为  $|S_{i, \text{hires}}[m]|$ , 组合即可得到多道高时间分辨率雷达数据对应的矩阵形式。

[0051] 在操作S102, 从多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据。

[0052] 在本公开实施例中, 理论上可以任意从数据中选取一道数据作为第一参考信号, 记为  $|S_{\text{ref}}[m]|$ 。例如, 可以选取多道高时间分辨率雷达数据中的第一道高时间分辨率雷达数据作为参考信号, 记为  $|S_{\text{ref}}[m]| = |S_{1, \text{hires}}[m]|$ 。

[0053] 在操作S103, 将多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域的交叉相关分析, 得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的时间域相关曲线。

[0054] 可以根据

$$[0055] \quad R_i[\Delta m] = \sum_m |S_{\text{ref}}[m]| \cdot |S_{i, \text{hires}}[m + \Delta m]|$$

[0056] 对高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域的交叉相关分析, 其中,  $R_i[\Delta m]$  表示第  $i$  道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线,  $S_{\text{ref}}[m]$  为参考信号,  $S_{i, \text{hires}}[m]$  为第  $i$  道高时间分辨率雷达数据,  $m$  为高时间分辨率雷达数据对应的点数,  $\Delta m$  为时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移量,  $||$  表示取绝对值。

[0057] 在操作S104, 将每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移确定为该高时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量。

[0058] 在本公开实施例中, 可以取时间域相关曲线的峰值对应的时间偏移量  $\Delta m$  为时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量。

[0059] 在操作S105, 基于时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正, 得到时间校正后的雷达数据。

[0060] 可以根据

$$[0061] \quad S'_{i, \text{hires}}[m] = S_{i, \text{hires}}[m + \Delta m]$$

[0062] 对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正, 其中,  $S_{i, \text{hires}}[m]$  为第  $i$  道高时间分辨率雷达数据,  $S'_{i, \text{hires}}[m]$  为第  $i$  道高时间分辨率雷达数据经时间校正后的雷达数据。当  $m \leq 0$  或  $m > 100N$  时, 信号值为0。

[0063] 之后, 对  $S'_{i, \text{hires}}[m]$  进行降采样, 回复原始采样间隔, 得到原始采样间隔的时间校

正的雷达数据,记为 $S_i[n]$ ,降采样的方式例如可以是 $n$ 倍抽取。例如,取 $S'_{i,highres}[m]$ 的第 $[100,200,\dots,100N]$ 点组成原始采样间隔的时间校正后的信号 $S'_i[n]$ 。

[0064] 根据本公开实施例提供的校正方法,以参考数据为基准对雷达数据进行时间的交叉相关分析,来弥补雷达系统受环境影响而出现的时间跳变情况。

[0065] 图3示意性示出了根据本公开另一实施例的火星车雷达信号的校正方法的流程图。

[0066] 如图3所示,本实施例提供的校正方法与图1所示的校正方法相比,在操作S105之后,还可以包括操作S106~操作S109。

[0067] 在操作S106,从多道时间校正后的雷达数据中任意确定一道时间校正后的雷达数据作为第二参考数据。

[0068] 在本公开实施例中,理论上可以任意从时间校正后的雷达数据中选取一道数据作为第二参考信号 $S'_{ref}[n]$ ,记为,例如,仍然选取第一道数据作为第二参考数据 $S'_{ref}[n]=S_1[n]$ 。

[0069] 在操作S107,将多道时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,得到每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线。

[0070] 在本公开实施例中,位域的交叉相关分析具体可以包括:根据

$$[0071] \quad f_i[\phi_i] = \sum_n (S'_i[n] \cdot e^{i\phi_i}) \cdot S'_{ref}{}^*[n]$$

[0072] 对时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,其中, $f_i[\phi]$ 为第 $i$ 道时间校正后的雷达数据的相位域相关曲线, $S'_i[n]$ 为第 $i$ 道时间校正后的雷达数据, $S'_{ref}[n]$ 为第二参考数据, $\phi_i$ 为表示第 $i$ 道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变,\*上标代表取共轭。

