



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104749588 A

(43) 申请公布日 2015.07.01

(21) 申请号 201510145678.3

(22) 申请日 2015.03.30

(71) 申请人 北京华云智联科技有限公司

地址 100096 北京市昌平区西三旗建材西路
87号上奥世纪1号楼2单元1303室

(72) 发明人 吴巍荪

(74) 专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理
事务所(普通合伙) 11369

代理人 贺持缓

(51) Int. Cl.

G01S 19/28(2010.01)

G01S 19/27(2010.01)

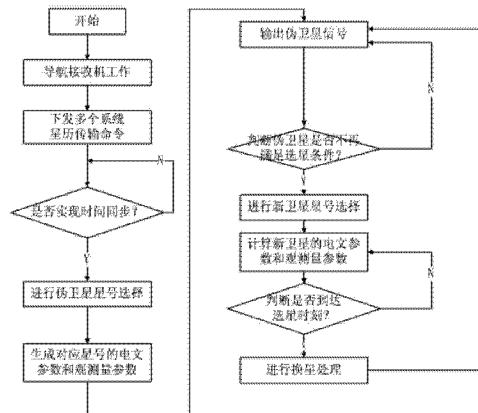
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法，其步骤：获取当前的实际卫星系统星历参数，同时实现将本地信号与实际北斗时的时间同步，并判断是否实现时间同步；根据当前的可见星和用户位置关系利用选星方法进行伪卫星星号选择；根据存储的星号，将该星号对应的伪卫星信号进行仿真计算，生成与实际星历同步的电文参数和观测量参数；输出伪卫星信号的伪距参数、多普勒参数和误差参数，判断当前伪卫星是否已经不再满足选星要求；计算选出的备用卫星的电文参数和观测量参数，并判断当前时刻是否应该进行换星；满足则进行换星；反之，循环进行伪卫星的生成，实现与北斗系统的同步。本发明能够广泛应用于通用接收机，能够和在轨卫星联合定位。



1. 一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法,其包括以下步骤:

1) 由导航接收机接收实际卫星信号,并由导航系统控制器向导航接收机发送多个实际卫星系统星历接收指令,导航接收机获取当前的实际卫星系统星历参数,同时通过 1PPS 实现将本地信号与实际北斗时的时间同步,并判断是否实现时间同步,若实现时间同步后,将同步标志设置为“时间已同步”,进入步骤 2);反之继续通过 1PPS 实现时间同步;

2) 根据当前的可见星和用户位置关系利用选星方法进行伪卫星星号选择,并将选择的星号进行存储;

3) 根据存储的星号,将该星号对应的伪卫星信号进行仿真计算,生成与实际星历同步的电文参数和观测量参数;

4) 通过已有的信号生成机制将伪卫星信号的伪距参数、多普勒参数和误差参数转换后并输出,信号播发后每隔 1 秒进行一次判断,判断当前伪卫星是否已经不再满足选星要求,如果不满足要求则重新输出伪卫星信号;满足则根据选星方法选出 1 颗备用卫星;

5) 计算选出的备用卫星的电文参数和观测量参数,并判断当前时刻是否应该进行换星;如果满足换星时刻,则进行换星处理,关闭当前卫星信号,启动新的卫星,换星过程完成;反之,返回步骤 4),循环进行伪卫星的生成,实现了与北斗系统的同步。

2. 如权利要求 1 所述的一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法,其特征在于:所述步骤 1) 中,所述通过 1PPS 实现将本地信号与实际北斗时的时间同步包括以下步骤:

(1) 设置时钟同步结构,该时钟同步结构包括授时型导航接收机、接收天线、带有本地原子钟的时钟驯服模块和伪卫星信号发生器;

(2) 授时型导航接收机通过接收天线接收实际卫星信号,并读取实际卫星系统 UTC 时;授时型导航接收机将实际卫星系统 UTC 时进行读秒处理后,利用 1PPS 信号将时间信息传输至时钟驯服模块,同时通过串口将该时间信息传输至伪卫星信号发生器;通过时钟驯服模块同步生成 10MHz 时钟信号和稳定的 1PPS 信号;

(3) 授时型导航接收机通过时钟驯服模块输出的 10MHz 时钟信号作为伪卫星信号发生器的时钟基准信号,授时型导航接收机通过时钟驯服模块输出的下一个 1PPS 信号作为伪卫星信号发生器的外触发信号;

(4) 伪卫星信号发生器将读取的实际卫星 UTC 时间转换后产生伪卫星系统时间,伪卫星信号发生器工作在外触发模式下,读取实际卫星系统 UTC 时间并通过时钟驯服模块获取到稳定的 1PPS 信号后,判决是否具备从下一秒开始和实际时间对齐的条件,判决条件成立后开始计算输出下一秒的伪卫星信号,并同步利用 1PPS 信号和 10MHz 将伪卫星系统本地时间与 UTC 时间进行对齐,实现同步。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法,其特征在于:所述步骤 4) 中,所述伪卫星的选星原则如下:

