



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111679298 B

(45) 授权公告日 2023.05.09

(21) 申请号 202010387470.3

(22) 申请日 2020.05.09

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111679298 A

(43) 申请公布日 2020.09.18

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院  
地址 518057 广东省深圳市南山区高新园  
南区粤兴一道18号香港理工大学产  
研大楼205室

(72) 发明人 孟赛 许立达

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所  
44237  
专利代理师 牟蓓佳

(51) Int. Cl.  
G01S 19/23 (2010.01)  
G01S 19/20 (2010.01)

(56) 对比文件

- CN 110456390 A, 2019.11.15
- CA 2431801 A1, 2002.06.20
- CN 101027570 A, 2007.08.29
- CN 102096075 A, 2011.06.15
- CN 104215974 A, 2014.12.17
- EP 1965219 A1, 2008.09.03
- KR 20090000603 A, 2009.01.08
- RU 2577846 C1, 2016.03.20
- US 2010026567 A1, 2010.02.04
- US 2011291887 A1, 2011.12.01
- US 2018196142 A1, 2018.07.12
- WO 2018152465 A1, 2018.08.23

孟赛. 北斗导航接收机信号捕获及完好性监  
测关键技术研究. 中国博士学位论文全文数据库  
(电子期刊). 2020, I136-202.

审查员 梅各各

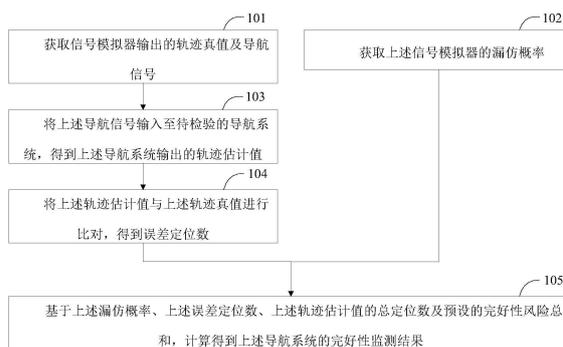
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

导航系统的完好性监测方法、完好性监测装  
置及电子设备

(57) 摘要

本申请适用于导航领域, 提供了一种导航系  
统的完好性监测方法、完好性监测装置、电子设  
备及计算机可读存储介质, 该方法包括: 获取信  
号模拟器输出的与载体运动过程相关联的轨迹  
真值及导航信号; 获取信号模拟器的漏仿概率,  
该漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相  
比, 信号模拟器遗漏输出导航信号的概率; 将导  
航信号输入至待检验的导航系统, 得到导航系  
统输出的轨迹估计值; 将轨迹估计值与轨迹真值进  
行比对, 得到误差定位数; 基于漏仿概率、误差定  
位数、轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风  
险总和, 计算得到导航系统的完好性监测结果。  
通过本申请方案, 由信号模拟器承担大部分完好  
性风险, 降低了导航系统在线进行完好性监测的  
压力和复杂度。



1. 一种导航系统的完好性监测方法,其特征在于,包括:

获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,其中,所述导航信号及所述轨迹真值与载体运动过程相关联;

获取所述信号模拟器的漏仿概率,其中,所述漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,所述信号模拟器遗漏输出导航信号的概率;

将所述导航信号输入至待检验的导航系统,得到所述导航系统输出的轨迹估计值;

将所述轨迹估计值与所述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,其中,所述误差定位数为所述轨迹估计值与所述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数量;

基于所述漏仿概率、所述误差定位数、所述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到所述导航系统的完好性监测结果,其中,所述总定位数为所述轨迹估计值所包含的定位点的数量。

2. 如权利要求1所述的完好性监测方法,其特征在于,所述将所述轨迹估计值与所述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,包括:

记所述轨迹估计值中的定位点为定位估计点,所述轨迹真值中的定位点为定位真值点,则针对所述轨迹估计值中的每个定位估计点,在所述轨迹真值中确定与所述定位估计点相对应的定位真值点,并检测所述定位估计点与相对应的所述定位真值点是否存在误差;

将与相对应的所述定位真值点存在误差的定位估计点的数量确定为所述误差定位数。

3. 如权利要求2所述的完好性监测方法,其特征在于,所述检测所述定位估计点与相对应的所述定位真值点是否存在误差,包括:

在目标坐标轴下,计算所述定位估计点与相对应的所述定位真值点的分量差值,其中,所述目标坐标轴为与完好性监测相关联的任一坐标轴;

若所述分量差值大于预设的告警门限,则确定所述定位估计点与相对应的所述定位真值点存在误差,其中,所述告警门限与所述目标坐标轴相关联。

4. 如权利要求1所述的完好性监测方法,其特征在于,所述获取所述信号模拟器的漏仿概率,包括:

根据预设的完好性风险分配树模型,确定所述信号模拟器中每个子系统的完好性风险;

基于预设的完好性风险总和及所述信号模拟器中每个子系统的完好性风险,计算得到所述信号模拟器的漏仿概率。

5. 如权利要求1所述的完好性监测方法,其特征在于,所述基于所述漏仿概率、所述误差定位数、所述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到所述导航系统的完好性监测结果,包括:

根据预设的完好性计算公式,基于所述漏仿概率、所述误差定位数、所述轨迹估计值的总定位数及所述完好性风险总和,计算得到所述导航系统的完好性监测结果,其中,所述完好性计算公式为:

$$P_{prior,risk} = \frac{N_{risk}}{N_{total}} \cdot \left( 1 - \frac{P_{MS}}{P_{risk}} \right)$$

其中,所述 $P_{\text{prior,risk}}$ 为所述完好性监测结果,所述 $N_{\text{risk}}$ 为所述误差定位数,所述 $N_{\text{total}}$ 为所述总定位数,所述 $P_{\text{MS}}$ 为所述漏仿概率,所述 $P_{\text{risk}}$ 为所述完好性风险总和。

6.如权利要求1所述的完好性监测方法,其特征在于,所述获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,包括:

