



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103797727 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 14

(21) 申请号 201280043915. X

代理人 赵蓉民

(22) 申请日 2012. 07. 31

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H04B 7/185(2006. 01)

61/533, 122 2011. 09. 09 US

13/418, 200 2012. 03. 12 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 03. 10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/048973 2012. 07. 31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/036328 EN 2013. 03. 14

(71) 申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 D·A·爱尔兰 G·M·格特

P·M·法伊夫

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

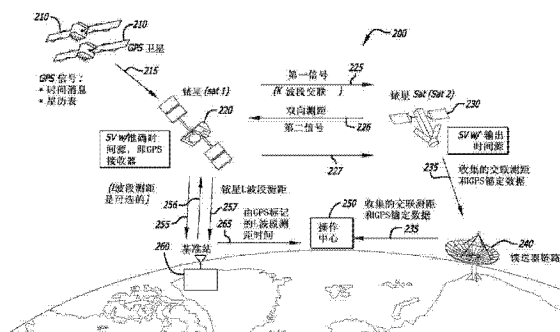
权利要求书4页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

使用交联测距和准确时间源的用于卫星星座的先进定时和时间传递

(57) 摘要

本文公开了一种使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的系统、方法和装置。具体地,本发明总体涉及为振荡器校准提供改进的定位、导航和/或定时信息的系统,更具体地涉及使用能够访问准确时间源的至少一个卫星来校准交联配对卫星上的本地振荡器。在至少一个实施例中,具有交联能力的卫星子集上的同步被用于通过交联的卫星网络分发时间。



1. 一种用于为卫星星座定时的方法,所述方法包括:

由至少一个第一卫星向至少一个第二卫星发射至少一个交联测距信号,其中所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个是具有同步时间的定时卫星;

由所述至少一个第二卫星接收所述至少一个交联测距信号;

通过使用从所述至少一个交联测距信号的发射到所述至少一个交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个第一卫星到所述至少一个第二卫星的至少一个测距测量值;以及

通过使用所述至少一个测距测量值和来自所述至少一个定时卫星的所述同步时间中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星相对于彼此以及相对于所述同步时间的时间和频率的估计值,从而将所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的时间和频率同步。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个第一卫星是具有所述同步时间的定时卫星,并且所述至少一个第二卫星是没有所述同步时间的非定时卫星。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述同步时间是准确时间。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述至少一个定时卫星经由以下中的至少一个获得所述同步时间:至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个伽利略卫星信号、至少一个北斗导航系统信号和原子钟。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述同步时间不是准确时间。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个第二卫星是具有所述同步时间的定时卫星,而所述至少一个第一卫星是没有所述同步时间的非定时卫星。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法进一步包括生成至少一个校正信号,用于同步所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的时间和频率;以及向所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个发射所述至少一个校正信号。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星是低地球轨道(LEO)卫星、中等地球轨道(MEO)卫星和同步地球轨道(GEO)卫星中的至少一个。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法进一步包括:

由所述至少一个定时卫星向至少一个基准站发射至少一个定位信号;

由所述至少一个基准站接收所述至少一个定位信号;

通过使用从所述至少一个定位信号的发射到所述至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个定时卫星到所述至少一个基准站的至少一个定位测距测量值;以及

通过使用所述至少一个测距测量值、所述同步时间、来自所述至少一个定时卫星的定位数据以及所述至少一个定位测距测量值中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的轨道定位的估计值。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个北斗导航系统信号和至少一个伽利略卫星信号中的至少一个获得所述定位数据。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述方法进一步包括:

由至少一个基准站向所述至少一个定时卫星发射至少一个定位信号;

由所述至少一个定时卫星接收所述至少一个定位信号;

通过使用从所述至少一个定位信号的发射到所述至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个基准站到所述至少一个定时卫星的至少一个定位测距测量值;以及

通过使用所述至少一个测距测量值、所述同步时间、来自所述至少一个定时卫星的定位数据以及所述至少一个定位测距测量值中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的轨道定位的估计值。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个北斗导航系统信号和至少一个伽利略卫星信号中的至少一个获得所述定位数据。

13. 一种用于为卫星星座定时的方法,所述方法包括:

由至少一个第一卫星向至少一个第二卫星发射至少一个第一交联测距信号,其中所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个是具有同步时间的定时卫星;

由所述至少一个第二卫星接收所述至少一个第一交联测距信号;

由所述至少一个第二卫星向所述至少一个第一卫星发射至少一个第二交联测距信号;