[0073] 在操作S108,将每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线的实部最大值所对应的相位值确定为该道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变。

[0074] 在本公开实施例中,可以取时间域相关曲线的实部的最大值所对应的相位值 $\phi_i$ 作为第 $i$ 道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变。

[0075] 在操作S109,基于相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正,得到相位校正后的雷达数据。

[0076] 在本公开实施例中,相位校正的具体过程可以为:

[0077] 根据

$$[0078] \quad S''_i[n] = S'_i[n] \cdot e^{i\phi}$$

[0079] 对每一道时间校正后的雷达数据的相位进行校正,其中, $S'_i[n]$ 为第 $i$ 道时间校正后的雷达数据, $S''_i[n]$ 为时间校正后的雷达数据经相位校正后的雷达数据。

[0080] 根据本公开实施例提供的校正方法,在时间校正的基础上,以参考数据为基准对雷达数据进行相位域的交叉相关分析,进一步弥补雷达系统受环境影响而出现的相位跳变情况。

[0081] 为了验证本公开实施例提供的校正方法的可行性及准确性,本公开实施提供了雷达数据的时间校正及相位校正结果。

[0082] 图4示意性示出了根据本公开实施例的低频通道雷达信号经时间校正前后的信号曲线对比图。

[0083] 图5示意性示出了根据本公开实施例的低频通道雷达信号经时间和相位校正前后的信号曲线对比图。

[0084] 如图4和图5所示,采用本公开实施例提供的校正方法,以参考数据为基准对雷达数据进行时间和相位域的交叉相关分析,来弥补雷达系统受环境影响而出现的时间相位跳变情况,在经过时间相位校正后,雷达信号在行走路线方向上的不连续性得到修复,保证了雷达信号的精度,对后续雷达信号处理和解译具有重要意义。

[0085] 图6示意性示出了根据本公开实施例的低频通道雷达信号校正装置的框图。

[0086] 如图6所示,低频通道雷达信号校正装置600可以包括插值模块610、第一确定模块620、第一相关分析模块630、第二确定模块640、第一校正模块650、第三确定模块660、第一相关分析模块670、第四确定模块680以及第二校正模块690。

[0087] 插值模块610,用于对原始雷达数据中的每一道数据在时间域上进行插值处理,得到多道高时间分辨率雷达数据。

[0088] 第一确定模块620,用于从多道高时间分辨率雷达数据任意确定一道高时间分辨率雷达数据作为第一参考数据。

[0089] 第一相关分析模块630,用于将多道高时间分辨率雷达数据中除第一参考数据外的其他高时间分辨率雷达数据与第一参考数据进行时间域的交叉相关分析,得到每一道高时间分辨率雷达数据对应的的时间域相关曲线。

[0090] 第二确定模块640,用于将每一道高时间分辨率雷达数据的时间域相关曲线的峰值对应的的时间偏移确定为该高时间分辨率雷达数据相对于第一参考数据的时间跳变量。

[0091] 第一校正模块650,用于基于时间跳变量对每一道高时间分辨率雷达数据的时间进行校正,得到时间校正后的雷达数据。

[0092] 第三确定模块660,用于从多道时间校正后的雷达数据中任意确定一道时间校正后的雷达数据作为第二参考数据。

[0093] 第一相关分析模块670,用于将多道时间校正后的雷达数据中除第二参考数据外的其他时间校正后的雷达数据与第二参考数据进行相位域的交叉相关分析,得到每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线。

[0094] 第四确定模块680,用于将每一道时间校正后的雷达数据对应的相位域相关曲线的实部最大值所对应的相位值确定为该道时间校正后的雷达数据相对于第二参考数据的相位跳变。

[0095] 第二校正模块690,用于基于相位跳变对每一道时间校正后的雷达数据进行相位校正,得到相位校正后的雷达数据。

[0096] 根据本发明的实施例的模块、子模块、单元、子单元中的任意多个、或其中任意多个的至少部分功能可以在一个模块中实现。根据本发明实施例的模块、子模块、单元、子单元中的任意一个或多个可以被拆分成多个模块来实现。根据本发明实施例的模块、子模块、单元、子单元中的任意一个或多个可以至少被部分地实现为硬件电路,例如现场可编程门阵列(FPGA)、可编程逻辑阵列(PLA)、片上系统、基板上的系统、封装上的系统、专用集成电路(ASIC),或可以通过对电路进行集成或封装的任何其他的合理方式的硬件或固件来实