获取所述信号模拟器通过重放功能或仿真功能所输出的轨迹真值及导航信号。

7.一种导航系统的完好性监测装置,其特征在于,包括:

第一获取单元,用于获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,其中,所述导航信号及所述轨迹真值与载体运动过程相关联;

第二获取单元,用于获取所述信号模拟器的漏仿概率,其中,所述漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,所述信号模拟器遗漏输出导航信号的概率;

导航输出单元,用于将所述导航信号输入至待检验的导航系统,得到所述导航系统输出的轨迹估计值;

轨迹比对单元,用于将所述轨迹估计值与所述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,其中,所述误差定位数为所述轨迹估计值与所述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数量;

结果计算单元,用于基于所述漏仿概率、所述误差定位数、所述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到所述导航系统的完好性监测结果,其中,所述总定位数为所述轨迹估计值所包含的定位点的数量。

8.如权利要求7所述的完好性监测装置,其特征在于,记所述轨迹估计值中的定位点为定位估计点,所述轨迹真值中的定位点为定位真值点,所述轨迹比对单元包括:

误差检测子单元,用于针对所述轨迹估计值中的每个定位估计点,在所述轨迹真值中确定与所述定位估计点对应的定位真值点,并检测所述定位估计点与相对应的所述定位真值点是否存在误差;

数量统计子单元,用于将与相对应的所述定位真值点存在误差的定位估计点的数量确定为所述误差定位数。

9.一种电子设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至6任一项所述的方法。

10.一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至6任一项所述的方法。

## 导航系统的完好性监测方法、完好性监测装置及电子设备

### 技术领域

[0001] 本申请属于导航技术领域,尤其涉及一种导航系统的完好性监测方法、完好性监测装置、电子设备及计算机可读存储介质。

### 背景技术

[0002] 完好性(Integrity)是针对导航系统所提供定位信息置信度的量化指标,包含系统无法满足导航需求时向用户及时发出告警的能力,是评价导航安全性的代表性指标。完好性监测最初应用于全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)的性能评价,并且在民用航空领域得到成熟应用和推广。然而,当前的完好性监测严重依赖于导航系统的在线计算,考虑到导航系统的在线计算过程往往较为复杂,这导致目前导航系统的完好性监测的难度较大。

### 发明内容

[0003] 本申请提供了一种导航系统的完好性监测方法、完好性监测装置、电子设备及计算机可读存储介质,可以降低导航系统的完好性监测的难度。

[0004] 第一方面,本申请提供了一种导航系统的完好性监测方法,包括:

[0005] 获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,其中,上述导航信号及上述轨迹真值与载体运动过程相关联;

[0006] 获取上述信号模拟器的漏仿概率,其中,上述漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,上述信号模拟器遗漏输出导航信号的概率;

[0007] 将上述导航信号输入至待检验的导航系统,得到上述导航系统输出的轨迹估计值;

[0008] 将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,其中,上述误差定位数为上述轨迹估计值与上述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数量;

[0009] 基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,其中,上述总定位数为上述轨迹估计值所包含的定位点的数量。

[0010] 第二方面,本申请提供了一种导航系统的完好性监测装置,包括:

[0011] 第一获取单元,用于获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,其中,上述导航信号及上述轨迹真值与载体运动过程相关联;

[0012] 第二获取单元,用于获取上述信号模拟器的漏仿概率,其中,上述漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,上述信号模拟器遗漏输出导航信号的概率;

[0013] 导航输出单元,用于将上述导航信号输入至待检验的导航系统,得到上述导航系统输出的轨迹估计值;

[0014] 轨迹比对单元,用于将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,其中,上述误差定位数为上述轨迹估计值与上述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数

量；

[0015] 结果计算单元,用于基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,其中,上述总定位数为上述轨迹估计值所包含的定位点的数量。

[0016] 第三方面,本申请提供了一种电子设备,电子设备包括存储器、处理器以及存储在存储器中并可在处理器上运行的计算机程序,处理器执行计算机程序时实现如第一方面的方法的步骤。

[0017] 第四方面,本申请提供了一种计算机可读存储介质,计算机可读存储介质存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现如第一方面的方法的步骤。

[0018] 第五方面,本申请提供了一种计算机程序产品,计算机程序产品包括计算机程序,计算机程序被一个或多个处理器执行时实现如第一方面的方法的步骤。

[0019] 由上可见,本申请方案中,首先获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,并获取上述信号模拟器的漏仿概率,接着将上述导航信号输入至待检验的导航系统,得到上述导航系统输出的轨迹估计值,再将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,最后基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果。本申请方案将一部分完好性风险转嫁到信号模拟器上,降低了导航系统在线进行完好性监测的压力和复杂度。可以理解的是,第二方面至第五方面的有益效果可以参见第一方面中的相关描述,在此不再赘述。

## 附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0021] 图1是本申请实施例提供的导航系统的完好性监测方法的实现流程示意图；

[0022] 图2是本申请实施例提供的完好性风险分配树模型的示例图；

[0023] 图3是本申请实施例提供的完好性分析优化示意图；

[0024] 图4是本申请实施例提供的导航系统的完好性监测装置的结构框图；

[0025] 图5是本申请实施例提供的电子设备的结构示意图。

## 具体实施方式

[0026] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本申请实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

[0027] 在现有技术中,GNSS自主导航完好性监测的核心在于在线对定位结果提供一个满足给定概率的置信度,其核心方程如下所示:

$$[0028] \quad P\left(\left|\hat{\mathbf{X}} - \mathbf{X}\right| > AL \ \& \ PL < AL\right) \leq PHMI$$