(1) 用户范围内难以正常接收的实际卫星,即不在用户视野内的实际卫星;

(2) 实际卫星—伪卫星—用户所构成的转发线路相对于直线线路的误差要尽可能的小;

(3) 伪卫星与现有卫星组成的联合星座的 GDOP 值小。

4. 如权利要求 3 所述的一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法,其特征在

于 : 所述 GDOP 值计算方法如下 :

(1) 针对伪卫星的不同位置, 计算所选伪卫星的星历 : 以用户设备接收天线位置为原点, 建立测量坐标系, 在该坐标系内, 计算实际卫星的高度角和方位角 ;

(a) 计算实际卫星在测量坐标系的位置 \vec{r}_c^s :

$$\vec{r}_c^s = R_Y(-90^\circ)R_X(B)R_Z(-90^\circ + L)(\vec{r}_D^s - \vec{r}_D^u),$$

式中, \vec{r}_D^s 为实际卫星在 ECEF 坐标系的坐标 ; \vec{r}_D^u 为用户在 ECEF 坐标系的坐标 ; (L, B) 为用户的经度、纬度 ; R_Y 、 R_X 和 R_Z 分别是绕 Y 轴、X 轴和 Z 轴的旋转矩阵 ;

(b) 根据实际卫星的位置 \vec{r}_c^s 计算实际卫星的高度角 E、方位角 Az :

$$\begin{cases} E = \arctg(y_{sc}/D) \\ Az = \arccos(x_{sc}/D) + \begin{cases} 0, z_{sc} \geq 0 \\ \pi, z_{sc} < 0 \end{cases} \end{cases}$$

式中, $D = \sqrt{x_{sc}^2 + z_{sc}^2}$, x_{sc} 、 y_{sc} 、 z_{sc} 分别是用户坐标系下卫星的 x、y 和 z 轴坐标 ;

(2) 根据实际卫星的高度角 E 和方位角 Az 计算 GDOP 值 :

$$GDOP = \sqrt{D_{11} + D_{12} + D_{13} + D_{14}}.$$

5. 如权利要求 1 或 2 或 4 所述的一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法, 其特征在于 : 所述步骤 2)、步骤 4) 中, 所述伪卫星选星方法为 : 收集实际卫星参数, 根据用户和障碍物的位置关系区分可见区域, 在不可见区域内选择仰角最优的实际卫星, 提取相应实际卫星星号, 完成选星。

6. 如权利要求 1 或 2 或 4 所述的一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法, 其特征在于 : 所述步骤 5) 中, 所述换星过程如下 :

(1) 伪卫星信号发生器选好符合要求的不可见区域的实际卫星并播发这颗卫星的信号 ;

(2) 计算不可见区域的仰角范围, 实时进行伪卫星仰角值计算, 根据卫星运动轨迹推算该卫星走出不可见区域的时间 ;

(3) 如果计算伪卫星离开的时间小于 10 分钟, 重新进行选星过程, 并选出当前条件下更优的伪卫星 ;

(4) 收集新的伪卫星星历, 同时计算出该卫星的实时电文参数和观测量参数, 包括伪距参数、多普勒参数和误差参数 ;

(5) 新的伪卫星的卫星数据准备好之后, 通知伪卫星信号发生器进行换星操作, 关闭当前卫星信号, 并在下一个 1PPS 发送新的伪卫星的卫星信号 ;

(6) 换星过程完成。

一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种位置服务、卫星导航和物联网应用领域，特别是关于一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法。

背景技术

[0002] 导航卫星信号生成是为基于位置服务、卫星导航和物联网的应用终端提供高可靠性、高精度、可重复应用的测试信号和测试手段。基于通用接收机的大范围的卫星信号遮挡区域的高精度定位是当前导航定位领域研究的一个热点和难点，由于范围较大（达到公里量级），WiFi 定位、移动通信基站定位等技术难以应用，最有效可行的方式伪卫星定位方式。

[0003] 现在大部分基于伪卫星的定位技术都需要对接收机进行改进，主要的原因是卫星导航定位系统里卫星位置的星历都是采用的开普勒六参数的方式发布，接收机根据开普勒六参数及其修正参数实时计算出卫星的位置，而伪卫星的位置一般不能用开普勒六参数来表示，一般都采用地球协议坐标的方式来表示，所以，普通的接收机无法解析这部分参数，也就无法获得卫星的位置。对于接收机来说，需要开辟专门的通道来解析伪卫星的电文信息，这也就限制了通用接收机利用伪卫星来进行定位。特别是对于现在广泛使用的移动终端的接收机来说，无法利用这种伪卫星的信号进行定位，也就限制了伪卫星技术的应用。

