



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104732085 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 24

(21) 申请号 201510127603. 2

(22) 申请日 2015. 03. 23

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 王志鹏 朱衍波 智伟 薛瑞

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理

有限公司 11205

代理人 陶敏 黄健

(51) Int. Cl.

G06F 19/00(2011. 01)

G01S 19/03(2010. 01)

G01S 19/39(2010. 01)

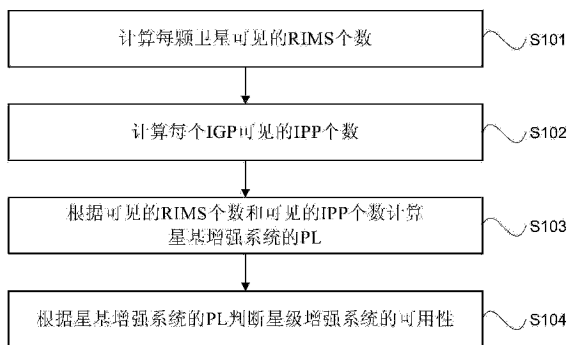
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

卫星导航星基增强系统可用性预测方法

(57) 摘要

本发明提供一种卫星导航星基增强系统可用性预测方法,包括:计算每颗卫星可见的距离修正和完好性监测站个数;计算每个电离网格网点可见的电离层穿透点个数;根据可见的距离修正和完好性监测站个数和可见的电离层穿透点个数计算星基增强系统的保护级;根据星基增强系统的保护级判断星基增强系统的可用性。本发明提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,能够快速预测卫星导航星基增强系统的可用性,提高卫星导航系统定位精度。



1. 一种卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,包括:
 - 计算每颗卫星可见的距离修正和完好性监测站 RIMS 个数;
 - 计算每个电离网格网点 IGP 可见的电离层穿透点 IPP 个数;
 - 根据所述可见的 RIMS 个数和所述可见的 IPP 个数计算星基增强系统的保护级 PL;
 - 根据所述星基增强系统的保护级 PL 判断所述星基增强系统的可用性。
2. 根据权利要求 1 所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述根据所述可见的 RIMS 个数和所述可见的 IPP 个数计算星基增强系统的保护级 PL,包括:
 - 根据所述可见的 RIMS 个数得到用户差分距离误差 UDRE;
 - 根据所述可见的 IPP 个数得到格网电离层垂直误差 GIVE;
 - 根据得到的所述 UDRE 和所述 GIVE 计算星基增强系统的保护级 PL。
3. 根据权利要求 2 所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述根据所述可见的 RIMS 个数和所述可见的 IPP 个数计算星基增强系统的保护级 PL,还包括:
 - 根据卫星的历书推算卫星位置;
 - 根据得到的所述 UDRE、所述 GIVE 和所述卫星位置计算星基增强系统的保护级 PL。
4. 根据权利要求 1~3 任一项所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述计算每颗卫星可见的距离修正和完好性监测站 RIMS 个数,包括:
 - 通过卫星的历书推算每颗卫星短期内某一时刻的位置;
 - 遍历每颗卫星所有的距离修正和完好性监测站 RIMS;
 - 计算每个距离修正和完好性监测站 RIMS 到每颗卫星的仰角;
 - 将所述仰角与每个距离修正和完好性监测站 RIMS 到每颗卫星的截止角比较,判断每个距离修正和完好性监测站 RIMS 的可见性;
 - 其中,所述截止角为 5 度或 10 度;
 - 统计每颗卫星可见的所有距离修正和完好性监测站 RIMS 个数。
5. 根据权利要求 4 所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述将所述仰角与每个距离修正和完好性监测站 RIMS 到每颗卫星的截止角比较,判断每个距离修正和完好性监测站 RIMS 的可见性,包括:
 - 若所述仰角大于所述截止角,则所述距离修正和完好性监测站 RIMS 可见;
 - 若所述仰角小于或等于所述截止角,则所述距离修正和完好性监测站 RIMS 不可见。
6. 根据权利要求 1~3 任一项所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述计算每个电离网格网点 IGP 可见的电离层穿透点 IPP 个数,包括:
 - 通过卫星的历书推算每颗卫星短期内某一时刻的位置,结合所述距离修正和完好性监测站 RIMS 位置推算电离层穿透点 IPP 分布;
 - 遍历每个电离网格网点 IGP 所有的电离层穿透点 IPP;
 - 计算每个电离层穿透点 IPP 到每个电离网格网点 IGP 的距离;
 - 将所述每个电离层穿透点 IPP 到每个电离网格网点 IGP 的距离与截止距离比较,判断每个电离层穿透点 IPP 的可用性;
 - 其中,所述截止距离为 600 千米;
 - 统计每个电离网格网点 IGP 可用的所有电离层穿透点 IPP 个数。
7. 根据权利要求 6 所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述

将所述每个电离层穿透点 IPP 到每个电离网格网点 IGP 的距离与截止距离比较,判断每个电离层穿透点 IPP 的可用性,包括:

若所述电离层穿透点 IPP 到电离网格网点 IGP 的距离小于所述截止距离,则所述电离层穿透点 IPP 可用;

若所述电离层穿透点 IPP 到电离网格网点 IGP 的距离大于或等于所述截止距离,则所述电离层穿透点 IPP 不可用。

8. 根据权利要求 1 ~ 3 任一项所述的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,其特征在于,所述根据所述星基增强系统的保护级 PL 判断所述星基增强系统的可用性,包括:

将所述星基增强系统的保护级 PL 与保护级阈值比较;

若所述星基增强系统的保护级 PL 小于或等于所述保护级阈值,则所述星基增强系统可用;

若所述星基增强系统的保护级 PL 大于所述保护级阈值,则所述星基增强系统不可用。

卫星导航星基增强系统可用性预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及卫星导航领域,尤其涉及一种卫星导航星基增强系统可用性预测方法。

背景技术

[0002] 星基增强系统 (Satellite-Based Augmentation System, 简称 SBAS), 通过地球静止轨道 (synchronous orbit, 简称 GEO) 卫星搭载卫星导航增强信号转发器, 可以向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息, 实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进。保护级 (Protect Level, 简称 PL) 用来保证卫星导航星基增强系统正常和非正常情况下的完好性。PL 大小需要确保仅仅有非常小部分 (小于或者等于完好性风险概率) 的误差位于包络之外。为了保证系统的可用性, 一般期望 PL 非常“紧”, 即在保证完好性前提下尽可能的小。当 PL 大于阈值 (告警限) 时, 星基增强系统是不可用的, 即导航系统的定位误差过大, 超过了星基增强系统容许的误差范围, 用户需借助其他手段来辅助定位, 以满足其应用需求。也即, 通过计算 PL, 可以判断星基增强系统的可用性。

[0003] 目前, 航空无线电技术委员会 (Radio Technical Commission for Aeronautics, 简称 RTCA) 全球定位系统 / 广域增强系统机载设备最低操作性能标准 (RTCA/DO-229D) 中规定了 SBAS PL 的详细计算方法, 算法所需的核心参数为增强系统实时播发的两个参数: 用户差分距离误差 (User Difference Range Error, 简称 UDRE) 和格网电离层垂直误差 (Grid Ionospheric Vertical Error, 简称 GIVE), 通过从导航电文中解析得到 UDRE 和 GIVE 两个参数, 进而按照 RTCA/DO-229D 计算 PL, 进而判断星基增强系统的可用性。