[0029] 其中 $|\hat{\mathbf{x}}-\mathbf{x}|$ 表示定位误差,PL表示保护水平,AL表示告警门限,PHMI为危险误导信息概率,即完好性风险。这其中,告警门限是按照民航飞行各阶段安全需求先验设定的,保护水平的求解需要重点解决两个问题:一是计算得到的保护水平是否满足给定的完好性风险;二是保护水平是否如实反映了定位误差与告警门限之间的绝对物理关系。而保护水平的计算有两大难点:一是需要对定位系统的误差分布模型有较为清晰的认识;二是要构建严谨的检验统计量到定位误差的数学关系。为了克服上述难点,往往采用超界包络(Overbounding)的方式计算保护水平,这使得所得到的保护水平有很大冗余,往往不能反映定位误差的真实分布,导致出现虚警和/或漏警等问题。基于此,本申请提出了一种导航系统的完好性监测方法、完好性监测装置、电子设备及计算机可读存储介质,跳过了解算保护水平的难题,降低了在线自主完好性监测的压力和复杂度,使得对导航系统的完好性不可用的判定可以更加准确。为了说明本申请实施例所提出的技术方案,下面通过具体实施例来进行说明。

#### [0030] 实施例一

[0031] 下面对本申请实施例提供的一种导航系统的完好性监测方法进行描述。请参阅图1,该完好性监测方法包括:

[0032] 步骤101,获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号。

[0033] 本申请实施例中,首先引入一信号模拟器,该信号模拟器可以输出载体运动过程中的轨迹真值及导航信号。在导航领域,信号模拟器的开发和商业化已经比较成熟。当前的信号模拟器已经能够使复现的应用场景、载体动态及传感器信号(也即导航信号)的输出更加多样化和逼真化,这为线下验证导航系统的完好性提供了技术支撑和可行性。该信号模拟器可以在大数据分析及机器学习的基础上结合蒙特卡洛模拟,对实际测试中难以发生的小概率事件进行仿真。其中,蒙特卡洛模拟通过抓住事物运动的几何数量和几何特征,利用数学方法来加以模拟,也即,进行一种数字模拟实验。通常来说,可以将蒙特卡洛模拟归结为三个主要步骤:构造或描述概率过程;实现从已知概率分布抽样;建立各种估计量。因而,本申请实施例中,通过引入一可信度较高的信号模拟器,并基于该信号模拟器的仿真功能和/或复现功能所输出的导航信号及轨迹真值实现对导航系统的线下完好性监测,从而降低甚至最终取代传统的线上完好性监测。其中,上述轨迹真值可以视作载体运动过程中的轨迹观测值。

[0034] 具体地,信号模拟器的仿真功能为:信号模拟器能够根据给定的运动轨迹,通过蒙特卡洛模拟给出载体运动过程中各种传感器在典型场景下的输出,包括标准信号,故障信号和异常信号等。其中,标准信号为除了传感器的正常输出外,只包含高斯白噪声的信号;故障信号为传感器故障所导致的信号;异常信号为场景复杂等问题所导致的信号。举例来说,信号模拟器仿真一段100秒的卫星信号,具体场景为:前50秒在空旷区域;中间40秒在城市中有较多高楼大厦的区域(这导致很多卫星被阻挡);最后10秒卫星发生故障。则仿真所获得的导航信号中:前50秒是标准信号;中间40秒因为高楼大厦的阻挡导致卫星可能出现不可用的情况,会出现“标准信号+反射信号”夹杂在一起的异常信号;最后10秒则是故障信号。

[0035] 具体地,信号模拟器的重现功能为:信号模拟器能够将真实测试过程中所采集到

的导航信号进行存储并重新输出。

[0036] 步骤102,获取上述信号模拟器的漏仿概率。

[0037] 在本申请实施例中,漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,信号模拟器遗漏输出导航信号的概率。也可以理解为,漏仿概率用于指示出现信号模拟器未输出,但在载体运动过程中真实存在有导航信号的情况的概率。本申请实施例将完好性风险总和 $P_{risk}$ 分为了线上和线下两个部分。其中,完好性风险总和 $P_{risk}$ 为一预设值,线上完好性风险 $P_{risk,online}$ 由导航系统在线进行估计,线下完好性风险 $P_{risk,offline}$ 由信号模拟器承担。在本申请实施例中,上述漏仿概率在数值上等于线上完好性风险 $P_{risk,online}$ ,其关系可以表示为:

$$[0038] \quad P_{MS} = P_{risk,online} = P_{risk} - P_{risk,offline}$$

[0039] 其中, $P_{MS}$ 为漏仿概率, $P_{risk,online}$ 为线上完好性风险, $P_{risk}$ 为完好性风险总和, $P_{risk,offline}$ 为线下完好性风险。

[0040] 具体地,线下完好性风险可以由预设的完好性风险分配树模型所确定。请参阅图2,图2给出了一完好性风险分配树模型的简单示例。假设完好性风险总和为 $10^{-7}$ ,在传统的自主完好性监测中,上述完好性风险需要全部由导航系统的在线算法完成,也即,该在线算法需要监测若干种故障模式以满足导航系统的完好性风险的要求,这导致在线算法技术往往较为复杂且计算压力较大。而在本申请实施例中,大部分完好性风险可以由信号模拟器承担,在图2中表示为先验完好性风险(也即线下完好性风险)。信号模拟器功能越完善,则所分担的完好性风险越多,图2中所示的先验完好性风险占比可以超过99%,而在线算法需要监测的完好性风险则有显著下降,仅为完好性风险总和的1%左右,其压力和计算复杂度大为缓解。同时,信号模拟器还可以进一步将完好性风险分配给各个子系统,其完好性风险总和、线上完好性风险及线下完好性风险之间的关系可表示为:

$$[0041] \quad P_{risk} = P_{risk,online} + P_{risk,offline}$$

$$[0042] \quad = P_{risk,online} + (P_{risk,offline,sub1} + P_{risk,offline,sub2} + \dots + P_{risk,offline,subn})$$