由所述至少一个第一卫星接收所述至少一个第二交联测距信号;

通过使用从所述至少一个第一交联测距信号的发射到所述至少一个第一交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个第一卫星到所述至少一个第二卫星的至少一个第一测距测量值;

通过使用从所述至少一个第二交联测距信号的发射到所述至少一个第二交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个第二卫星到所述至少一个第一卫星的至少一个第二测距测量值;以及

通过使用所述至少一个第一测距测量值、所述至少一个第二测距测量值和来自所述至少一个定时卫星的所述同步时间中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星相对于彼此以及相对于所述同步时间的的时间和频率的估计值,从而同步所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的时间和频率。

14. 一种用于为卫星星座定时的系统,所述系统包括:

至少一个第一卫星,其被配置为向至少一个第二卫星发射至少一个交联测距信号;

所述至少一个第二卫星,其被配置为接收所述至少一个交联测距信号,

其中所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个是具有同步时间的定时卫星;

至少一个处理器,其被配置为通过使用从所述至少一个交联测距信号的发射到所述至少一个交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个第一卫星到所述至少一个第二卫星的至少一个测距测量值;以及

所述至少一个处理器被进一步配置为通过使用所述至少一个测距测量值和来自所述至少一个定时卫星的所述同步时间中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少

一个第二卫星相对于彼此以及相对于所述同步时间的的时间和频率的估计值,从而同步所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的时间和频率。

15. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述至少一个第一卫星是具有所述同步时间的定时卫星,而所述至少一个第二卫星是没有所述同步时间的非定时卫星。

16. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述同步时间是准确时间。

17. 根据权利要求 16 所述的系统,其中所述至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个伽利略卫星信号、至少一个北斗导航系统信号和原子钟中的至少一个获得所述同步时间。

18. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述同步时间不是准确时间。

19. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述至少一个第二卫星是具有所述同步时间的定时卫星,而所述至少一个第一卫星是没有所述同步时间的非定时卫星。

20. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述至少一个处理器被进一步配置为生成至少一个校正信号,用于同步所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的时间和频率。

21. 根据权利要求 20 所述的系统,其中所述系统进一步包括至少一个发射器,所述至少一个发射器被配置为向所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个发射所述至少一个校正信号。

22. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星是低地球轨道(LEO)卫星、中等地球轨道(MEO)卫星和同步地球轨道(GEO)卫星中的至少一个。

23. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述至少一个定时卫星被进一步配置为向所述至少一个基准站发射至少一个定位信号;

所述至少一个基准站被配置为接收所述至少一个定位信号;以及

所述至少一个处理器被进一步配置为:通过使用从所述至少一个定位信号的发射到所述至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个定时卫星到所述至少一个基准站的至少一个定位测距测量值;以及通过使用所述至少一个测距测量值、所述同步时间、来自所述至少一个定时卫星的定位数据和所述至少一个定位测距测量值中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的轨道定位的估计值。

24. 根据权利要求 23 所述的系统,其中所述至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个北斗导航系统信号和至少一个伽利略卫星信号中的至少一个获得所述定位数据。

25. 根据权利要求 14 所述的系统,其中所述系统进一步包括:

至少一个基准站,其被配置为向所述至少一个定时卫星发射至少一个定位信号;

所述至少一个定时卫星被进一步配置为接收所述至少一个定位查询信号;以及

所述至少一个处理器被进一步配置为:通过使用从所述至少一个定位信号的发射到所述至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个基准站到所述至少一个定时卫星的至少一个定位测距测量值;以及通过使用所述至少一个测距测量值、所述同步时间、来自所述至少一个定时卫星的定位数据和所述至少一个定位测距测量值中的至少一

个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的轨道定位的估计值。

26. 根据权利要求 25 所述的系统,其中所述至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个北斗导航系统信号和至少一个伽利略卫星信号中的至少一个获得所述定位数据。

27. 一种用于为卫星星座定时的系统,所述系统包括:

至少一个第一卫星,其被配置为向至少一个第二卫星发射至少一个第一交联测距信号,并接收至少一个第二交联测距信号;

所述至少一个第二卫星,其被配置为接收所述至少一个第一交联测距信号,并发射所述至少一个第二交联测距信号,

其中所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个是具有同步时间的定时卫星;

至少一个处理器,其被配置为通过使用从所述至少一个第一交联测距信号的发射到所述至少一个第一交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个第一卫星到所述至少一个第二卫星的至少一个第一测距测量值;