[0004] 然而, 目前的 UDRE 和 GIVE 两个参数需实时从导航电文中解析, 一是无法对星基增强系统的可用性进行预判; 二是在给定时间范围内, 连续不断地从导航电文中解析 UDRE 和 GIVE 两个参数, 运算量大, 时效性差, 从而无法快速预测卫星导航星基增强系统的可用性, 导致卫星导航系统定位精度不高。

发明内容

[0005] 本发明提供一种卫星导航星基增强系统可用性预测方法, 能够快速预测卫星导航星基增强系统的可用性, 提高卫星导航系统定位精度。

[0006] 本发明提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法, 包括:

[0007] 计算每颗卫星可见的 RIMS 个数;

[0008] 计算每个 IGP 可见的 IPP 个数;

[0009] 根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL;

[0010] 根据星基增强系统的 PL 判断星基增强系统的可用性。

[0011] 在本发明一实施例中, 前述根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL, 包括:

[0012] 根据可见的 RIMS 个数得到 UDRE;

- [0013] 根据可见的 IPP 个数得到 GIVE ；
- [0014] 根据得到的 UDRE 和 GIVE 计算星基增强系统的 PL。
- [0015] 在本发明一实施例中,前述根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL,还包括 :
- [0016] 根据卫星的历书推算卫星位置 ；
- [0017] 根据得到的 UDRE、GIVE 和卫星位置计算星基增强系统的 PL。
- [0018] 在本发明一实施例中,前述计算每颗卫星可见的 RIMS 个数,包括 :
- [0019] 通过卫星的历书推算每颗卫星短期内某一时刻的位置 ；
- [0020] 遍历每颗卫星所有的 RIMS ；
- [0021] 计算每个 RIMS 到每颗卫星的仰角 ；
- [0022] 将仰角与每个 RIMS 到每颗卫星的截止角比较,判断每个 RIMS 的可见性 ；
- [0023] 其中,截止角为 5 度或 10 度 ；
- [0024] 统计每颗卫星可见的 RIMS 个数。
- [0025] 在本发明一实施例中,前述将仰角与每个 RIMS 到每颗卫星的截止角比较,判断每个 RIMS 的可见性,包括 :
- [0026] 若仰角大于截止角,则 RIMS 可见 ；
- [0027] 若仰角小于或等于截止角,则 RIMS 不可见。
- [0028] 在本发明一实施例中,前述计算每个 IGP 可见的 IPP 个数,包括 :
- [0029] 通过卫星的历书推算每颗卫星短期内某一时刻的位置,结合 RIMS 位置推算 IPP 分布 ；
- [0030] 遍历每个 IGP 所有的 IPP ；
- [0031] 计算每个 IPP 到每个 IGP 的距离 ；
- [0032] 将每个 IPP 到每个 IGP 的距离与截止距离比较,判断每个 IPP 的可用性 ；
- [0033] 其中,截止距离为 600 千米 ；
- [0034] 统计每个 IGP 可用的所有 IPP 个数。
- [0035] 在本发明一实施例中,前述将每个 IPP 到每个 IGP 的距离与截止距离比较,判断每个 IPP 的可用性,包括 :
- [0036] 若 IPP 到 IGP 的距离小于截止距离,则 IPP 可用 ；
- [0037] 若 IPP 到 IGP 的距离大于或等于截止距离,则 IPP 不可用。
- [0038] 在本发明一实施例中,前述根据星基增强系统的 PL 判断星基增强系统的可用性,包括 :
- [0039] 将星基增强系统的 PL 与保护级阈值比较 ；
- [0040] 若星基增强系统的 PL 小于或等于保护级阈值,则星基增强系统可用 ；
- [0041] 若星基增强系统的 PL 大于保护级阈值,则星基增强系统不可用。
- [0042] 本发明提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,通过计算每颗卫星可见的 RIMS 个数,以及每个 IGP 可见的 IPP 个数,即可计算得到星基增强系统的 PL,而不再需要实时解析导航电文,从而能够快速对卫星导航星基增强系统的可用性进行预判,进而提高了卫星导航系统定位精度。

附图说明

[0043] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0044] 图 1 为 EGNOS 的系统结构图;

[0045] 图 2 为本发明一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图;

[0046] 图 3 为 EGNOS 的 RIMS 和 IGP 分布图;

[0047] 图 4 为本发明另一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图;

[0048] 图 5 为本发明又一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图;

[0049] 图 6 为本发明再一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图;

[0050] 图 7 为可见 RIMS 个数和 UDREI 的拟合关系图;

[0051] 图 8 为可见 IPP 个数和 GIVEI 的拟合关系图;

[0052] 图 9 为星基增强系统的保护级计算流程图。

具体实施方式

[0053] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0054] 星基增强系统 (Satellite-Based Augmentation System, 简称 SBAS) 主要实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进,目前,全球已经建立起了多个 SBAS 系统,如美国的广域增强系统 (Wide Area Augmentation System, 简称 WAAS)、俄罗斯的差分校正和监测系统 (System for Differential Corrections and Monitoring, 简称 SDCM)、欧洲的静地轨道卫星导航重叠服务 (European Geostationary Navigation Overlay Service, 简称 EGNOS)、日本的多功能卫星增强系统 (Multi-functional Satellite Augmentation System, 简称 MSAS) 以及印度的静地轨道增强导航系统 (GPS Aided Geo Augmented Navigation, 简称 GAGAN)。本发明主要以 EGNOS 为例阐述本发明卫星导航星基增强系统可用性预测方法,但是本发明的卫星导航星基增强系统可用性预测方法适用于各种 SBAS 系统,不只仅限于适用 EGNOS。

[0055] 图 1 为 EGNOS 的系统结构图。如图 1 所示,EGNOS 的系统结构包括:空间段、地面段和用户段。空间段主要由全球定位系统 (Global Positioning System, 简称 GPS) 卫星、全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, 简称 GLONASS) 卫星和地球静止轨道 (synchronous orbit, 简称 GEO) 卫星组成,用于保持和实现与地面的距离修正和完好性监测站 (Ranging and Integrity Monitoring Stations, 简称 RIMS) 和中心站 (Master Control Center, 简称 MCC) 之间的通信联系,以及完成由 MCC 发送给用户的指令信息。地面段主要由 RIMS、MCC 和导航地面站 (Navigation Land Earth Station, 简称 NLES) 组成,用于对 EGNOS 系统进行全面控制和数据处理。用户段由 EGNOS 标准接收机组成,用户段涉及到航空、航海和地面交通等应用,用户所使用的接收机需要能同时接收 EGNOS 和 GPS/GLONASS

的信号,并具有对 EGNOS 和 GPS/GLONASS 的信息进行定位数据综合处理的功能。

[0056] 图 2 为本发明一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图。如图 2 所示,本实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,包括:

[0057] S101:计算每颗卫星可见的 RIMS 个数;

[0058] 其中,基于星基增强系统中 RIMS 位置,和从卫星历书计算出来的卫星位置,统计计算每颗卫星可见的 RIMS 个数。

[0059] 具体的,RIMS 是指监测站测量所有可见的伪距值,并完成部分完好性监测的监测站。需要说明的是,由于卫星钟、接收机钟的误差以及无线电信号经过电离层和对流层中的延迟,实际测出的距离与卫星到接收机的几何距离有一定的差值,因此,一般称测量出的距离为伪距。