[0043] 其中, $P_{risk,offline,sub1}, P_{risk,offline,sub2}, \dots, P_{risk,offline,subn}$ 可用于表示信号模拟器中各个子系统所承担的完好性风险。例如,可将信号模拟器划分出一场景子系统,对应图2的场景完好性风险;同时划分出一运动体(也即载体)状态子系统,对应图2的运动体状态完好性风险;还可划分出一传感器子系统,对应图2的传感器完好性风险。可见,本申请实施例中,可根据预设的完好性风险分配树模型,确定上述信号模拟器中每个子系统的完好性风险,随后基于上述完好性风险总和及上述信号模拟器中每个子系统的完好性风险得到上述信号模拟器的漏仿概率,具体为将完好性风险总和减去各个子系统的完好性风险的总和(也即将完好性风险总和减去线下完好性风险)得到上述信号模拟器的漏仿概率。

[0044] 可以理解的是,在完好性监测过程中,上述完好性风险分配树模型可以保持不变,也可以动态变化,此处不作限定。

[0045] 步骤103,将上述导航信号输入至待检验的导航系统,得到上述导航系统输出的轨迹估计值。

[0046] 在本申请实施例中,信号模拟器所输出的导航信号将被输出至待检验的导航系统中,该导航系统即为需要进行完好性监测的对象。该导航信号可以经由导航系统进行预处理、导航滤波与优化、故障检测和隔离和/或定位解算等操作,最终导航系统将输出基于导航信号所得到的轨迹估计值。可以认为,该轨迹估计值是导航系统基于导航信号预测得

到的,因而,该轨迹估计值一般情况下会与轨迹真值存在一些差别。需要注意的是,导航系统作为完好性监测的对象,本方案并不关心该导航系统内部具体对导航信号进行了何种处理;也即,本方案将导航系统视作一黑匣子,仅需考虑向该导航系统输入导航信号后,该导航系统所输出的轨迹估计值;也即,本方案仅关心该导航系统的输入及输出。

[0047] 步骤104,将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数。

[0048] 在本申请实施例中,轨迹估计值中的定位点的数量与轨迹真值中的定位点的数量相同,其中,轨迹估计值中的各个定位点与轨迹真值中的各个定位点呈现一一对应的关系。为了便于说明,将轨迹估计值中的定位点记作定位估计点,将轨迹真值中的定位点记作轨迹真值点。可以简单理解为,轨迹估计值中的第一个定位点与轨迹真值中的第一个定位点相对应,轨迹估计值中的第二个定位点与轨迹真值中的第二个定位点相对应,以此类推。为了获得误差定位数,可以检测每一对相对应的定位估计点及定位真值点之间是否存在误差,并将与相对应的定位真值点存在误差的定位估计点的数量确定为误差定位数。

[0049] 可选地,完好性监测过程中往往涉及两个以上坐标轴。针对与完好性监测相关联的任一坐标轴,可以计算定位估计点与相对应的定位真值点在该坐标轴上的分量差值,若该分量差值大于预设的告警门限,则确定该定位估计点与相对应的定位真值点存在误差。需要注意的是,上述告警门限与坐标轴相关联。举例来说,假定与本次完好性监测相关联的坐标系为二维坐标系,该坐标系由水平坐标轴及垂直坐标轴构成。只要一定位估计点在垂直坐标轴上的分量与对应的定位真值点在垂直坐标系上的分量的差值(也即定位估计点及对应的定位真值点在垂直坐标轴上的分量差值)大于预设的垂直告警门限,和/或,该定位估计点在水平坐标轴上的分量与对应的定位真值点在水平坐标系上的分量的差值(也即定位估计点及对应的定位真值点在水平坐标轴上的分量差值)大于预设的水平告警门限,即可确认该定位估计点与对应的定位真值点存在误差。反之,若定位估计点在垂直坐标轴上的分量与对应的定位真值点在垂直坐标系上的分量的差值(也即定位估计点及对应的定位真值点在垂直坐标轴上的分量差值)小于或等于预设的垂直告警门限,并且,该定位估计点在水平坐标轴上的分量与对应的定位真值点在水平坐标系上的分量的差值(也即定位估计点及对应的定位真值点在水平坐标轴上的分量差值)小于或等于预设的水平告警门限,即可确认该定位估计点与对应的定位真值点之间的误差可以忽略不计。

[0050] 为了更好的理解误差定位数的统计过程,下面给出一统计公式:

$$[0051] \quad N_{\text{risk}} = N_{\text{risk}} + 1 \quad \text{if} \quad (PE_{(q)} > AL_{(q)})$$

[0052] 其中, $N_{\text{risk}}$ 初始值为0,用于表示误差定位数; $PE$ 用于表示定位估计点与对应的定位真值点之间的分量差值; $AL$ 用于表示告警门限;下标 $(q)$ 用于表示所处坐标轴为 $q$ 坐标轴;也即, $PE_{(q)}$ 为定位估计点与对应的定位真值点在 $q$ 坐标轴上的分量差值; $AL_{(q)}$ 为与 $q$ 坐标轴相关联的告警门限。

[0053] 请参阅图3,图3左侧示出了现有的基于保护水平的斯坦福分析图(Stanford Plot),右侧示出了采用本申请实施例所得到的分析图。在斯坦福分析图中,按照分量差值 $PE$ 、保护水平 $PL$ 和告警门限 $AL$ 的大小关系存在六种情况,其中:

[0054] 1、 $PE < PL < AL$ :分量差值小于告警门限,导航系统可用;并且计算的保护水平正确包络分量差值并小于告警门限。这种场景下,导航系统决策正确,属于理想的正常工作状态;

[0055] 2、 $PL < PE < AL$ :分量差值小于告警门限,导航系统可用;但是估算的保护水平没有正

确包络分量差值。这种场景下,导航系统决策正确,但是保护水平计算失败,属于误导信息事件;

[0056] 3、 $PL < AL < PE$ :分量差值大于告警门限,导航系统实际不可用;但是计算的保护水平小于告警门限。这种场景下,导航系统输出为正常工作,决策不正确,且保护水平计算失败,属于危险误导信息;