现,或以软件、硬件以及固件三种实现方式中任意一种或以其中任意几种的适当组合来实现。或者,根据本发明实施例的模块、子模块、单元、子单元中的一个或多个可以至少被部分地实现为计算机程序模块,当该计算机程序模块被运行时,可以执行相应的功能。

[0097] 例如,插值模块610、第一确定模块620、第一相关分析模块630、第二确定模块640、第一校正模块650、第三确定模块660、第一相关分析模块670、第四确定模块680以及第二校正模块690中的任意多个可以合并在一个模块/单元/子单元中实现,或者其中的任意一个模块/单元/子单元可以被拆分成多个模块/单元/子单元。或者,这些模块/单元/子单元中的一个或多个模块/单元/子单元的至少部分功能可以与其他模块/单元/子单元的至少部分功能相结合,并在一个模块/单元/子单元中实现。根据本发明的实施例插值模块610、第一确定模块620、第一相关分析模块630、第二确定模块640、第一校正模块650、第三确定模块660、第一相关分析模块670、第四确定模块680以及第二校正模块690中的至少一个可以至少被部分地实现为硬件电路,例如现场可编程门阵列(FPGA)、可编程逻辑阵列(PLA)、片上系统、基板上的系统、封装上的系统、专用集成电路(ASIC),或可以通过对电路进行集成或封装的任何其他的合理方式等硬件或固件来实现,或以软件、硬件以及固件三种实现方式中任意一种或以其中任意几种的适当组合来实现。或者,插值模块610、第一确定模块620、第一相关分析模块630、第二确定模块640、第一校正模块650、第三确定模块660、第一相关分析模块670、第四确定模块680以及第二校正模块690中的至少一个可以至少被部分地实现为计算机程序模块,当该计算机程序模块被运行时,可以执行相应的功能。

[0098] 需要说明的是,本发明的实施例的低频通道雷达信号校正装置部分与本发明的实施例的低频通道雷达信号校正方法部分是相对应的,其具体实施细节及带来的技术效果也是相同的,在此不再赘述。

[0099] 图7示意性示出了根据本发明实施例的适于实现上文描述的方法的电子设备的框图。图7示出的电子设备仅仅是一个示例,不应对本发明实施例的功能和使用范围带来任何限制。

[0100] 如图7所示,根据本发明实施例的电子设备700包括处理器701,其可以根据存储在只读存储器(ROM)702中的程序或者从存储部分708加载到随机访问存储器(RAM)703中的程序而执行各种适当的动作和处理。处理器701例如可以包括通用微处理器(例如CPU)、指令集处理器和/或相关芯片组和/或专用微处理器(例如,专用集成电路(ASIC)),等等。处理器701还可以包括用于缓存用途的板载存储器。处理器701可以包括用于执行根据本发明实施例的方法流程的不同动作的单一处理单元或者是多个处理单元。

[0101] 在RAM 703中,存储有电子设备700操作所需的各种程序和数据。处理器701、ROM 702以及RAM703通过总线704彼此相连。处理器701通过执行ROM 702和/或RAM703中的程序来执行根据本发明实施例的方法流程的各种操作。需要注意,所述程序也可以存储在除ROM 702和RAM 703以外的一个或多个存储器中。处理器701也可以通过执行存储在所述一个或多个存储器中的程序来执行根据本发明实施例的方法流程的各种操作。

[0102] 根据本发明的实施例,电子设备700还可以包括输入/输出(I/O)接口705,输入/输出(I/O)接口705也连接至总线704。电子设备700还可以包括连接至I/O接口705的以下部件中的一项或多项:包括键盘、鼠标等的输入部分706;包括诸如阴极射线管(CRT)、液晶显示器(LCD)等以及扬声器等的输出部分707;包括硬盘等的存储部分708;以及包括诸如LAN卡、