[0060] 举例来说,目前,EGNOS 共有 39 个 RIMS。但是,其中部分 RIMS 尚处于测试阶段,未投入运行,部分 RIMS 仅用于 UDRE 监测或者仅用于 GIVE 监测,实际用于 UDRE 监测的 RIMS 共有 31 个。图 3 为 EGNOS 的 RIMS 和 IGP 分布图,如图 3 所示,基于 EGNOS 系统中 RIMS 位置,可精确获知 RIMS 位置。另一方面,通过卫星的历书可以推算卫星短期内任一时刻的位置。从而,根据 RIMS 位置和卫星位置可以得到卫星和 RIMS 的几何分布,从而可以统计计算得到每颗卫星可见的 RIMS 数。

[0061] S102:计算每个 IGP 可见的 IPP 个数;

[0062] 其中,基于星基增强系统中 RIMS 位置和卫星位置,计算 IPP 位置,根据 IGP 和 IPP 位置,统计计算每个 IGP 可见的 IPP 个数。

[0063] 需要说明的是,卫星和 RIMS 的连线与电离层球面形成的交点即为 IPP,因此,根据 RIMS 位置和卫星位置可计算获得 IPP 位置。

[0064] 举例来说,目前,EGNOS 中使用了 4 个垂向格网带(南北方向)和 1 个横向格网带(东西方向)。其中,垂向格网带包括第 3 带(55 个 IGP)、第 4 带(85 个 IGP)、第 5 带(78 个 IGP)、第 6 带(21 个 IGP);横向格网带为第 9 带(80 个 IGP)。如图 3 所示,基于 EGNOS 系统中 IGP 位置,可精确获知 IGP 位置。另一方面,通过卫星的历书可以推算卫星短期内任一时刻的位置。根据 RIMS 和卫星位置即可得到 IPP 位置,根据 IGP 位置和 IPP 位置可以得到 IGP 和 IPP 的几何分布,从而可以统计计算得到每个 IGP 可用的 IPP 数。

[0065] S103:根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL;

[0066] 具体的,根据计算得到的可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数,可直接计算得到星基增强系统的 PL。

[0067] 需要说明的是,本实施例中根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL 可以通过多种方式实现,如根据计算得到的可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数直接计算得到星基增强系统的 PL 只是其中一种实现方式,也可以通过计算得到的可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数间接计算星基增强系统的 PL,具体的根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL 实现方式本实施例在此不进行限制。

[0068] S104:根据星基增强系统的 PL 判断星基增强系统的可用性。

[0069] 具体的,只要计算得到星基增强系统的 PL,将 PL 与星基增强系统的保护级阈值(也称告警限)比较,即可判断星基增强系统的可用性。

[0070] 需要说明的是,星基增强系统的保护级阈值是固定的,保护级阈值具体的可参照

RTCA/DO-229D 规定,本发明在此不再赘述。

[0071] 在该步骤中,可选的,根据星基增强系统的 PL 判断星基增强系统的可用性,包括:

[0072] 将星基增强系统的 PL 与保护级阈值比较;

[0073] 若星基增强系统的 PL 小于或等于保护级阈值,则星基增强系统可用;

[0074] 若星基增强系统的 PL 大于保护级阈值,则星基增强系统不可用。

[0075] 本实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,通过计算每颗卫星可见的 RIMS 个数,以及每个 IGP 可见的 IPP 个数,即可计算得到星基增强系统的 PL,而不再需要实时解析导航电文,从而能够快速对卫星导航星基增强系统的可用性进行预判,进而提高了卫星导航系统定位精度。

[0076] 图 4 为本发明另一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图。

如图 4 所示,在上述 S101 的基础上,计算每颗卫星可见的 RIMS 个数,包括:

[0077] S101a:通过卫星的历书推算每颗卫星短期内某一时刻的位置;

[0078] S101b:遍历每颗卫星所有的 RIMS;

[0079] S101c:计算每个 RIMS 到每颗卫星的仰角;

[0080] 具体的,对某一时刻下的某颗卫星,首先利用历书解算其位置,然后遍历所有 RIMS,计算每个 RIMS 到该卫星的仰角。

[0081] S101d:将仰角与每个 RIMS 到每颗卫星的截止角比较,判断每个 RIMS 的可见性;

[0082] 其中,所述截止角为 5 度或 10 度。

[0083] 具体的,将仰角与每个 RIMS 到每颗卫星的截止角比较,判断每个 RIMS 的可见性,包括:

[0084] 若仰角大于截止角,则 RIMS 可见;

[0085] 若仰角小于或等于截止角,则 RIMS 不可见。

[0086] S101e:统计每颗卫星可见的所有 RIMS 个数。

[0087] 本实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,在上述实施例的基础上,通过判断每个 RIMS 的可见性,具体计算每颗卫星可见的 RIMS 个数,确保了统计计算每颗卫星可见的 RIMS 个数的精确性,进而确保了计算得到星基增强系统的 PL 的精确性,从而能够快速对卫星导航星基增强系统的可用性进行预判,提高了卫星导航系统定位精度。

[0088] 图 5 为本发明又一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图。如图 5 所示,在上述 S102 的基础上,计算每个 IGP 可见的 IPP 个数,包括:

[0089] S102a:通过卫星的历书推算每颗卫星短期内某一时刻的位置,结合 RIMS 位置推算 IPP 分布;

[0090] S102b:遍历每个 IGP 所有的 IPP;

[0091] S102c:计算每个 IPP 到每个 IGP 的距离;

[0092] 具体的,首先,利用历书计算卫星位置,结合 RIMS 位置推算 IPP 分布;然后,对某一时刻下的某个 IGP,遍历所有 IPP,计算每个 IPP 到该 IGP 距离。

[0093] S102d:将每个 IPP 到每个 IGP 的距离与截止距离比较,判断每个 IPP 的可用性;

[0094] 其中,所述截止距离为 600 千米 (km)。

[0095] 具体的,将每个 IPP 到每个 IGP 的距离与截止距离比较,判断每个 IPP 的可用性,包括:

[0096] 若 IPP 到 IGP 的距离小于截止距离,则 IPP 可用;

[0097] 若 IPP 到 IGP 的距离大于或等于截止距离,则 IPP 不可用。

[0098] S102e:统计每个 IGP 可用的所有 IPP 个数。

[0099] 本实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法,在上述实施例的基础上,通过判断每个 IPP 的可用性,具体计算每个 IGP 可见的 IPP 个数,确保了统计每个 IGP 可见的 IPP 个数的精确性,进而确保了计算得到星基增强系统的 PL 的精确性,从而能够快速对卫星导航星基增强系统的可用性进行预判,提高了卫星导航系统定位精度。

[0100] 图 6 为本发明再一实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法流程图。如图 6 所示,在上述 S103 的基础上,根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL,包括:

[0101] S103a:根据可见的 RIMS 个数得到 UDRE;

[0102] 具体的,根据可见 RIMS 个数和 UDREI 的拟合关系图,通过可见的 RIMS 个数可以获得 UDREI,进而根据获得的 UDREI 得到 UDRE。图 7 为可见 RIMS 个数和 UDREI 的拟合关系图,如图 7 所示,其中,UDREI 是用户差分距离误差标记值 (User Difference Range Error Indicator,简称 UDREI),表示对 UDRE 值进行分档,UDREI 值从 0 到 15,0-13 代表 UDRE 的不同分档值,14 代表没有监测到该卫星,15 代表 UDRE 数据不可用。

[0103] S103b:根据可见的 IPP 个数得到 GIVE;