[0057] 4、 $PE < AL < PL$ :分量差值小于告警门限,导航系统可用;但是计算的保护水平冗余过大,超过告警门限,导致告警。这种场景下,导航系统决策不正确,其保护水平计算失败,属于虚警事件;

[0058] 5、 $AL < PE < PL$ :分量差值大于告警门限,导航系统实际不可用;计算的保护水平正确包络分量差值。这种场景下,导航系统决策正确。

[0059] 6、 $AL < PL < PE$ :分量差值大于告警门限,导航系统实际不可用;计算的保护水平大于告警门限但小于分量差值。这种场景下,导航系统决策正确,但保护水平计算失败,属于误导信息事件。

[0060] 可见,在斯坦福分析图中,由于保护水平的存在,导致完好性的决策复杂化。反之,采用本申请实施例所得到的分析图中,因为跳过了计算保护水平的环节,直接对分量差值和告警门限进行比对,这大大减少了场景的数量。下面给出采用本申请实施例所得到的两种可能的场景:

[0061] 1、 $PE \leq AL$ :分量差值小于或等于告警门限,导航系统可用;导航系统决策正确。

[0062] 2、 $AL < PE$ :分量差值大于告警门限,导航系统不可用;导航系统决策正确。

[0063] 与现有的斯坦福分析图相比,本申请实施例所提出的决策分析过程大为简化,且计算结果不存在任何误导信息或决策不正确的情况,使得对导航系统的完好性监测更加直接且准确。

[0064] 步骤105,基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果。

[0065] 在本申请实施例中,轨迹估计值的总定位数为该轨迹估计值所包含的定位点的数量,也即定位估计点的数量。具体地,可根据预设的完好性计算公式,基于漏仿概率、误差定位数、总定位数及完好性风险总和,计算得到导航系统的完好性监测结果,该完好性监测结果具体为先验完好性监测结果。该完好性计算公式为:

$$[0066] \quad P_{prior,risk} = \frac{N_{risk}}{N_{total}} \cdot \left( 1 - \frac{P_{MS}}{P_{risk}} \right)$$

[0067] 其中, $P_{prior,risk}$ 为计算得到的完好性监测结果, $N_{risk}$ 为误差定位数, $N_{total}$ 为总定位数, $P_{MS}$ 为漏仿概率, $P_{risk}$ 为完好性风险总和。

[0068] 由上可见,本申请实施例将一部分完好性风险转嫁到信号模拟器上,降低了导航系统在线进行完好性监测的压力和复杂度,且方便对导航系统的安全性进行提高和优化。同时,本申请实施例跳过了解算保护水平的难题,使得所获得的的导航系统的完好性监测结果更加准确。

[0069] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限

定。

[0070] 实施例二

[0071] 本申请实施例二提供了一种导航系统的完好性监测装置。如图4所示,本申请实施例中的完好性监测装置400包括:

[0072] 第一获取单元401,用于获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,其中,上述导航信号及上述轨迹真值与载体运动过程相关联;

[0073] 第二获取单元402,用于获取上述信号模拟器的漏仿概率,其中,上述漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,上述信号模拟器遗漏输出导航信号的概率;

[0074] 导航输出单元403,用于将上述导航信号输入至待检验的导航系统,得到上述导航系统输出的轨迹估计值;

[0075] 轨迹比对单元404,用于将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,其中,上述误差定位数为上述轨迹估计值与上述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数量;

[0076] 结果计算单元405,用于基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,其中,上述误差定位数为上述轨迹估计值与上述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数量。

[0077] 可选地,记上述轨迹估计值中的定位点为定位估计点,上述轨迹真值中的定位点为定位真值点,上述轨迹比对单元404包括:

[0078] 误差检测子单元,用于针对上述轨迹估计值中的每个定位估计点,在上述轨迹真值中确定与上述定位估计点对应的定位真值点,并检测上述定位估计点与相对应的上述定位真值点是否存在误差;

[0079] 数量统计子单元,用于将与相对应的上述定位真值点存在误差的定位估计点的数量确定为上述误差定位数。

[0080] 可选地,上述误差检测子单元包括:

[0081] 分量差值计算子单元,用于在目标坐标轴下,计算上述定位估计点与相对应的上述定位真值点的分量差值,其中,上述目标坐标轴为与完好性监测相关联的任一坐标轴;

[0082] 误差确定子单元,用于若上述分量差值大于预设的告警门限,则确定上述定位估计点与相对应的上述定位真值点存在误差,其中,上述告警门限与上述目标坐标轴相关联。

[0083] 可选地,上述第二获取单元402包括:

[0084] 子系统完好性风险确定子单元,用于根据预设的完好性风险分配树模型,确定上述信号模拟器中每个子系统的完好性风险;

[0085] 漏仿概率计算子单元,用于基于预设的完好性风险总和及上述信号模拟器中每个子系统的完好性风险,计算得到上述信号模拟器的漏仿概率。

[0086] 可选地,上述结果计算单元405,具体用于根据预设的完好性计算公式,基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及上述完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,其中,上述完好性计算公式为:

$$[0087] \quad P_{prior,risk} = \frac{N_{risk}}{N_{total}} \cdot \left( 1 - \frac{P_{MS}}{P_{risk}} \right)$$

[0088] 其中,上述 $P_{\text{prior,risk}}$ 为上述完好性监测结果,上述 $N_{\text{risk}}$ 为上述误差定位数,上述 $N_{\text{total}}$ 为上述总定位数,上述 $P_{\text{MS}}$ 为上述漏仿概率,上述 $P_{\text{risk}}$ 为上述完好性风险总和。

[0089] 可选地,上述第一获取单元401,具体用于获取上述信号模拟器通过重放功能或仿真功能所输出的轨迹真值及导航信号。

[0090] 由上可见,本申请实施例将一部分完好性风险转嫁到信号模拟器上,降低了导航系统在线进行完好性监测的压力和复杂度,且方便对导航系统的安全性进行提高和优化。同时,本申请实施例跳过了解算保护水平的难题,使得所获得的的导航系统的完好性监测结果更加准确。