发明内容

[0004] 针对上述问题，本发明的目的是提供一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法，该方法能够应用于通用接收机，并且能够实现和在轨卫星联合定位。

[0005] 为实现上述目的，本发明采取以下技术方案：一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法，其包括以下步骤：1) 由导航接收机接收实际卫星信号，并由导航系统控制器向导航接收机发送多个实际卫星系统星历接收指令，导航接收机获取当前的实际卫星系统星历参数，同时通过 1PPS 实现将本地信号与实际北斗时的时间同步，并判断是否实现时间同步，若实现时间同步后，将同步标志设置为“时间已同步”，进入步骤 2)；反之继续通过 1PPS 实现时间同步；2) 根据当前的可见星和用户位置关系利用选星方法进行伪卫星星号选择，并将选择的星号进行存储；3) 根据存储的星号，将该星号对应的伪卫星信号进行仿真计算，生成与实际星历同步的电文参数和观测量参数；4) 通过已有的信号生成机制将伪卫星信号的伪距参数、多普勒参数和误差参数转换后并输出，信号播发后每隔 1 秒进行一次判断，判断当前伪卫星是否已经不再满足选星要求，如果不满足要求则重新输出伪卫星信号；满足则根据选星方法选出 1 颗备用卫星；5) 计算选出的备用卫星的电文参数和观测量参数，并判断当前时刻是否应该进行换星；如果满足换星时刻，则进行换星处理，关闭当前卫星信号，启动新的卫星，换星过程完成；反之，返回步骤 4)，循环进行伪卫星的生成，实现了与北斗系统的同步。

[0006] 所述步骤 1) 中，所述通过 1PPS 实现将本地信号与实际北斗时的时间同步包括以

下步骤：(1) 设置时钟同步结构，该时钟同步结构包括授时型导航接收机、接收天线、带有本地原子钟的时钟驯服模块和伪卫星信号发生器；(2) 授时型导航接收机通过接收天线接收实际卫星信号，并读取实际卫星系统UTC时；授时型导航接收机将实际卫星系统UTC时进行读秒处理后，利用1PPS信号将时间信息传输至时钟驯服模块，同时通过串口将该时间信息传输至伪卫星信号发生器；通过时钟驯服模块同步生成10MHz时钟信号和稳定的1PPS信号；(3) 授时型导航接收机通过时钟驯服模块输出的10MHz时钟信号作为伪卫星信号发生器的时钟基准信号，授时型导航接收机通过时钟驯服模块输出的下一个1PPS信号作为伪卫星信号发生器的外触发信号；(4) 伪卫星信号发生器将读取的实际卫星UTC时间转换后产生伪卫星系统时间，伪卫星信号发生器工作在外触发模式下，读取实际卫星系统UTC时间并通过时钟驯服模块获取到稳定的1PPS信号后，判决是否具备从下一秒开始和实际时间对齐的条件，判决条件成立后开始计算输出下一秒的伪卫星信号，并同步利用1PPS信号和10MHz将伪卫星系统本地时间与UTC时间进行对齐，实现同步。

[0007] 所述步骤4)中，所述伪卫星的选星原则如下：(1) 用户范围内难以正常接收的实际卫星，即不在用户视野内的实际卫星；(2) 实际卫星—伪卫星—用户所构成的转发线路相对于直线线路的误差要尽可能的小；(3) 伪卫星与现有卫星组成的联合星座的GDOP值小。

[0008] 所述GDOP值计算方法如下：(1) 针对伪卫星的不同位置，计算所选伪卫星的星历：以用户设备接收天线位置为原点，建立测量坐标系，在该坐标系内，计算实际卫星的高度角和方位角；(a) 计算实际卫星在测量坐标系的位置 \vec{r}_c^s ： $\vec{r}_c^s = R_Y(-90^\circ)R_X(B)R_Z(-90^\circ+L)(\vec{r}_D^s - \vec{r}_D^u)$ ，式中， \vec{r}_D^s 为实际卫星在ECEF坐标系的坐标； \vec{r}_D^u 为用户在ECEF坐标系的坐标；(L, B) 为用户的经度、纬度； R_Y 、 R_X 和 R_Z 分别是绕Y轴、X轴和Z轴的旋转矩阵；(b) 根据实际卫星的位置 \vec{r}_c^s 计算实际卫星的高度角 E、方位角 Az：

$$[0009] \quad \begin{cases} E = \arctg(y_{sc}/D) \\ Az = \arccos(x_{sc}/D) + \begin{cases} 0, z_{sc} \geq 0 \\ \pi, z_{sc} < 0 \end{cases} \end{cases}$$