[0104] 具体的,根据可见 IPP 个数和 GIVEI 的拟合关系图,通过可见的 IPP 个数可以获得 GIVEI,进而根据获得的 GIVEI 得到 GIVE。图 8 为可见 IPP 个数和 GIVEI 的拟合关系图,如图 8 所示,其中,GIVEI 是格网电离层垂直误差标记值 (Grid Ionospheric Vertical Error Indicator,简称 GIVEI),表示对 GIVE 值分档输出。GIVEI 值从 0 到 15,0-14 代表 GIVE 的不同分档值,15 代表该格网点未被监测到。

[0105] S103c:根据得到的 UDRE 和 GIVE 计算星基增强系统的 PL。

[0106] 其中,根据得到的 UDRE 和 GIVE,星基增强系统的 PL 的计算按照 RTCA/DO-229D 给出 PL 的计算公式:

$$[0107] \quad HPL_{SBAS} = \begin{cases} K_{H,NPA} \cdot d_{major} \\ K_{H,PA} \cdot d_{major} \end{cases} \quad (1)$$

$$[0108] \quad VPL_{SBAS} = K_v \cdot d_U \quad (2)$$

$$[0109] \quad \text{上式中, } d_{major} = \sqrt{\frac{d_{est}^2 + d_{north}^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_{est}^2 - d_{north}^2}{2}\right)^2} + d_{EN}^2}, \quad d_U^2 = \sum_{i=1}^N S_{U,i}^2 \sigma_i^2,$$

$$d_{est}^2 = \sum_{i=1}^N S_{east,i}^2 \sigma_i^2, \quad d_{north}^2 = \sum_{i=1}^N S_{north,i}^2 \sigma_i^2, \quad d_{EN}^2 = \sum_{i=1}^N S_{east,i} S_{north,i} \sigma_i^2, \quad S = \begin{bmatrix} S_{east,1} & S_{east,2} & \cdots & S_{east,N} \\ S_{north,1} & S_{north,2} & \cdots & S_{north,N} \\ S_{U,1} & S_{U,2} & \cdots & S_{U,N} \\ S_{t,1} & S_{t,2} & \cdots & S_{t,N} \end{bmatrix},$$

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,flt}^2 + \sigma_{i,UIRE}^2 + \sigma_{i,air}^2 + \sigma_{i,tropo}^2$$

[0110] 其中,HPL_{SBAS}为星基增强系统水平定位误差保护级,VPL_{SBAS}为星基增强系统垂直定

位误差保护级, $K_{H,NPA}$ 为非精密进近 (Non-Precision Approach, 简称 NPA) 情况下计算 HPL 的比例系数, $K_{H,PA}$ 为精密进近 (Precision Approach, 简称 PA) 情况下计算 HPL 的比例系数, K_V 为计算 VPL 的比例系数, d_{major} 为误差椭圆的半长轴方向的误差不确定度, d_U, d_{east}, d_{north} 分别为包络真实误差分布的分布模型在天、东、北方向上的标准差, d_{EN} 为分布模型在东方向和北方向上的协方差, S 为定位误差对伪距误差的偏导矩阵, σ_i 为伪距标准差, $\sigma_{i,flt}$ 为伪距差分改正数标准差, $\sigma_{i,UIRE}$ 为电离层误差标准差, $\sigma_{i,air}$ 为机载接收机误差标准差, $\sigma_{i,tropo}$ 为对流层误差标准差。

[0111] 可选的, 根据可见的 RIMS 个数和可见的 IPP 个数计算星基增强系统的 PL, 还包括:

[0112] 根据卫星的历书推算卫星位置;

[0113] 根据得到的 UDRE、GIVE 和卫星位置计算星基增强系统的 PL。

[0114] 具体的, 图 9 为星基增强系统的保护级计算流程图, 如图 9 所示, 计算星基增强系统的保护级 PL 具体过程可以为:

[0115] 首先, 根据 RIMS 个数计算 UDRE, 根据 IPP 个数计算 GIVE, 根据卫星历书推算卫星位置;

[0116] 其次, 根据 UDRE 计算 $\sigma_{i,flt}$, 根据 GIVE 计算 $\sigma_{i,UIRE}$, 根据卫星位置计算观测矩阵 G ;

[0117] 然后, 根据 $\sigma_{i,flt}$ 和 $\sigma_{i,UIRE}$ 计算 σ_i , 根据观测矩阵 G 计算偏导矩阵 S ;

[0118] 再次, 根据 σ_i 和 S 计算 $d_{est}, d_{north}, d_{EN}, d_{major}, d_U$;

[0119] 最后, 根据 $d_{est}, d_{north}, d_{EN}, d_{major}, d_U$ 计算 VPL_{SBAS} 和 VPL_{SBAS} 。

[0120] 需要说明的是, 定位误差对伪距误差的偏导矩阵 S 由观测矩阵 G (取决于卫星的几何结构) 计算得到, σ_i^2 由卫星播发的 UDREI 及 GIVEI 计算得到, 具体的, 根据得到的 UDRE 和 GIVE 计算星基增强系统的 PL 与现有中按照 RTCA/DO-229D 给出 PL 的计算公式的计算方法和计算过程一致, 在此不再赘述。

[0121] 本实施例提供的卫星导航星基增强系统可用性预测方法, 在上述实施例的基础上, 通过计算每颗卫星可见的 RIMS 个数, 以及每个 IGP 可见的 IPP 个数, UDRE 根据每颗卫星可见的 RIMS 个数推断预测得到, 以及 GIVE 根据每个 IGP 可见的 IPP 个数推断预测得到, UDRE、GIVE 不再需要实时解析导航电文得到, 即可计算得到星基增强系统的 PL, 从而能够快速对卫星导航星基增强系统的可用性进行预判, 进而提高了卫星导航系统定位精度。

[0122] 需要说明的是, 在上述实施例中, UDRE 与卫星可见 RIMS 个数相关, GIVEI 与 IGP 可见 IPP 个数相关, 可通过以下方式计算分析:

[0123] 对 UDRE 与卫星可见 RIMS 个数相关进行计算分析, 具体计算分析步骤如下:

[0124] (1) 监测站测量的多频观测伪距在监测站经预处理后发送给中心站, 在中心站完成对各监测站接收机的钟差解算。经监测站接收机钟差改正, 得到的观测距离以 R_m 表示, 这时 R_m 中仅包含卫星钟差。

[0125] (2) 计算距离由监测站已知坐标和经过改正的卫星坐标计算得到, 并用接收的钟差快变和慢变改正数进行改正, 计算距离以 R 表示。计算距离 R 中包含的误差有卫星星历残差与卫星钟差。

[0126] (3) 对 R_m 和 R 取差, 其差值 dR 为: $dR = R_m - R$ (3)

[0127] 其中, dR 中仅包含该卫星的卫星星历残差与星钟残差。

[0128] (4) 中心站对监测同一颗卫星的不同监测站的所有差值 dR 进行统计, 可得到相应卫星的 UDRE 值, 即 $UDRE = \overline{dR} + \kappa(\text{Pr})\sigma_{dR}$ (4)

[0129] 其中, \overline{dR} 为平均值, σ_{dR} 为对应的标准差, $\kappa(\text{Pr})$ 为对应置信度 99.9% 的分位数。