调制解调器等网络接口卡的通信部分709。通信部分709经由诸如因特网的网络执行通信处理。驱动器710也根据需要连接至I/O接口705。可拆卸介质711,诸如磁盘、光盘、磁光盘、半导体存储器等等,根据需要安装在驱动器710上,以便于从其上读出的计算机程序根据需要被安装入存储部分708。

[0103] 根据本发明的实施例,根据本发明实施例的方法流程可以被实现为计算机软件程序。例如,本发明的实施例包括一种计算机程序产品,其包括承载在计算机可读存储介质上的计算机程序,该计算机程序包含用于执行流程图所示的方法的程序代码。在这样的实施例中,该计算机程序可以通过通信部分709从网络上被下载和安装,和/或从可拆卸介质711被安装。在该计算机程序被处理器701执行时,执行本发明实施例的系统中限定的上述功能。根据本发明的实施例,上文描述的系统、设备、装置、模块、单元等可以通过计算机程序模块来实现。

[0104] 本发明还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质可以是上述实施例中描述的设备/装置/系统中所包含的;也可以是单独存在,而未装配入该设备/装置/系统中。上述计算机可读存储介质承载有一个或者多个程序,当上述一个或者多个程序被执行时,实现根据本发明实施例的方法。

[0105] 根据本发明的实施例,计算机可读存储介质可以是非易失性的计算机可读存储介质。例如可以包括但不限于:便携式计算机磁盘、硬盘、随机访问存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、便携式紧凑磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本发明中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0106] 例如,根据本发明的实施例,计算机可读存储介质可以包括上文描述的ROM702和/或RAM 703和/或ROM 702和RAM 703以外的一个或多个存储器。

[0107] 附图中的流程图和框图,图示了按照本发明各种实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段、或代码的一部分,上述模块、程序段、或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个接连地表示的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意,框图或流程图中的每个方框、以及框图或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。本领域技术人员可以理解,本发明的各个实施例中记载的特征可以进行多种组合和/或结合,即使这样的组合或结合没有明确记载于本发明中。特别地,在不脱离本发明精神和教导的情况下,本发明的各个实施例记载的特征可以进行多种组合和/或结合。所有这些组合和/或结合均落入本发明的范围。