所述至少一个处理器被进一步配置为通过使用从所述至少一个第二交联测距信号的发射到所述至少一个第二交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从所述至少一个第二卫星到所述至少一个第一卫星的至少一个第二测距测量值;以及

所述至少一个处理器被进一步配置为通过使用所述至少一个第一测距测量值、所述至少一个第二测距测量值和来自所述至少一个定时卫星的所述同步时间中的至少一个,计算所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星相对于彼此以及相对于所述同步时间的的时间和频率的估计值,从而同步所述至少一个第一卫星和所述至少一个第二卫星中的至少一个的时间和频率。

使用交联测距和准确时间源的用于卫星星座的先进定时和时间传递

[0001] 相关申请的交叉引用

技术领域

[0002] 本发明涉及用于卫星星座的定时和时间传递的先进的定时和时间传递。特别涉及使用交联测距和准确时间源的用于卫星星座的先进定时和时间传递。

发明内容

[0003] 本发明涉及使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的方法、系统和装置。具体地,本发明教导了用于为卫星星座定时的方法。所公开的方法包括由至少一个第一卫星向至少一个第二卫星发射至少一个交联测距信号。在一个或多个实施例中,至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星是具有同步时间的定时卫星。该方法进一步包括由至少一个第二卫星接收至少一个交联测距信号。同样,该方法包括通过使用从至少一个交联测距信号的发射到至少一个交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个第一卫星到至少一个第二卫星的至少一个测距测量值。进一步地,该方法包括通过使用至少一个测距测量值和 / 或来自至少一个定时卫星的同步时间,计算至少一个第一卫星和至少一个第二卫星相对于彼此的时间和频率的估计值,从而同步至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星的时间和频率。

[0004] 在一个或多个实施例中,至少一个第一卫星是具有同步时间的定时卫星,而至少一个第二卫星是没有同步时间的非定时卫星。在至少一个实施例中,同步时间是准确时间。在某些实施例中,至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个伽利略卫星信号、至少一个北斗导航系统信号和 / 或原子钟获得同步时间。在一个或多个实施例中,同步时间不是准确时间。在至少一个实施例中,至少一个第二卫星是具有同步时间的定时卫星,而至少一个第一卫星是没有同步时间的非定时卫星。

[0005] 在至少一个实施例中,该方法进一步包括:生成至少一个校正信号,用于同步至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星的时间和频率;以及向至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星发射至少一个校正信号。在某些实施例中,至少一个第一卫星和至少一个第二卫星是低地球轨道(LEO)卫星、中等地球轨道(MEO)卫星和 / 或同步地球轨道(GEO)卫星。在某些实施例中,LEO 卫星是铱星 LEO 卫星或铱星下一代 LEO 卫星。

[0006] 在一个或多个实施例中,所公开的方法采用铱星 LEO 卫星星座。在至少一个实施例中,星座中的每个铱星 LEO 卫星具有用不同的点波束图案发射四十八个(48)点波束的天线几何形状。在至少一个实施例中,至少一个交联信号可以从星座中的至少一个铱星卫星发射。铱星卫星的四十八(48)个点波束可以被用于向位于地球表面上或接近地球表面的接收源(例如,基准站)发射本地信号。需要指出的是,当采用上述铱星 LEO 卫星中的一个时,发射信号功率足够强以允许信号可靠地穿透到室内环境中,并且可以采用信号编码方法,

以便能这样做。需要进一步指出的是,这种系统可以采用至少一个下一代铱星卫星,或现有铱星卫星与下一代铱星卫星配置的组合。

[0007] 在一个或多个实施例中,该方法进一步包括由至少一个定时卫星向至少一个基准站发射至少一个定位信号。该方法还包括由至少一个基准站接收至少一个定位信号。同样,该方法包括通过使用从至少一个定位信号的发射到至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个定时卫星到至少一个基准站的至少一个定位测距测量值。进一步地,该方法包括通过使用至少一个测距测量值、同步时间、来自至少一个定时卫星的定位数据和 / 或至少一个定位测距测量值,计算至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星的轨道定位的估计值。在至少一个实施例中,至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个北斗导航系统信号和 / 或至少一个伽利略卫星信号获得定位数据。