[0091] 实施例三

[0092] 本申请实施例三提供了一种电子设备,请参阅图5,本申请实施例中的电子设备5包括:存储器501,一个或多个处理器502(图5中仅示出一个)及存储在存储器501上并可在处理器上运行的计算机程序。其中:存储器501用于存储软件程序以及单元,处理器502通过运行存储在存储器501的软件程序以及单元,从而执行各种功能应用以及数据处理,以获取上述预设事件对应的资源。具体地,处理器502通过运行存储在存储器501的上述计算机程序时实现以下步骤:

[0093] 获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,其中,上述导航信号及上述轨迹真值与载体运动过程相关联;

[0094] 获取上述信号模拟器的漏仿概率,其中,上述漏仿概率用于指示与真实的载体运动过程相比,上述信号模拟器遗漏输出导航信号的概率;

[0095] 将上述导航信号输入至待检验的导航系统,得到上述导航系统输出的轨迹估计值;

[0096] 将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,其中,上述误差定位数为上述轨迹估计值与上述轨迹真值相比,存在误差的定位点的数量;

[0097] 基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,其中,上述总定位数为上述轨迹估计值所包含的定位点的数量。

[0098] 假设上述为第一种可能的实施方式,则在第一种可能的实施方式作为基础而提供的第二种可能的实施方式中,上述将上述轨迹估计值与上述轨迹真值进行比对,得到误差定位数,包括:

[0099] 记上述轨迹估计值中的定位点为定位估计点,上述轨迹真值中的定位点为定位真值点,则针对上述轨迹估计值中的每个定位估计点,在上述轨迹真值中确定与上述定位估计点相对应的定位真值点,并检测上述定位估计点与相对应的上述定位真值点是否存在误差;

[0100] 将与相对应的上述定位真值点存在误差的定位估计点的数量确定为上述误差定位数。

[0101] 在上述第二种可能的实施方式作为基础而提供的第三种可能的实施方式中,上述检测上述定位估计点与相对应的上述定位真值点是否存在误差,包括:

[0102] 在目标坐标轴下,计算上述定位估计点与相对应的上述定位真值点的分量差值,其中,上述目标坐标轴为与完好性监测相关联的任一坐标轴;

[0103] 若上述分量差值大于预设的告警门限,则确定上述定位估计点与相对应的上述定位真值点存在误差,其中,上述告警门限与上述目标坐标轴相关联。

[0104] 在上述一种可能的实施方式作为基础而提供的第四种可能的实施方式中,上述获取上述信号模拟器的漏仿概率,包括:

[0105] 根据预设的完好性风险分配树模型,确定上述信号模拟器中每个子系统的完好性风险;

[0106] 基于预设的完好性风险总和及上述信号模拟器中每个子系统的完好性风险,计算得到上述信号模拟器的漏仿概率。

[0107] 在上述一种可能的实施方式作为基础而提供的第五种可能的实施方式中,上述基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及预设的完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,包括:

[0108] 根据预设的完好性计算公式,基于上述漏仿概率、上述误差定位数、上述轨迹估计值的总定位数及上述完好性风险总和,计算得到上述导航系统的完好性监测结果,其中,上述完好性计算公式为:

$$[0109] \quad P_{prior,risk} = \frac{N_{risk}}{N_{total}} \cdot \left( 1 - \frac{P_{MS}}{P_{risk}} \right)$$

[0110] 其中,上述 $P_{prior,risk}$ 为上述完好性监测结果,上述 $N_{risk}$ 为上述误差定位数,上述 $N_{total}$ 为上述总定位数,上述 $P_{MS}$ 为上述漏仿概率,上述 $P_{risk}$ 为上述完好性风险总和。

[0111] 在上述第一种可能的实施方式作为基础而提供的第六种可能的实施方式中,上述获取信号模拟器输出的轨迹真值及导航信号,包括:

[0112] 获取上述信号模拟器通过重放功能或仿真功能所输出的轨迹真值及导航信号。

[0113] 应当理解,在本申请实施例中,所称处理器502可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),该处理器还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0114] 存储器501可以包括只读存储器和随机存取存储器,并向处理器502提供指令和数据。存储器501的一部分或全部还可以包括非易失性随机存取存储器。例如,存储器501还可以存储设备类别的信息。

[0115] 由上可见,在本申请实施例中,本申请实施例将一部分完好性风险转嫁到信号模拟器上,降低了导航系统在线进行完好性监测的压力和复杂度,且方便对导航系统的安全性进行提高和优化。同时,本申请实施例跳过了解算保护水平的难题,使得所获得的导航系统的完好性监测结果更加准确。

[0116] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将上述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可

以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0117] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0118] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者外部设备软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0119] 在本申请所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的系统实施例仅仅是示意性的,例如,上述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0120] 上述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0121] 上述集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解,本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关联的硬件来完成,上述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,上述计算机程序包括计算机程序代码,上述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。上述计算机可读存储介质可以包括:能够携带上述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机可读存储器、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,上述计算机可读存储介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读存储介质不包括是电载波信号和电信信号。

[0122] 以上实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质的脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本申请的保护范围之内。