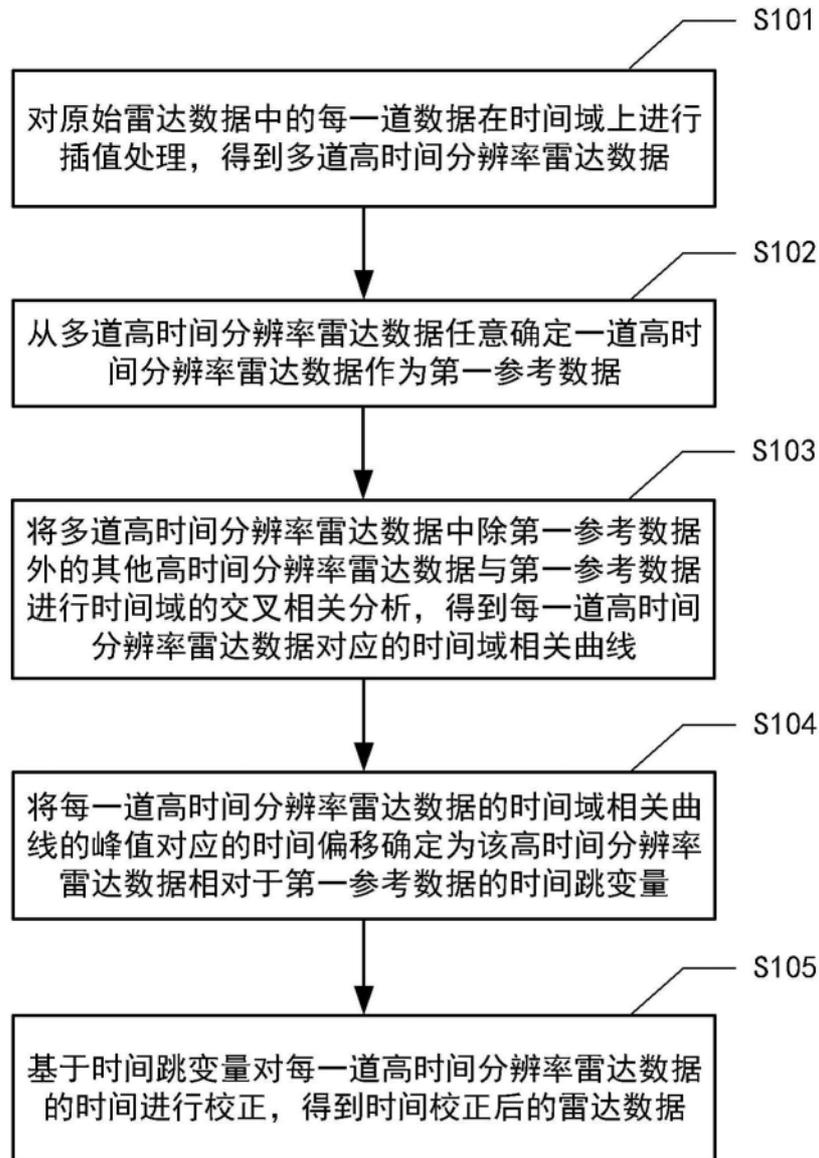


图1

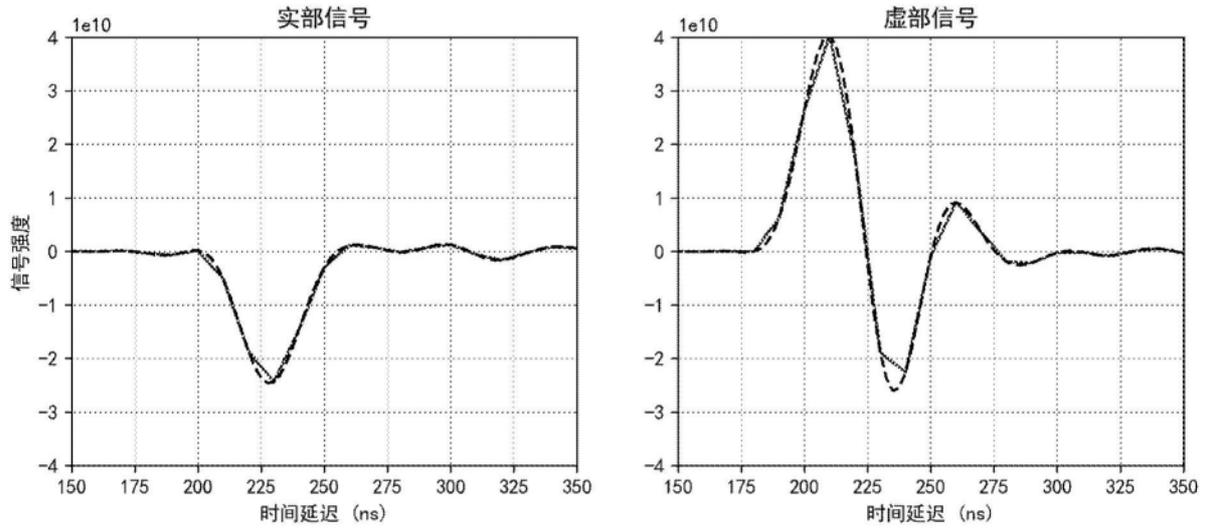