[0010] 式中， $D = \sqrt{x_{sc}^2 + z_{sc}^2}$ ， x_{sc} 、 y_{sc} 、 z_{sc} 分别是用户坐标系下卫星的x、y 和 z 轴坐标；(2) 根据实际卫星的高度角 E 和方位角 Az 计算 GDOP 值：

$$[0011] \quad GDOP = \sqrt{D_{11} + D_{12} + D_{13} + D_{14}} \circ$$

[0012] 所述步骤2)、步骤4)中，所述伪卫星选星方法为：收集实际卫星参数，根据用户和障碍物的位置关系区分可见区域，在不可见区域内选择仰角最优的实际卫星，提取相应实际卫星星号，完成选星。

[0013] 所述步骤5)中，所述换星过程如下：(1) 伪卫星信号发生器选好符合要求的不可见区域的实际卫星并播发这颗卫星的信号；(2) 计算不可见区域的仰角范围，实时进行伪卫星仰角值计算，根据卫星运动轨迹推算该卫星走出不可见区域的时间；(3) 如果计算伪卫星离开的时间小于10分钟，重新进行选星过程，并选出当前条件下更优的伪卫星；(4) 收集新的伪卫星星历，同时计算出该卫星的实时电文参数和观测量参数，包括伪距参数、多普

勒参数和误差参数；(5) 新的伪卫星的卫星数据准备好之后,通知伪卫星信号发生器进行换星操作,关闭当前卫星信号,并在下一个 1PPS 发送新的伪卫星的卫星信号；(6) 换星过程完成。

[0014] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点 :1、本发明实现了本地时间与实际北斗时的时间同步,时间同步指伪卫星信号输出的系统时间与实际导航系统时之间的时间同步精度,本发明将系统时间同步到 GPS 时或者北斗时,然后再实现与 UTC 时间的转换 ;根据系统的应用要求,将伪卫星系统时间与 UTC 时间之间的时间差小于 20ns,同时为实现伪卫星信号发生器内部时钟精度,保证伪卫星信号发生器本身的系统时间同步精度小于 10ns。2、本发明实现了随时间变化的卫星选星策略。伪卫星选星是指为了提高系统的可用性,将伪卫星所模拟的实际卫星进行合理设计,使服务区域内的导航接收机能够在最大范围内实现折线误差小和良好的 DOP 值。根据用户的位置和所接收的实际卫星的位置,选择用于转发的卫星编号。3、本发明实现了与实际星历同步的电文生成。星历同步是指伪卫星系统的星历参数与实际卫星导航系统的星历参数保持一致。需要解决的问题是在伪卫星运行过程中长期稳定输出可靠的星历,并且需要实现实时星历的更新,保持每 1 个小时更新一次系统星历。保证伪卫星播发的电文信息中相关的位置信息、钟差信息和其他相关信息与现有的导航系统机制保持一致,是保证伪卫星播发的电文信息能够在现有通用接收机中正常解算,使接收机实现增强定位。4、本发明对于一些有遮挡,也能够收到 1 到 3 颗卫星,能够不干扰正常接收的卫星信号,同时能够通过卫星信号生成后发射其不能接收的卫星信号,使得导航接收机能够接收到大于 4 颗卫星信号,进行定位解算 ;同时,产生的伪卫星信号增强了终端的定位成功率和定位精度,能够应用于通用接收机,并且能够实现和在轨卫星联合定位。本发明能够广泛应用于通用接收机,并且能够和在轨卫星联合定位。

附图说明

- [0015] 图 1 是本发明的整体流程示意图 ;
- [0016] 图 2 是本发明的时钟同步示意图 ;
- [0017] 图 3 是本发明的选星示意图 ;
- [0018] 图 4 是本发明的选星流程示意图 ;
- [0019] 图 5 是本发明的实际卫星高度角和方位角示意图。

具体实施方式

- [0020] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。
- [0021] 如图 1 所示,本发明提供一种与北斗系统实时同步生成伪卫星信号的方法,与只能根据电文和星历离线产生卫星导航模拟信号的方法不同,本发明包括以下步骤 :
 - [0022] 1) 由导航接收机接收实际卫星信号,并由导航系统控制器向导航接收机发送多个实际卫星系统星历接收指令,导航接收机获取当前的实际卫星系统星历参数,同时通过 1PPS 实现将本地信号与实际北斗时的时间同步,并判断是否实现时间同步,若实现时间同步后,将同步标志设置为“时间已同步”,进入步骤 2);反之继续通过 1PPS 实现时间同步。
 - [0023] 2) 根据当前的可见星和用户位置关系利用选星方法进行伪卫星星号选择,并将选择的星号进行存储,以供后续使用。