[0008] 在至少一个实施例中,该方法进一步包括由至少一个基准站向至少一个定时卫星发射至少一个定位信号。同样,该方法包括由至少一个定时卫星接收至少一个定位信号。此外,该方法包括通过使用从至少一个定位信号的发射到至少一个定位信号的接收(即,至少一个定位信号的接收相对于接收器时钟的到达时间(TOA),在该情况下是在定时卫星上)所经过的时间量,计算从至少一个基准站到至少一个定时卫星的至少一个定位测距测量值。进一步地,该方法包括通过使用至少一个测距测量值、同步时间、来自至少一个定时卫星的定位数据和 / 或至少一个定位测距测量值,计算至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星的轨道定位的估计值。在某些实施例中,至少一个定时卫星经由至少一个全球定位系统(GPS)信号、至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个北斗导航系统信号和 / 或至少一个伽利略卫星信号获得定位数据。

[0009] 在一个或多个实施例中,用于为卫星星座定时的方法包括由至少一个第一卫星向至少一个第二卫星发射至少一个第一交联测距信号。在至少一个实施例中,至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星是具有同步时间的定时卫星。该方法进一步包括由至少一个第二卫星接收至少一个第一交联测距信号。同样,该方法包括由至少一个第二卫星向至少一个第一卫星发射至少一个第二交联测距信号。此外,该方法包括由至少一个第一卫星接收至少一个第二交联测距信号。此外,该方法包括通过使用从至少一个第一交联测距信号的发射到至少一个第一交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个第一卫星到至少一个第二卫星的至少一个第一测距测量值。同样,该方法包括通过使用从至少一个第二交联测距信号的发射到至少一个第二交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个第二卫星到至少一个第一卫星的至少一个第二测距测量值。进一步地,该方法包括通过使用至少一个第一测距测量值、至少一个第二测距测量值和 / 或来自至少一个定时卫星的同步时间,计算至少一个第一卫星和至少一个第二卫星相对于彼此的时间和频率的估计值,从而同步至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星的时间和频率。

[0010] 在至少一个实施例中,用于为卫星星座定时的系统包括至少一个第一卫星,其被配置为向至少一个第二卫星发射至少一个交联测距信号。该系统进一步包括至少一个第二卫星,其被配置为接收至少一个交联测距信号。在一个或多个实施例中,至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星是具有同步时间的定时卫星。同样,该系统包括至少一个处理器,其被配置为通过使用从至少一个交联测距信号的发射到至少一个交联测距信号的接收所

经过的时间量,计算从至少一个第一卫星到至少一个第二卫星的至少一个测距测量值。进一步地,该系统包括至少一个处理器,其进一步被配置为通过使用至少一个测距测量值和/或至少一个定时卫星的同步时间,计算至少一个第一卫星和至少一个第二卫星相对于彼此的时间和频率的估计值,从而同步至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星的时间和频率。

[0011] 在一个或多个实施例中,至少一个处理器被进一步配置为生成至少一个校正信号,用于同步至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星的时间和频率。在至少一个实施例中,该系统进一步包括至少一个发射器,其被配置为向至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星发射至少一个校正信号。

[0012] 在至少一个实施例中,至少一个定时卫星被进一步配置为向至少一个基准站发射至少一个定位信号。在某些实施例中,至少一个基准站被配置为接收至少一个定位信号。在一个或多个实施例中,至少一个处理器被进一步配置为通过使用从至少一个定位信号的发射到至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个定时卫星到至少一个基准站的至少一个定位测距测量值,以及通过使用至少一个测距测量值、同步时间、来自至少一个定时卫星的定位数据和/或至少一个定位测距测量值,计算至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星的轨道定位的估计值。

[0013] 在一个或多个实施例中,该系统进一步包括至少一个基准站,其被配置为向至少一个定时卫星发射至少一个定位信号。在至少一个实施例中,至少一个定时卫星被进一步配置为接收至少一个定位查询信号。在某些实施例中,至少一个处理器被进一步配置为通过使用从至少一个定位信号的发射到至少一个定位信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个基准站到至少一个定时卫星的至少一个定位测距测量值,以及通过使用至少一个测距测量值、同步时间、来自至少一个定时卫星的定位数据和/或至少一个定位测距测量值,计算至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星的轨道定位的估计值。