[0130] 从 UDRE 与卫星可见 RIMS 个数相关计算分析可以看出, 对于同一颗卫星, 其 UDRE 值与其可见的 RIMS 个数相关, 可见 RIMS 个数越多, dR 越多, 从公式 (4) 可以发现, 此时的 UDRE 对卫星星钟 / 星历误差的反应也越精确。

[0131] 对 GIVE 与 IGP 可见 IPP 个数相关进行计算分析, 具体计算分析步骤如下:

[0132] (1) 监测站观测数据通过预处理得到第 i 个穿透点 IPP 在 t 时刻的电离层视线延迟估值, 该值通过倾斜因子转换得到电离层垂直延迟估值 $I_{IPP_i}(t)$ 。同时, 由前一更新周期内插出第 i 个 IPP 在 t 时刻的电离层垂直延迟 $\hat{I}_{IPP_i}(t)$, 然后计算该 IPP 电离层的垂直延迟误差 $e_{IPP_i}(t)$ 。

$$[0133] \quad e_{IPP_i}(t) = I_{IPP_i}(t) - \hat{I}_{IPP_i}(t) \quad (5)$$

[0134] (2) 假设星基增强系统中监测站向中心站传输观测数据的更新率是 10 秒 (s), 而中心站向用户广播网格点垂直延迟和 GIVE 的更新率是 3 分钟 (min), 那么, 对于每个 IPP 都会得到由 18 个 $e_{IPP_i}(t)$ 为一组的电离层垂直延迟的误差序列, 其中 $e_{IPP_i}(t)$ 为一组的电离层垂直延迟的误差序列。

[0135] (3) 中心站判断第 j 个网格点 IGP 周围相邻四个单元中的误差序列数目。

[0136] 如果其中至少有 3 个网格单元, 每个单元中至少含有 1 个垂直误差序列, 才可计算该 IGP 点的 GIVE 值; 否则, 标记该 IGP 的 GIVE 在下一个 3min 内是“不可用”的。

[0137] (4) 对 3min 内满足以上条件的每一条 IPP 误差序列构造误差限差 $E_{IPP_i}(t)$:

$$[0138] \quad E_{IPP_i}(t) = \left| \overline{e_{IPP_i}(t)} \right| + \kappa(\text{Pr}) \cdot S_i \quad (6)$$

$$[0139] \quad \text{上式中, } \overline{e_{IPP_i}(t)} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e_{IPP_i}(t_k), \quad S_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (e_{IPP_i}(t_k) - \overline{e_{IPP_i}(t)})^2}.$$

[0140] 其中, $\overline{e_{IPP_i}(t)}$ 为垂直延迟误差的平均数, S_i 为垂直延迟误差的标准差, m 为误差序列个数, 此时 m = 18, $\kappa(\text{Pr})$ 为对应置信度 99.9% 的分位数。

[0141] (5) 由中心站计算网格点处绝对垂直误差:

$$[0142] \quad \hat{e}_{IGP(j)} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sin(\theta_i)}{d_{ij}} \right) \cdot |e_{IPP_i}(t)|}{\sum_{k=1}^n \frac{\sin(\theta_k)}{d_{kj}}} \quad (7)$$

[0143] 其中, θ_i 是测站对卫星的高度角, d_{ij} 是第 i 个 IPP 到第 j 个 IGP 间的距离。n 为邻近网格的穿透点个数。

[0144] (6) 计算网格点 IGP 点处的 GIVE :

$$[0145] \quad GIVE_j = \max(E_{IPP,j}) + \hat{e}_{IGP(j)} + q/2 \quad (8)$$

[0146] 其中, $\max(E_{IPP,j})$ 为所有穿透点误差限值的最大值, $\hat{e}_{IGP(j)}$ 为网格点电离层延迟的绝对误差, $q/2$ 是最大量化误差。

[0147] 从 GIVE 与 IGP 可见 IPP 个数相关计算分析可以看出, 对于某一确定的 IGP, 其对应的 GIVE 值与其周围的可用 (考虑到 EGNOS 格网大小为 5 度, “可用”是指与 IGP 距离小于 600km) IPP 相关, 可用 IPP 个数越多, 其对电离层延迟误差的估计越精确。

[0148] 需要说明的是, 在上述实施例中, UDREI 与卫星可见 RIMS 个数之间的拟合关系图, GIVEI 与 IGP 可见 IPP 个数之间的拟合关系图, 可通过以下方式分析获得:

[0149] 本发明为了获得 UDREI 与卫星可见 RIMS 个数之间的拟合关系图, 以及 GIVEI 与 IGP 可见 IPP 个数之间的拟合关系图, 通过统计处理 EGNOS 系统长达一月的增强数据, 建立了由 RIMS 个数推算 UDREI 的模型, 由 IPP 个数推算 GIVEI 的模型。

[0150] 建立由 RIMS 个数推算 UDREI 的模型, 具体过程如下:

[0151] (1) 计算每颗卫星可见的 RIMS 数目

[0152] 具体的, 具体计算每颗卫星可见的 RIMS 数目与上述实施例中计算每颗卫星可见的 RIMS 数的方法和过程一样, 上述实施例已详细具体说明了计算每颗卫星可见的 RIMS 数目的方法和过程, 在此不再赘述。

[0153] 需要说明的是, 为了避免单次试验带来的偶然误差, 需扩大样本容量, 并将仿真时间取为一月, 就可以充分统计不同卫星在不同地理位置、不同时刻下的可见 RIMS 个数。

[0154] (2) 解析每颗卫星的 UDREI 值

[0155] 具体的, 解析 EGNOS 系统 GEO 卫星播发的导航电文, 可以得到星钟 / 星历校正等增强信息, 其数据中就含有每颗 GPS 卫星实时的 UDREI 值。

[0156] (3) 建立由 RIMS 个数预测 UDREI 的模型

[0157] 以 RIMS 个数为自变量, UDREI 为因变量, 拟合二者函数关系。

[0158] 建立由 IPP 个数推算 GIVEI 的模型, 具体过程如下:

[0159] (1) 计算每个 IGP 可用的 IPP 数目

[0160] 具体的, 具体每个 IGP 可用的 IPP 数目与上述实施例中计算每个 IGP 可用的 IPP 数目的方法和过程一样, 上述实施例已详细具体说明了每个 IGP 可用的 IPP 数目的方法和过程, 在此不再赘述。

[0161] 需要说明的是, 为了避免单次试验带来的偶然误差, 需扩大样本容量, 并将仿真时间取为一月, 就可以充分统计 IGP 在不同地理位置、不同时刻下可用 IPP 个数。

[0162] (2) 解析每个 IGP 的 GIVEI 值

[0163] 具体的, 解析 EGNOS 系统 GEO 卫星播发的导航电文, 可以得到电离层校正等增强信息, 其数据中就含有每个 IGP 实时的 GIVEI 值。

[0164] (3) 建立由 IPP 个数预测 GIVEI 的模型

[0165] 以可见 IPP 个数为自变量, GIVEI 为因变量, 拟合二者函数关系。

[0166] 最后应说明的是: 以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案, 而非对其限制; 尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明, 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,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使对应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