[0024] 3) 根据存储的星号,将该星号对应的伪卫星信号通过已有仿真算法进行仿真计算,生成与实际星历同步的电文参数和观测量参数,以提供产生伪卫星信号的伪距参数、多普勒参数和误差参数等。

[0025] 4) 通过已有的信号生成机制将伪卫星信号的伪距参数、多普勒参数和误差参数转换后并输出,信号播发后每隔 1 秒进行一次判断,判断当前伪卫星是否已经不再满足选星要求,如果不满足要求则重新输出伪卫星信号;满足则根据选星方法选出 1 颗备用卫星。

[0026] 5) 计算选出的备用卫星的电文参数和观测量参数,并判断当前时刻是否应该进行换星;如果满足换星时刻,则进行换星处理,关闭当前卫星信号,启动新的卫星,换星过程完成;反之,返回步骤 4),循环进行伪卫星的生成,实现了与北斗系统的同步。

[0027] 上述步骤 1) 中,如图 2 所示,由于真实的 GNSS 系统(全球导航卫星系统)时标信号是由导航系统的原子钟组进行维持的,普通用户无法获取导航系统的原子时钟,因此本发明进行时间同步时采用通过 GNSS 驯服的原子钟,在地面取得一个 GNSS 系统时标信号,实现与 UTC 时间的同步,该信号用作伪卫星系统的基准时钟,该基准时钟与 GNSS 系统时的同步精度受限于原子钟的实现精度,本发明采用高性能的授时型导航接收机与本地原子钟联合实现高性能的本地时钟。即通过 1PPS 实现将本地信号与实际北斗时的时间同步具体包括以下步骤:

[0028] (1) 设置时钟同步结构,该时钟同步结构包括授时型导航接收机、接收天线、带有本地原子钟的时钟驯服模块和伪卫星信号发生器。

[0029] (2) 授时型导航接收机通过接收天线接收实际卫星信号,并读取实际卫星系统 UTC 时。授时型导航接收机将实际卫星系统 UTC 时进行读秒处理后,利用 1PPS 信号将时间信息传输至时钟驯服模块,同时通过串口将该时间信息传输至伪卫星信号发生器;通过时钟驯服模块同步生成 10MHz 时钟信号和稳定的 1PPS 信号。

[0030] (3) 授时型导航接收机通过时钟驯服模块输出的 10MHz 时钟信号作为伪卫星信号发生器的时钟基准信号,授时型导航接收机通过时钟驯服模块输出的下一个 1PPS 信号作为伪卫星信号发生器的外触发信号。

[0031] (4) 伪卫星信号发生器将读取的实际卫星 UTC 时间转换后产生伪卫星系统时间,伪卫星信号发生器工作在外触发模式下,读取实际卫星系统 UTC 时间并通过时钟驯服模块获取到稳定的 1PPS 信号后,判决是否具备从下一秒开始和实际时间对齐的条件,判决条件成立后开始计算输出下一秒的伪卫星信号,并同步利用 1PPS 信号和 10MHz 将伪卫星系统本地时间与 UTC 时间进行对齐,实现同步。

[0032] 上述步骤 (4) 中,伪卫星本地时间与 UTC 时间同步精度取决于伪卫星信号发生器内部采样时钟频率和导航观测量和电文计算时产生的时差,导航观测量和电文计算时的时差采用的是数学计算方式,内部字长为 64 位浮点数计算,产生的误差可以忽略,目前内部采样时间频率要满足时间小于 10ns 的要求,需要将系统时钟提高到 100MHz 以上,为了与导航系统实现基准频率相同,本发明伪卫星信号发生器内部采样时钟为 327.36MHz。

[0033] 上述步骤 4) 中,由于伪卫星选择的基本原则是尽可能少干扰可以正常接收的实际卫星;同时要求伪卫星产生的伪距误差尽可能小;所以,伪卫星需要对所模拟的实际卫星进行选择。如图 3 所示,对于应用区域来说,可根据周边的环境,划定“可视区域”、“非可视区域”等;为了不干扰可视区域实际卫星的正常接收,所以伪卫星只能模拟“非可视区域”

的实际卫星；同时，对于“非可视区域”的实际卫星，如果从实际卫星经伪卫星转发到用户的折线角度过大，会造成伪距误差较大，虽然可以通过修正的方法来修正，但是由于实际卫星的运动速度较快，修正的实时性难度较大；所以，尽可能选择折线角度较小的区域的实际卫星。具体地，伪卫星的选星原则如下：

[0034] (1) 用户范围内难以正常接收的实际卫星，也就是不在用户视野内的实际卫星；例如：

[0035] 根据应用区域的大小、形状以及伪卫星布设高度的不同，分别设置伪卫星所模拟的实际卫星高度角临界值，所模拟的实际卫星应该是整个应用区域内都不可见的实际卫星。