图2

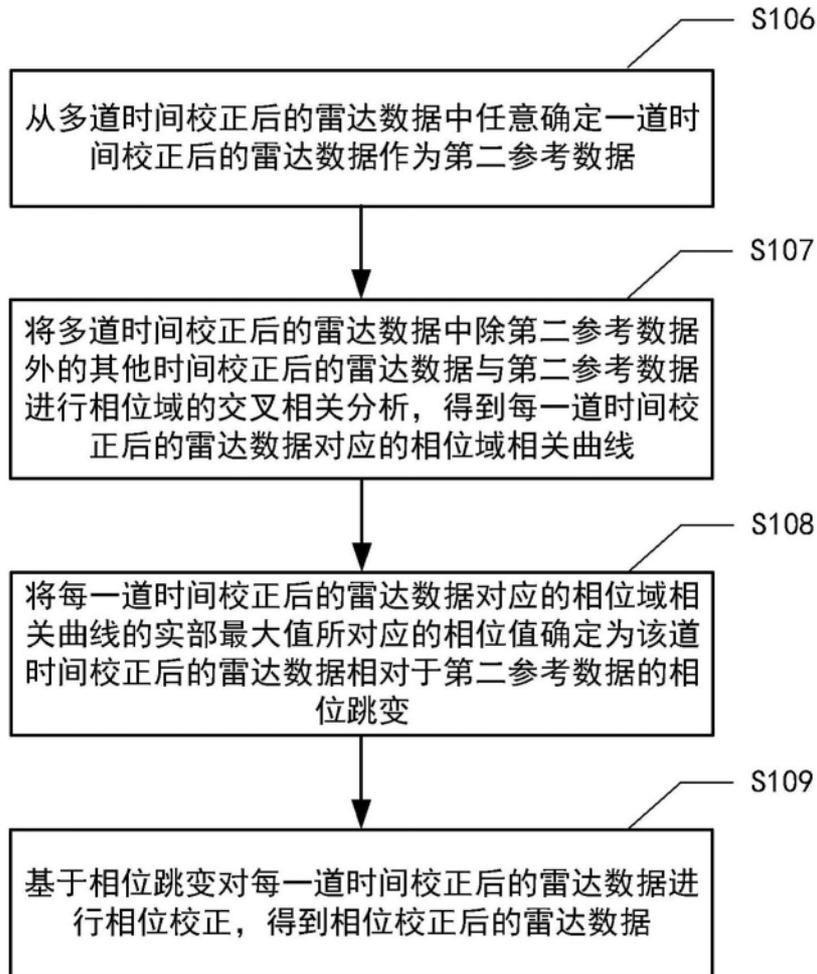


图3

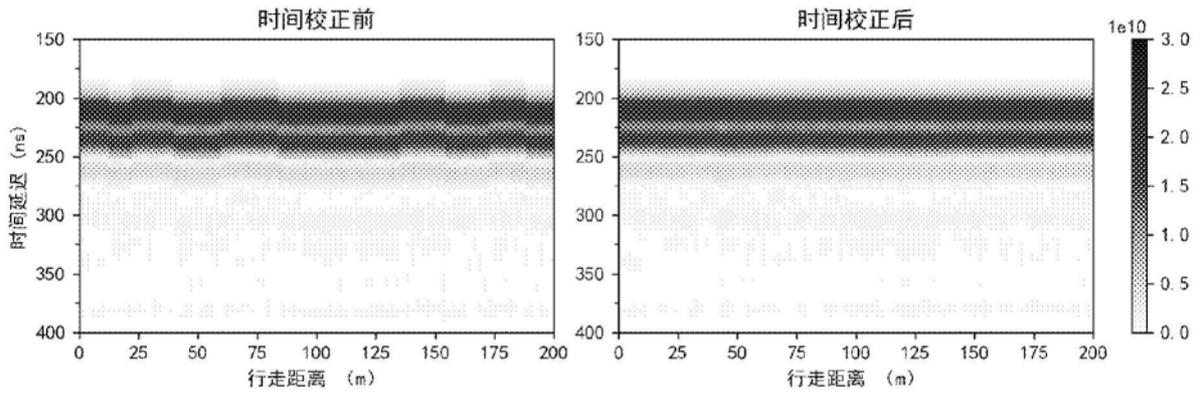