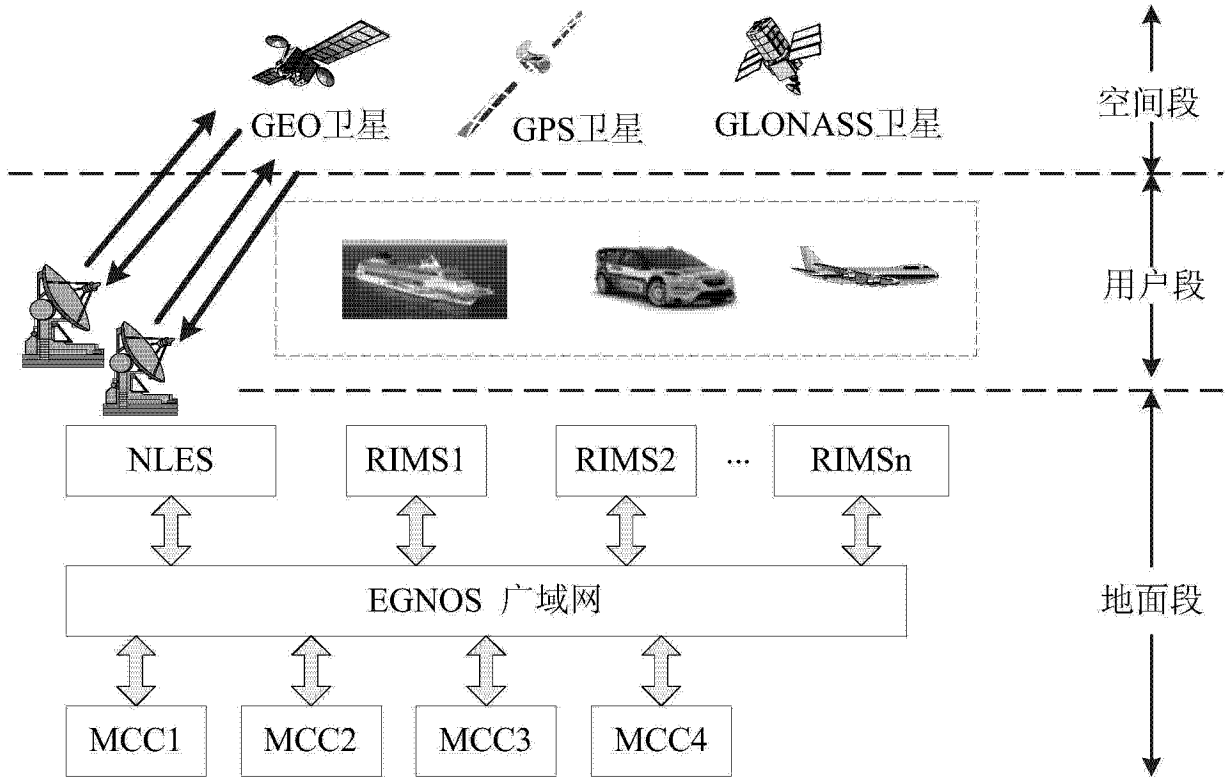


图 1

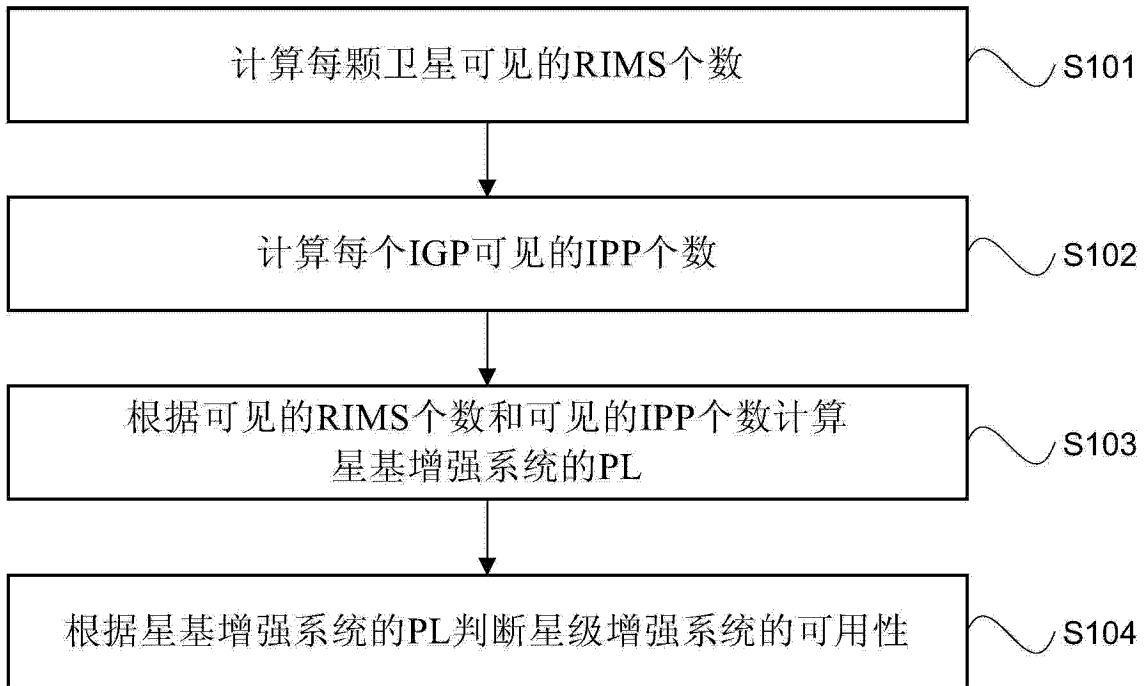


图 2

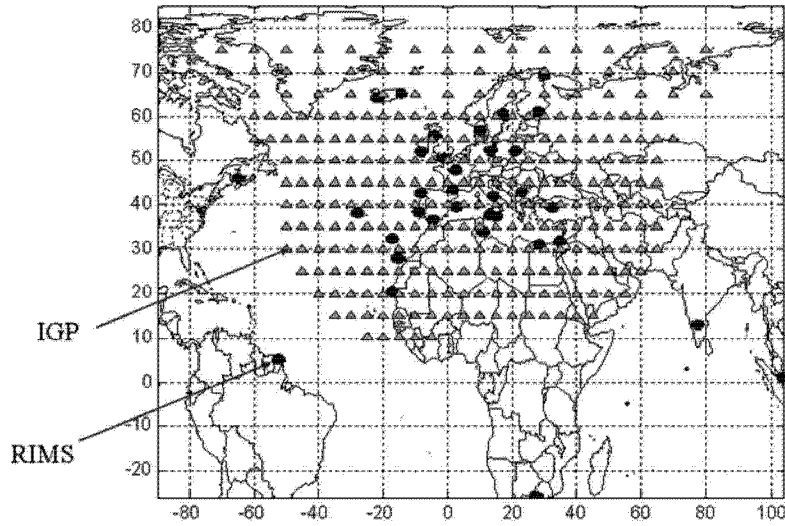


图 3