[0036] (2) 实际卫星—伪卫星—用户所构成的转发线路相对于直线线路的误差要尽可能的小；

[0037] (3) 伪卫星与现有卫星组成的联合星座的 GDOP 值小：在满足一定折线误差的情况下，选择能够产生最优或次优 GDOP 值（几何精度因子）的伪卫星，这样可以提高水平定位精度。方法如下：

[0038] 根据已经收到的卫星，在不可见卫星中选择相应数量卫星，使得总卫星数达到 4 颗。根据用户接收机的概略坐标和卫星的概略星历，计算 GDOP 值，在所有不可见卫星中进行遍历，计算 GDOP 值最小的一组，伪卫星则模拟该组卫星中的不可见卫星。4 个伪卫星分别在 90 度方位角的不可见区域内进行遍历搜索。

[0039] 基于上述选星原则，在选星过程中还要注意以下两点：

[0040] (1) 选星区域：以用户设备接收天线位置为原点，建立测量坐标系，在用户坐标系内判断实际卫星相对用户的高度角（即仰角），同时根据障碍物的位置计算不可见范围的最低高度角，如果实际卫星高度角大于最低高度角，则该实际卫星视为可见卫星。伪卫星在排除可见卫星的不可见区域内选择，实现伪卫星信号模拟。

[0041] (2) 伪卫星与用户的张角 θ ：为了减小信号折线传输的误差，需要选择张角 θ 小的实际卫星，具体实现时可选择与伪卫星相对于用户的高度角、方位角接近的实际卫星。

[0042] 上述步骤 2)、步骤 4) 中涉及到的伪卫星选星方法，具体如下（如图 4 所示）：收集实际卫星参数，根据用户和障碍物的位置关系区分可见区域，在不可见区域内选择仰角最优的实际卫星，提取相应实际卫星星号，完成选星。

[0043] 上述实施例中，GDOP 值计算方法如下：

[0044] (1) 针对伪卫星的不同位置，计算所选伪卫星的星历：以用户设备接收天线位置为原点，建立测量坐标系，在该坐标系内，计算实际卫星的高度角和方位角（如图 5 所示）。

[0045] (a) 计算实际卫星在测量坐标系的位置 \vec{r}_c^s ：

[0046]

$$\vec{r}_c^s = R_Y(-90^\circ)R_X(B)R_Z(-90^\circ + L)(\vec{r}_D^s - \vec{r}_D^u),$$

[0047] 式中， \vec{r}_D^s 为实际卫星在 ECEF 坐标系的坐标； \vec{r}_D^u 为用户在 ECEF 坐标系的坐标； (L, B) 为用户的经度、纬度； R_Y 、 R_X 和 R_Z 分别是绕 Y 轴、X 轴和 Z 轴的旋转矩阵。其中：

$$[0048] R_x(\varepsilon_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_x & -\sin \varepsilon_x \\ 0 & \sin \varepsilon_x & \cos \varepsilon_x \end{bmatrix},$$

$$[0049] R_y(\varepsilon_y) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_y & 0 & -\sin \varepsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varepsilon_y & 0 & \cos \varepsilon_y \end{bmatrix},$$

$$[0050] R_z(\varepsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_z & \sin \varepsilon_z & 0 \\ -\sin \varepsilon_z & \cos \varepsilon_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0051] 其中, ε_x 为 B, ε_y 为 -90° , ε_z 为 $(-90^\circ + L)$, 单位均为度。

[0052] (b) 根据实际卫星的位置 \vec{r}_c^s 计算实际卫星的高度角 E、方位角 Az :

$$[0053] \begin{cases} E = \arctg(y_{sc}/D) \\ Az = \arccos(x_{sc}/D) + \begin{cases} 0, z_{sc} \geq 0 \\ \pi, z_{sc} < 0 \end{cases} \end{cases}$$

[0054] 式中, $D = \sqrt{x_{sc}^2 + z_{sc}^2}$, x_{sc} 、 y_{sc} 、 z_{sc} 分别是用户坐标系下卫星的 x、y 和 z 轴坐标。

[0055] (2) 根据实际卫星的高度角 E 和方位角 Az 计算 GDOP 值 :

[0056] 根据实际卫星的位置可以计算出 H 矩阵为 :

$$[0057] H = \begin{bmatrix} \cos E_1 \cos Az_1 & \cos E_1 \sin Az_1 & \sin E_1 \\ \cos E_2 \cos Az_2 & \cos E_2 \sin Az_2 & \sin E_2 \\ \cos E_3 \cos Az_3 & \cos E_3 \sin Az_3 & \sin E_3 \\ \cos E_4 \cos Az_4 & \cos E_4 \sin Az_4 & \sin E_4 \end{bmatrix},$$