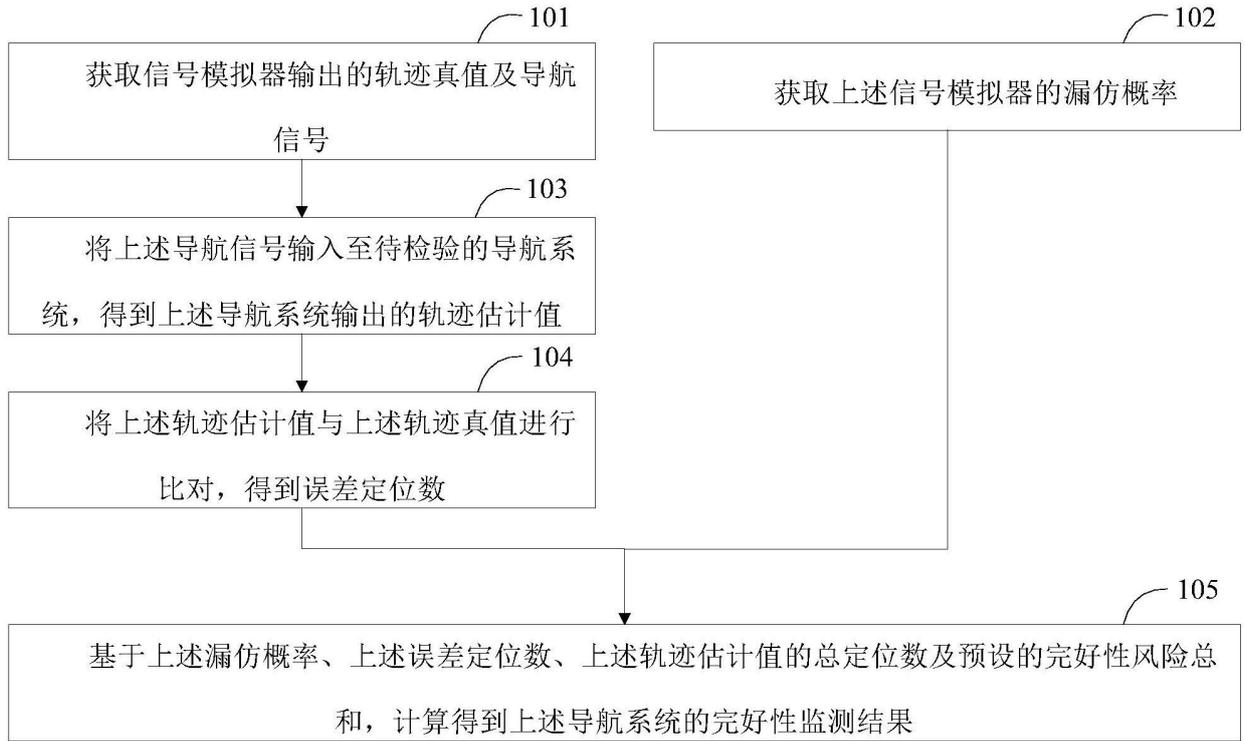


图1

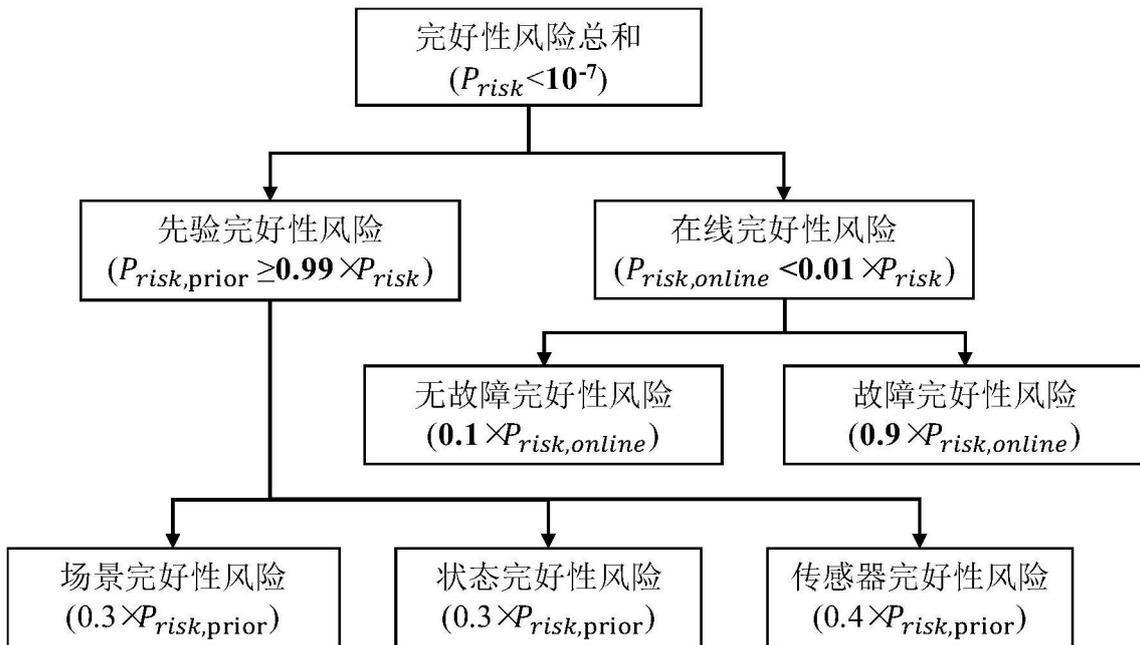


图2

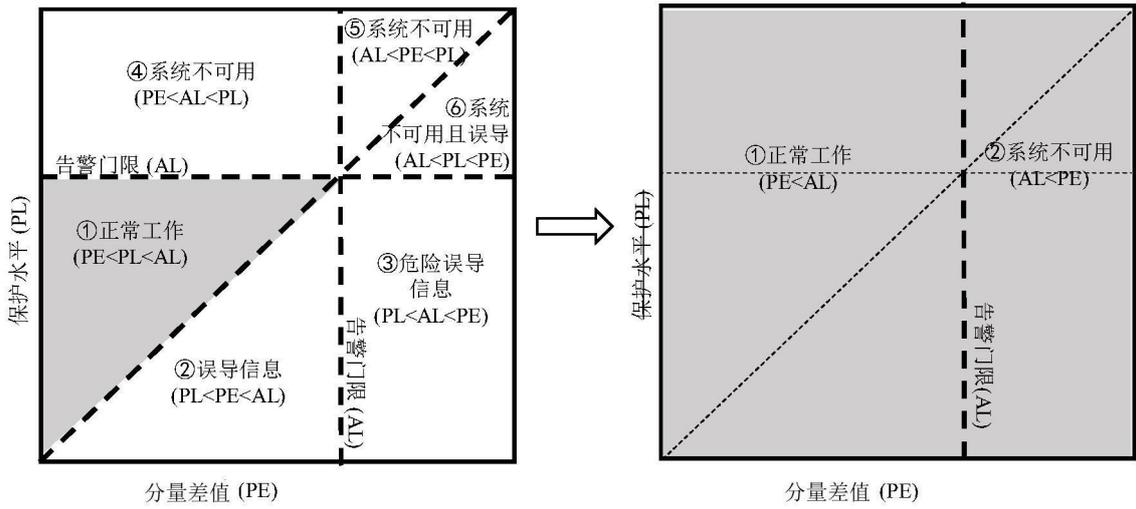