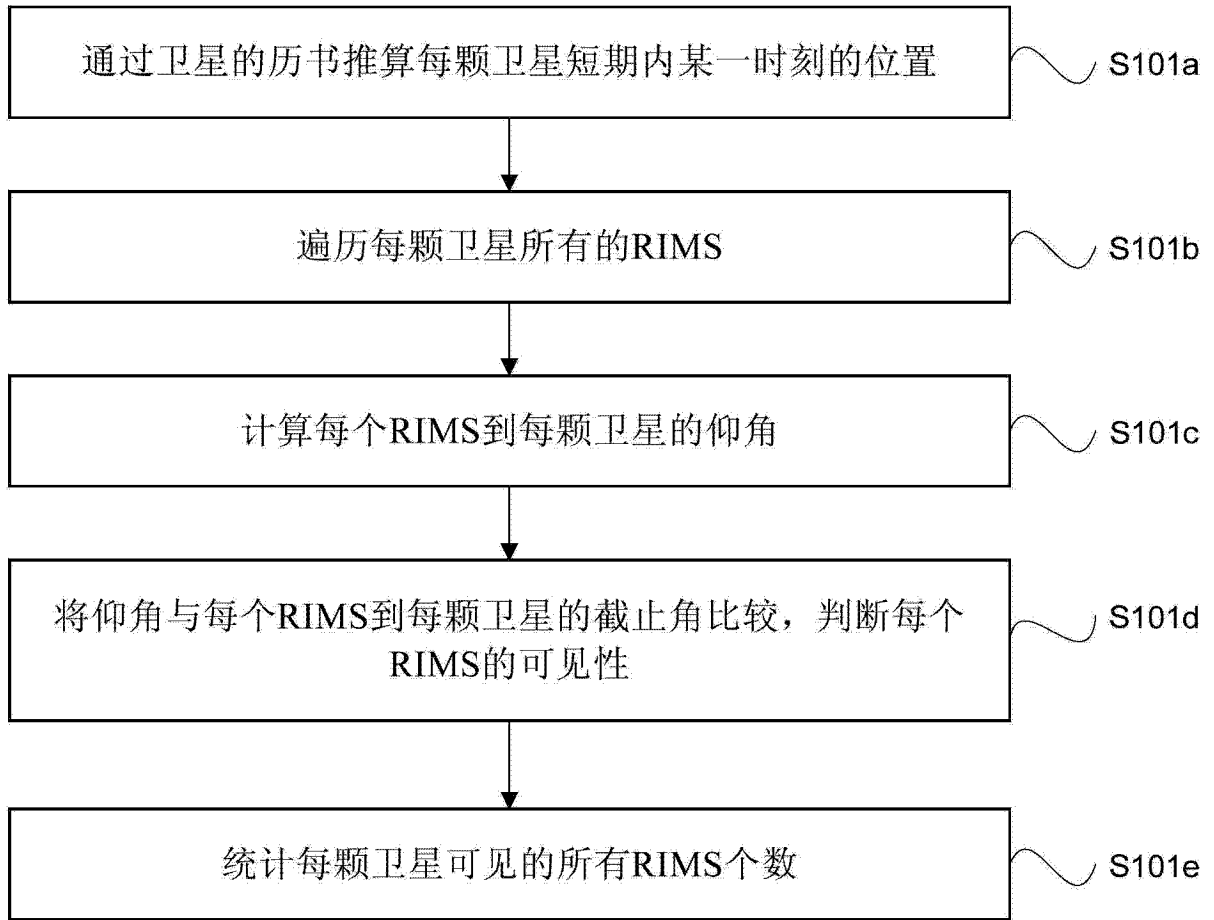


图 4

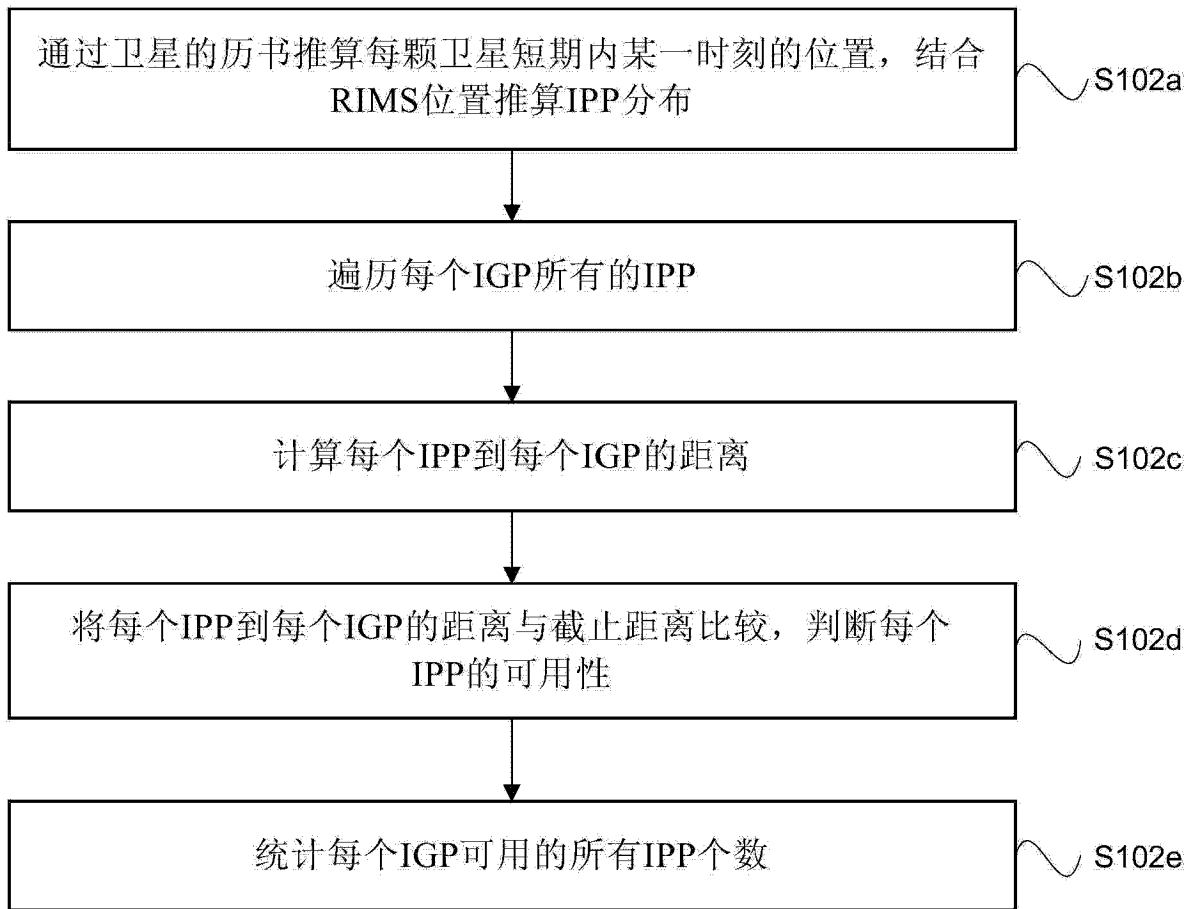


图 5

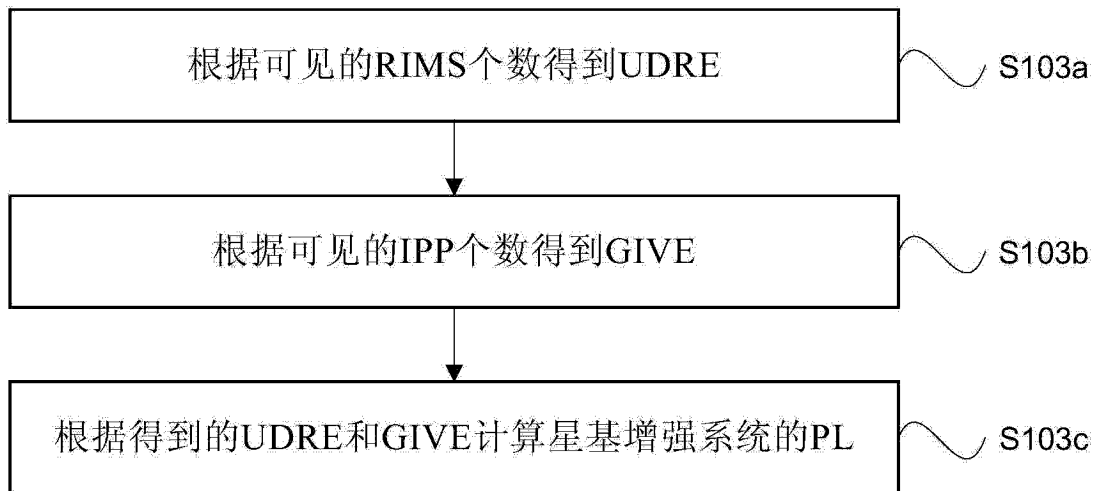


图 6