[0058] 式中 E_i 表示第 i 颗星的高度角, Az_i 表示第 i 颗星的方位角, $i = 1, 2, 3, 4$ 。

[0059] 然后根据 H 矩阵计算 $(H^T H)^{-1}$ 矩阵 (H^T 矩阵是 H 矩阵的转置), 其分量的形式表示为 :

$$[0060] (H^T H)^{-1} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix};$$

[0061] GDOP 值能够作为 $(H^T H)^{-1}$ 矩阵迹的平方根计算出 :

$$[0062] GDOP = \sqrt{D_{11} + D_{12} + D_{13} + D_{14}} \circ$$

[0063] 上述步骤 5) 中, 由于实际卫星的运动速度较快, 实际卫星的位置是实时变化的; 所以选星也要实时地进行计算, 并根据卫星的位置进行所要模拟的卫星的切换。具体的换星过程如下 :

[0064] (1) 伪卫星信号发生器选好符合要求的不可见区域的实际卫星 (星号 n1) 并播发这颗卫星的信号;

[0065] (2) 计算不可见区域的仰角范围, 实时进行伪卫星仰角值计算, 根据卫星运动轨迹推算该卫星(星号 n1)走出不可见区域的时间;

[0066] (3) 如果计算伪卫星离开的时间小于 10 分钟, 重新进行选星过程, 并选出当前条件下更优的伪卫星(星号 n2);

[0067] (4) 收集新的伪卫星星历(星号 n2), 同时计算出该卫星(星号 n2)的实时电文参数和观测量参数, 包括伪距参数、多普勒参数和误差参数;

[0068] (5) 星号 n2 的卫星数据准备好之后, 通知伪卫星信号发生器进行换星操作, 关闭当前卫星信号, 并在下一个 1PPS 发送星号 n2 的卫星信号;

[0069] (6) 换星过程完成。

[0070] 步骤(1)至步骤(6)的换星过程是一个动态过程, 每台伪卫星信号发生器都会独立的运行相关的换星过程, 保证系统中出现的伪卫星随着时间变化能够顺利切换, 同时为服务区域提供连续的伪卫星信号服务。

[0071] 上述各实施例仅用于说明本发明, 各步骤都是可以有所变化的, 在本发明技术方案的基础上, 凡根据本发明原理对个别步骤进行的改进和等同变换, 均不应排除在本发明的保护范围之外。