图4

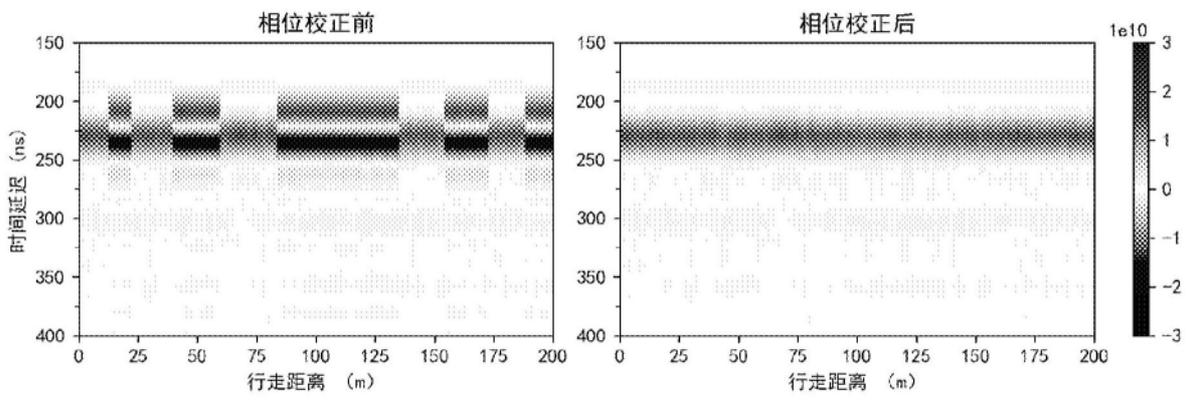


图5