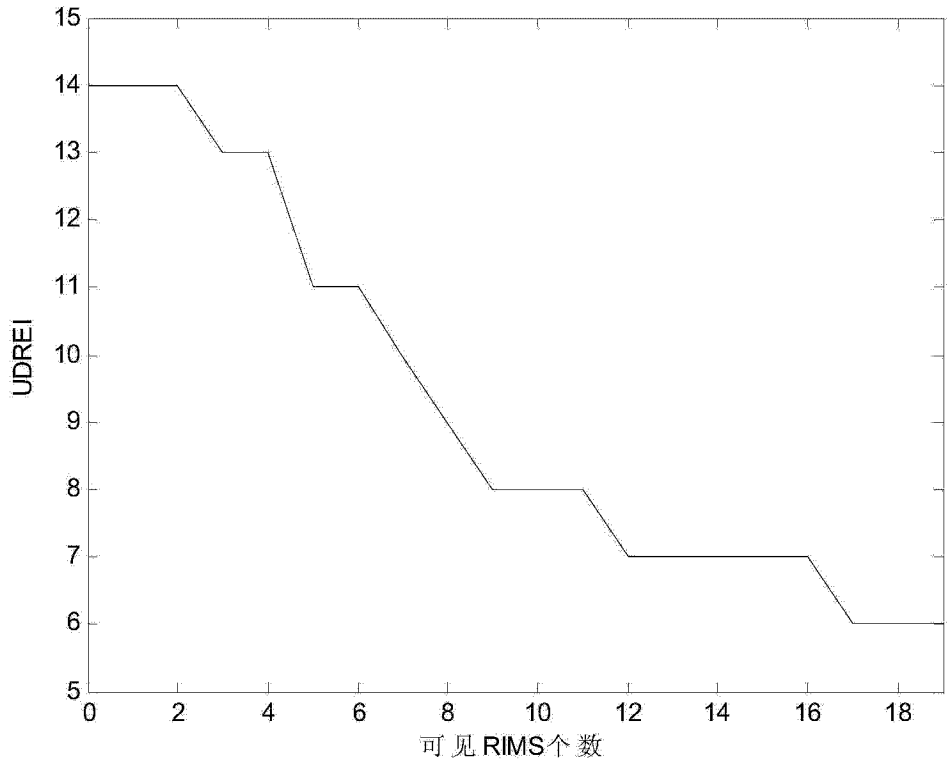


图 7

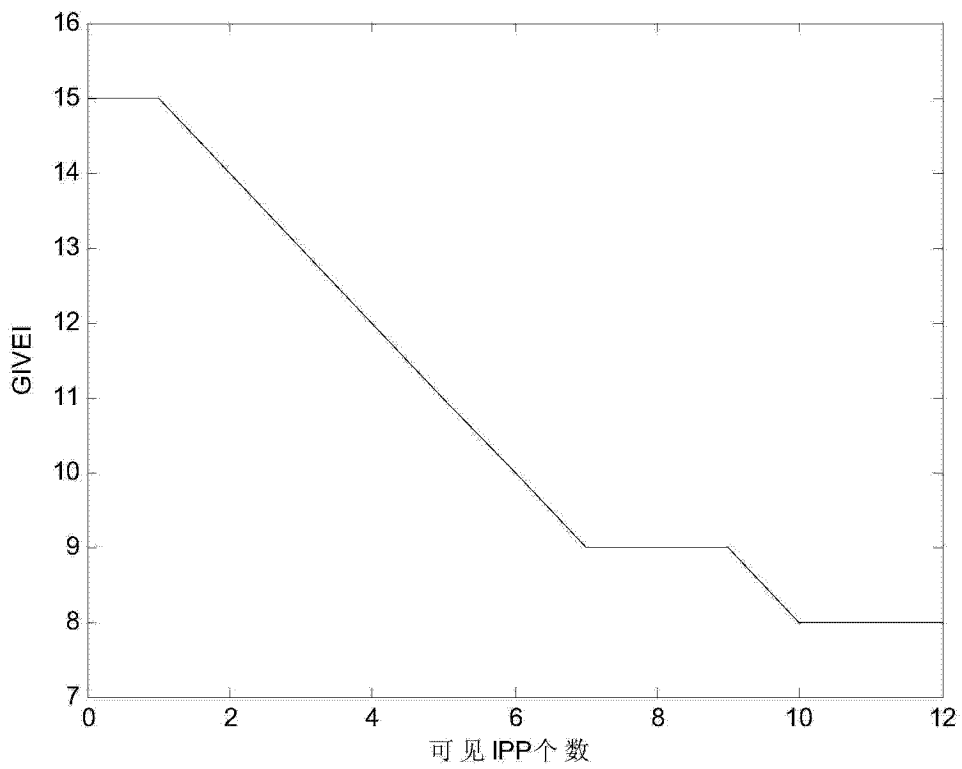


图 8

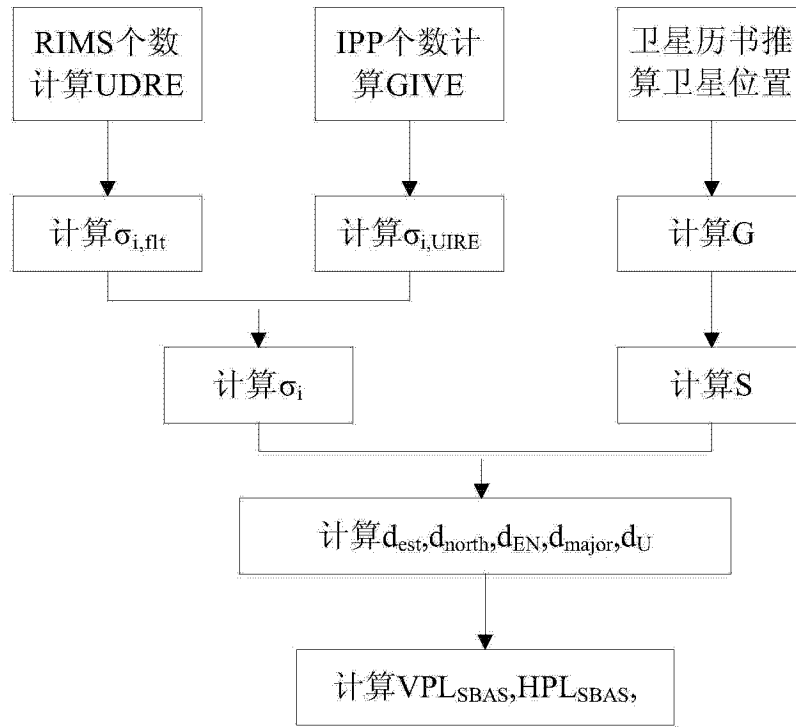


图 9