图3

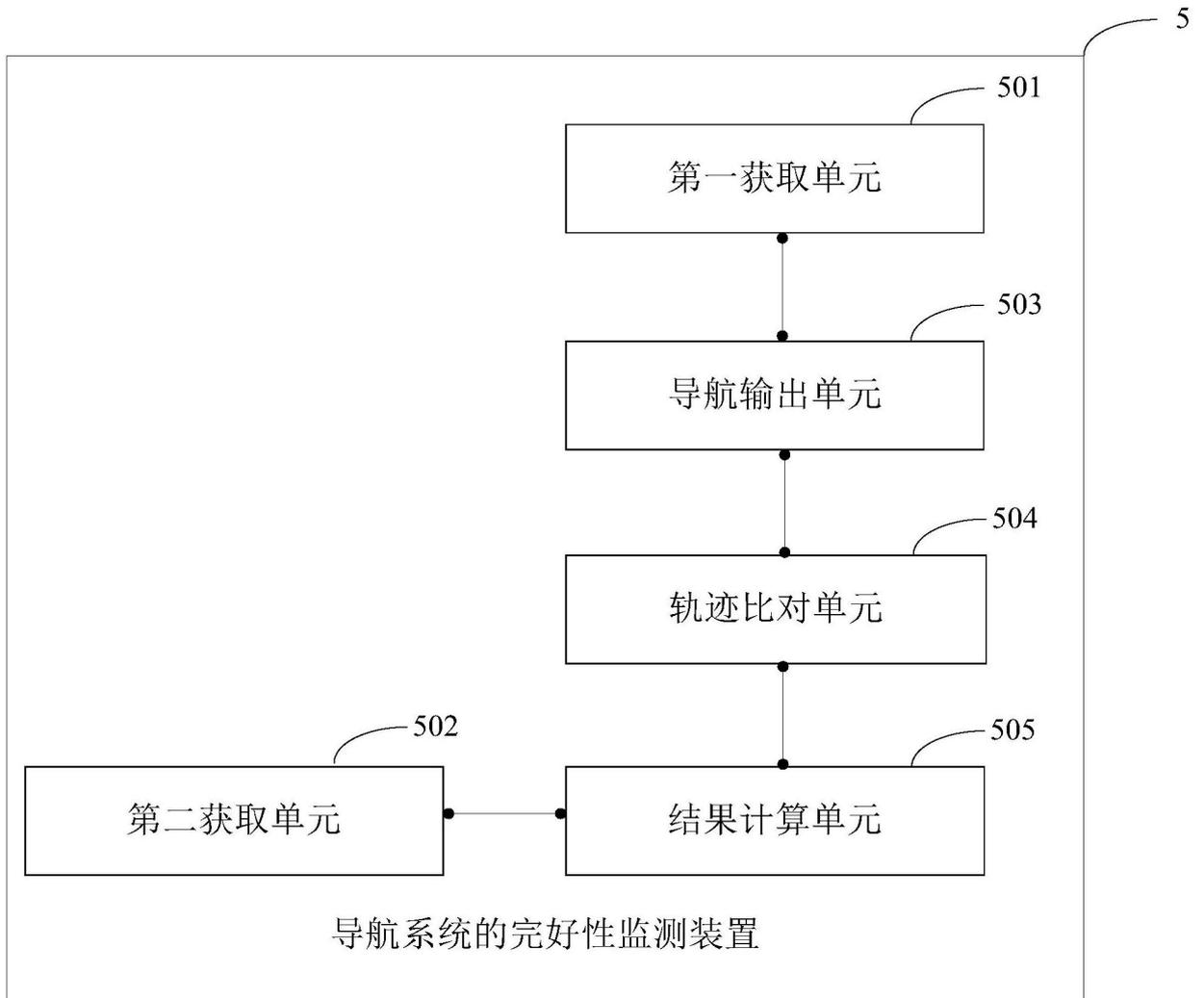


图4

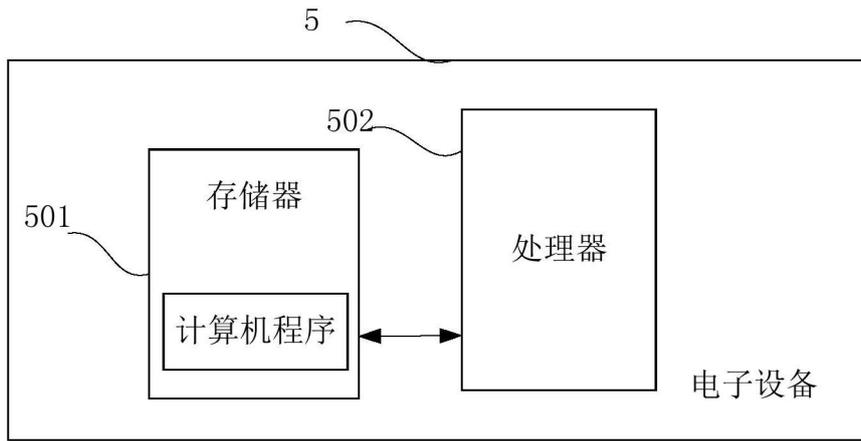


图5