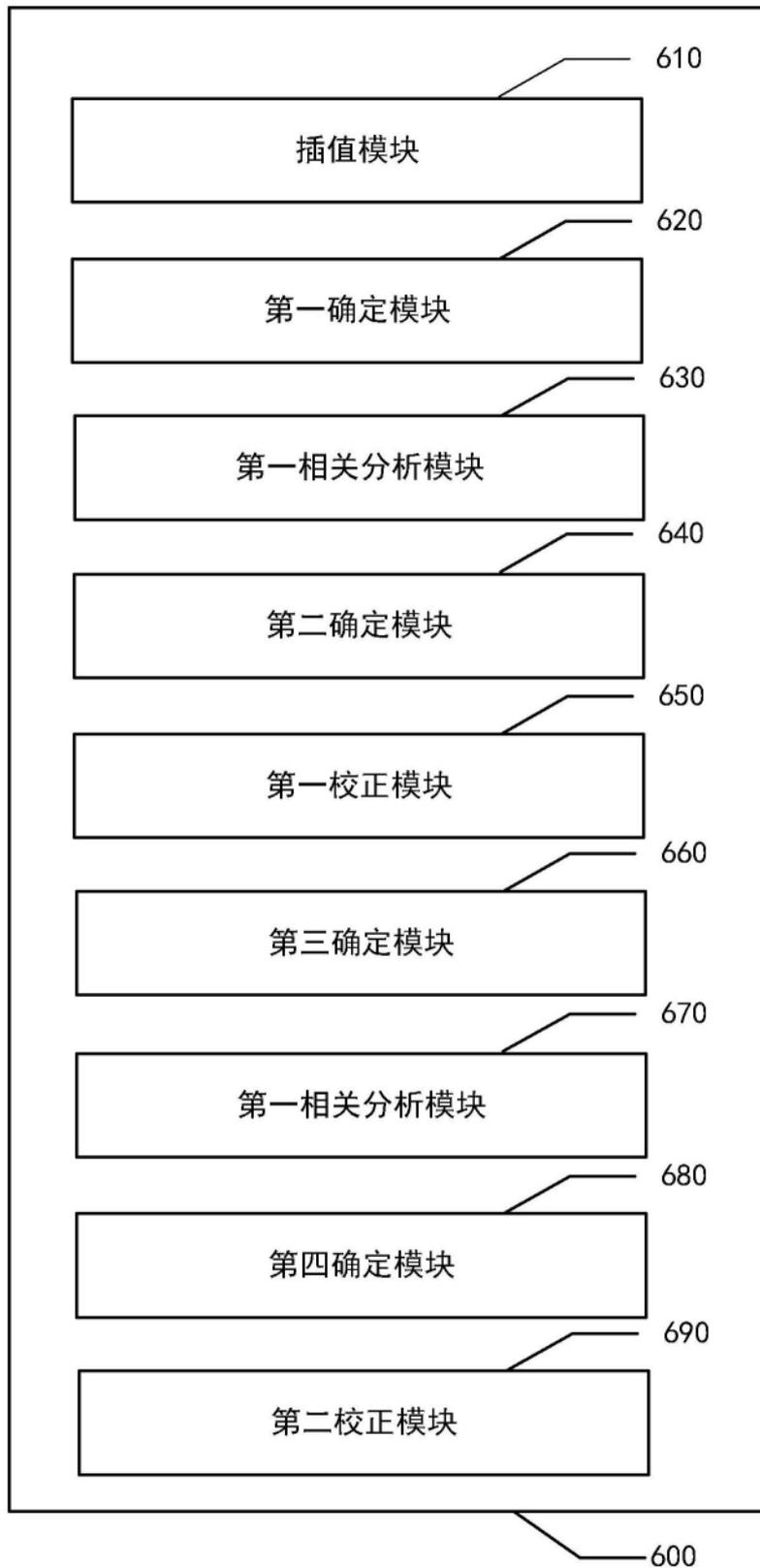


图6

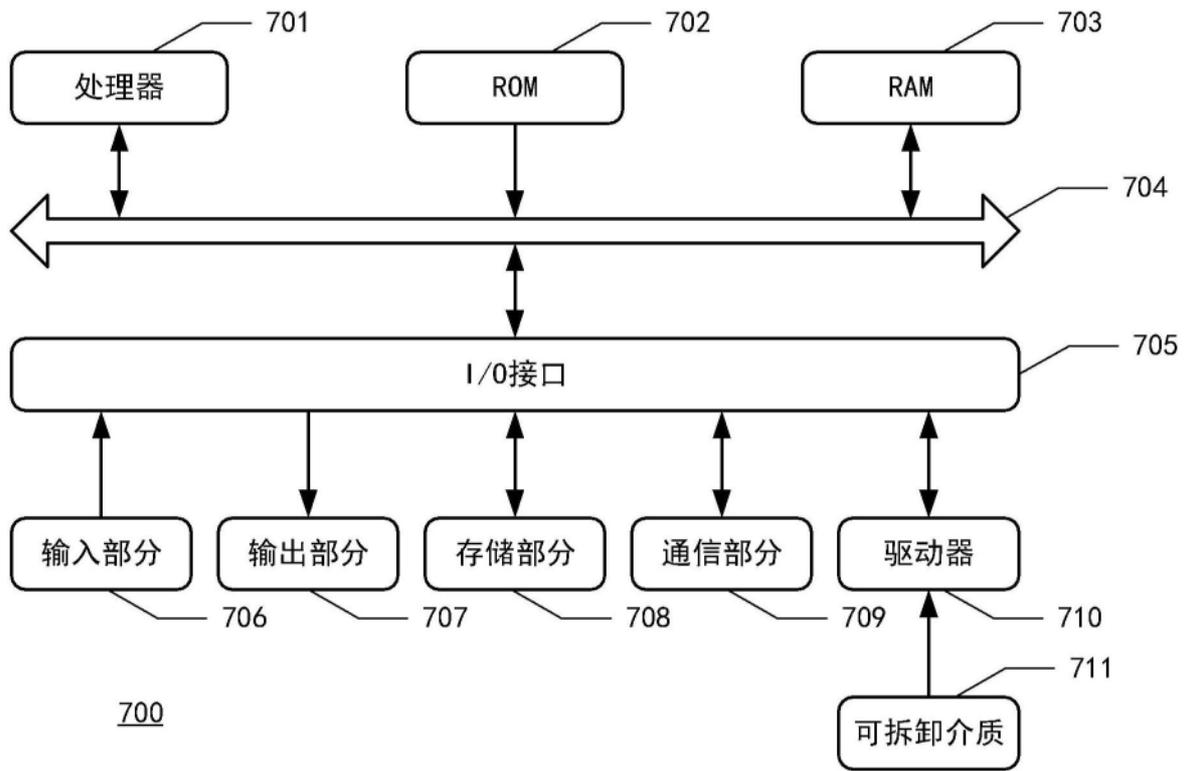


图7