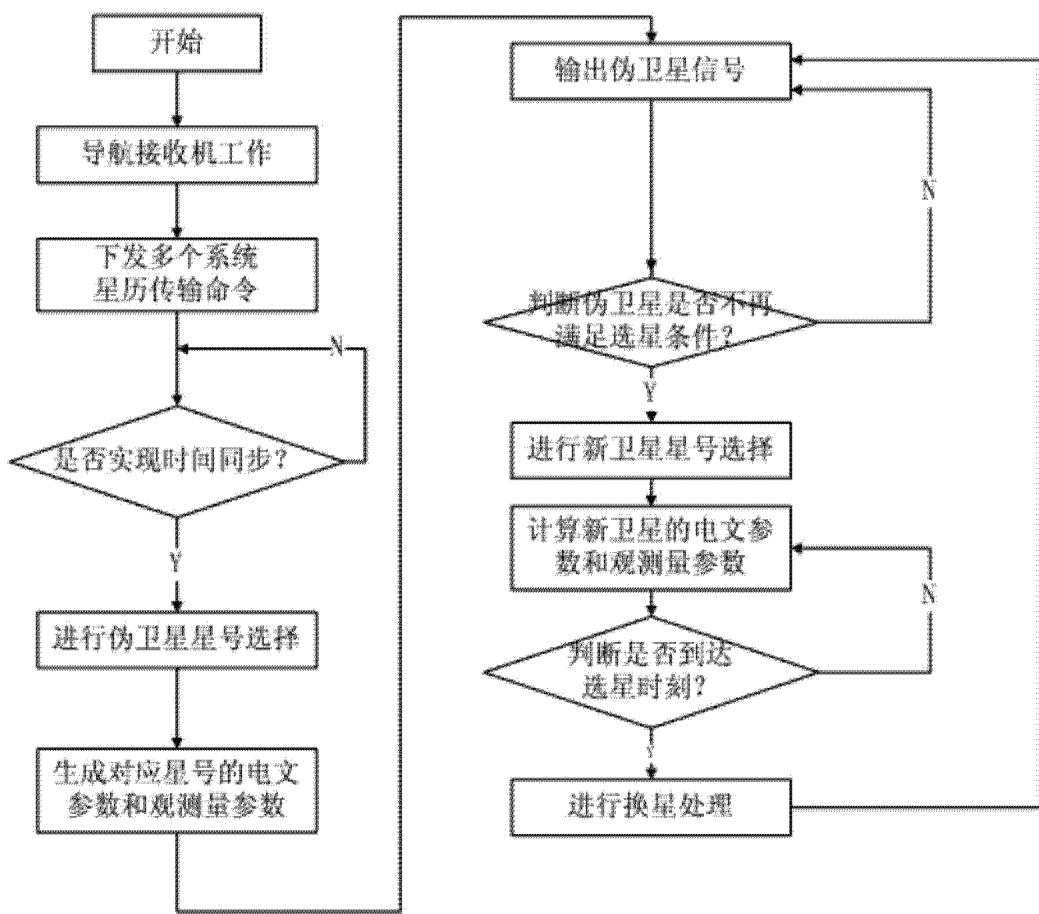


图 1

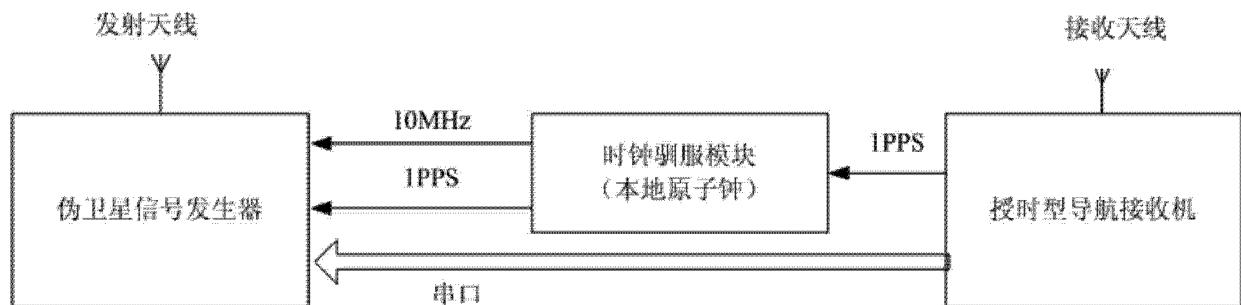


图 2

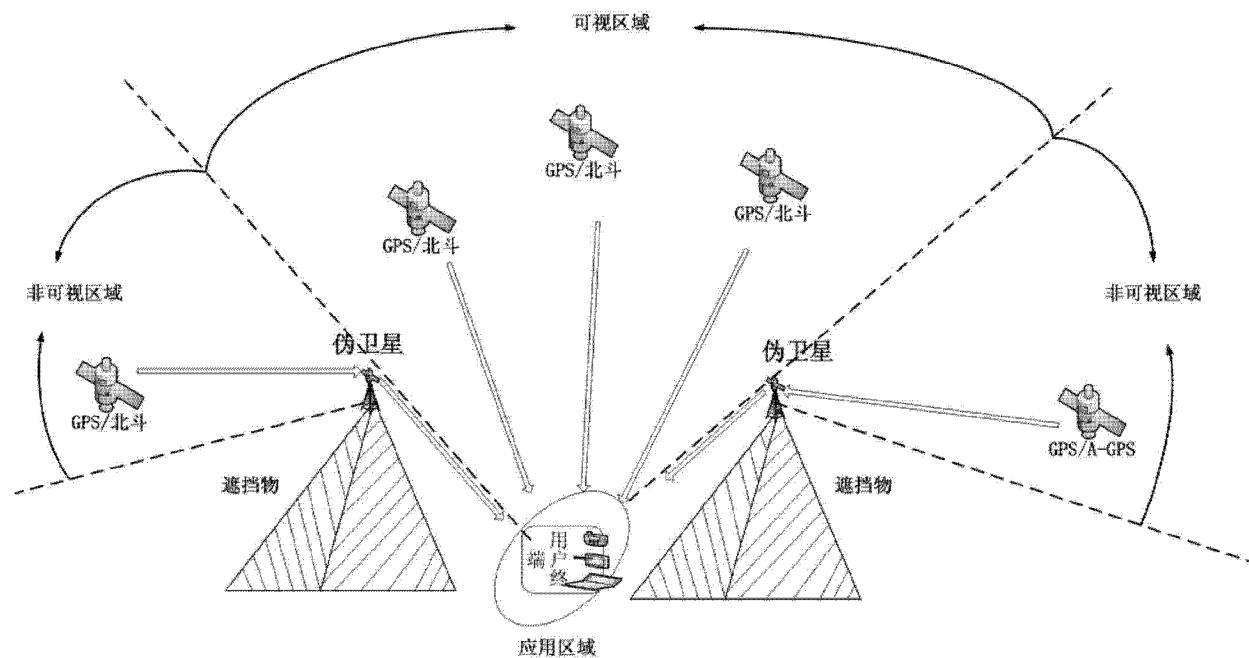


图 3