[0014] 在至少一个实施例中,用于为卫星星座定时的系统包括至少一个第一卫星,其被配置为向至少一个第二卫星发射至少一个第一交联测距信号并接收至少一个第二交联测距信号。该系统进一步包括至少一个第二卫星,其被配置为接收至少一个第一交联测距信号,并发射至少一个第二交联测距信号。在一个或多个实施例中,至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星是具有同步时间的定时卫星。同样,该系统包括至少一个处理器,其被配置为通过使用从至少一个第一交联测距信号的发射到至少一个第一交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个第一卫星到至少一个第二卫星的至少一个第一测距测量值。此外,该系统包括至少一个处理器,其被进一步配置为通过使用从至少一个第二交联测距信号的发射到至少一个第二交联测距信号的接收所经过的时间量,计算从至少一个第二卫星到至少一个第一卫星的至少一个第二测距测量值。进一步地,该系统包括至少一个处理器,其被进一步配置为通过使用至少一个第一测距测量值、至少一个第二测距测量值和/或来自至少一个定时卫星的同步时间,计算至少一个第一卫星和至少一个第二卫星相对于彼此的时间和频率的估计值,从而同步至少一个第一卫星和/或至少一个第二卫星的时间和频率。

[0015] 在一个或多个实施例中,所公开的系统和方法采用铱星下一代卫星星座,其中星座的子集配备有 GPS 接收器或可替代的准确定时源。分散在所有平面中的这个子集经由交

联测距向未配备有 GPS 接收器的卫星提供至星座内的连续准确时间和频率的连接。

[0016] 在至少一个实施例中, 铱星下一代卫星星座包括星座的子集, 其被配备有 GPS 接收器或可替代准确定时源, 它们被用于向交联铱星(现有星座) 卫星提供准确定时数据。

[0017] 在一个或多个实施例中, 被锚定到准确定时源的卫星(即, 定时卫星)和 / 或配对卫星(即, 非定时卫星) 的卫星可以被用于向具有启用接收器的地面上的用户发射定位、导航和定时(PN&T) 消息, 使得他们可以保持准确时间或使用其作为测距信号。

[0018] 在至少一个实施例中, 卫星交联可以跨越具有不同任务的多个星座。

[0019] 在一个或多个实施例中, 卫星交联可以跨越具有(如果不是相同但是) 相似的任务的至少两组卫星(即, 例如具有相似任务的两个卫星区块, 例如铱星和铱星下一代卫星)。

[0020] 在至少一个实施例中, 至少一个卫星可以使用 GPS 卫星求解位置和时间。在某些实施例中, 至少一个卫星可以使用 GPS 和铱星卫星的组合求解位置和时间。

[0021] 在一个或多个实施例中, 所公开的系统包括具有准确定时源的至少一个 LEO 卫星(即, 定时卫星)、能够与之前所述的 LEO 卫星交联以接收准确定时数据的至少一个 LEO 卫星(即, 非定时卫星)以及将准确时间基准关联到 LEO 卫星的时间基准的至少一个地面基准站。

[0022] 在至少一个实施例中, 所公开的系统包括 LEO 卫星星座, 其中 LEO 卫星的子集启用准确定时源(例如, GPS 接收器)(即, 定时卫星), 并且其中星座中的剩余卫星(即, 非定时卫星) 能够与之前的卫星(即, 定时卫星) 以星座内的所有卫星能够接收准确定时数据的方式交联。该系统进一步包括至少一个地面基准站, 其将准确时间基准关联到 LEO 卫星时间基准。

[0023] 在一个或多个实施例中, 所公开的系统包括具有准确定时源的至少一个 LEO 卫星(即, 定时卫星)以及能够与之前所述的 LEO 卫星(即, 定时卫星)交联以接收准确定时数据的至少一个 LEO 卫星(即, 非定时卫星)。该系统进一步包括至少一个地面基准站, 以将准确时间基准关联到 LEO 卫星时间基准和启用用户接收器的设备。

[0024] 在至少一个实施例中, 卫星操作员可以将交联测量值用于卫星操作, 例如以估计卫星振荡器的频率漂移, 并且借助卫星的时间偏差和偏差速率项, 计算将卫星的时间和频率调整到允许范围内的命令。

[0025] 在一个或多个实施例中, 为了最大程度利用精确定时的到达时间(TOA) 测量值的优势, 本发明借助地面基准站进行精确的 TOA 和多普勒测量, 以最佳估计轨道的径向分量, 这可以被用于轨道确定。

[0026] 这些特征、功能和优势可以在本发明的不同实施例中单独实现, 或可以在其他实施例中组合。

附图说明

[0027] 通过下列描述、随附的权利要求以及附图, 本发明的这些特征、方面和优势以及其他特征、方面和优势将变得更好理解, 其中:

[0028] 图 1 示出根据本发明的至少一个实施例的可以由使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的所公开的系统采用的示例卫星星座的示意图。

[0029] 图 2 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的所公开的系统示意图。

[0030] 图 3 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的所公开的方法的流程图。

[0031] 图 4 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和地面站时钟基准进行时间同步的详细方法的流程图。

[0032] 图 5 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和配备有 GPS 接收器的至少一个铯星卫星进行时间同步的详细方法的流程图。

[0033] 图 6 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和地面到达时间 (TOA) 测量值进行时间同步和轨道确定以估计铯星星座星历表的详细方法的流程图。

[0034] 图 7 是本发明的至少一个实施例的示出用交联测距可实现的精度的曲线图。

具体实施方式

[0035] 本文公开的方法和装置提供一种用于卫星星座的先进定时和时间传递的有效系统。具体地,该系统涉及使用交联测距和准确时间源的用于卫星星座的先进定时和时间传递。

[0036] 本发明总体涉及提供改进的定位、导航和用于振荡器校准的定时信息的系统,更具体地,涉及使用能够访问准确时间源的至少一个卫星来校准交联配对的卫星上的本地振荡器。在至少一个实施例中,具有交联能力的卫星子集上的准确时间被用于通过交联卫星的网络分发时间。

[0037] 所公开的系统和方法具有至少 5 个主要特征。第一个主要特征涉及通过交联估计配对卫星的时间。这个特定特征基于在没有地面跟踪的情况下估计卫星星座内的卫星上的准确时间的方法。一组交联联网的卫星可以对它们紧邻联网的卫星对进行准确的到达时间 (TOA) 测量(即,相对于它们自身的空间交通工具 (SV) 振荡器和对时间的知晓)。这样的益处是,其允许联网的卫星对利用 (leverage) 其他卫星的益处,而潜在地没有与类似地配备所有卫星关联的高成本。在本发明的至少一个实施例中,交联测距可以被实现为“正常”交联通信协议的一部分。在一个实施例中,为了更加经济有效,某些卫星可以配备有能够非常准确地确定 GPS 时间和频率的 GPS 接收器,并且 GPS 时间和频率被用于校准所配备的卫星的振荡器。通过这种方式,配备 GPS 的卫星提供了对 GPS 时间的所有测量值的锚定 (anchoring)。可以收集和过滤所有交联测量值,以估计每个 SV 时间相对于 GPS 时间的偏差和偏差速率。这些偏差和偏差速率项可以被地面上的接收器用于将任何 SV 时间校正到 GPS 时间。需要指出的是,代替使用 GPS 信号进行同步,所公开的系统和方法可以采用各种不同的方式来提供同步,包括但不限于,至少一个全球导航卫星系统 (GLONASS) 信号、至少一个伽利略卫星信号、至少一个北斗导航系统信号和 / 或原子钟。此外,需要指出的是,所公开的系统和方法可以用于各种类型的卫星星座,例如 LEO、GEO 和 / 或 MEO 卫星星座。

[0038] 所公开的系统和方法的第二个主要特征涉及交联测量值的二次应用。对于这个特征,同一组交联测量值可以被星座操作员用于所需的卫星操作,例如估计卫星振荡器的频率漂移,并且借助于卫星的时间偏差和偏差速率项,计算命令以将卫星时间和频率调整到可允许的范围内。

[0039] 本发明的第三个主要特征涉及在轨偏差处理,以最小化地面基础设施的要求。对于这个特征,可以以分布方式在交联联网的卫星之间执行 TOA 测量值的处理以估计卫星时

间偏差和偏差速率,从而最小化或整体消除对地面处理的需要,由此在没有地面接触的情况下使所估计的项可用。

[0040] 所公开的系统和方法的第四个主要特征涉及利用 GPS 锚定的卫星的益处的配对卫星。这个主要特征类似于 GPS 锚定的卫星使用其基于 GPS 的时间和频率信息来同步本地振荡器。对于这个特征,剩余的卫星可以通过在这个过程中估计的时间和频率信息同步它们的振荡器。

[0041] 所公开的系统和方法的第五个主要特征涉及轨道确定。对于这个特征,交联 TOA 测量和借助配备 GPS 的卫星的稀疏锚定被用于执行轨道确定。交联 TOA 测量值被处理以确保所有测量的公共时基。交联测量对卫星高度的相对小变化是不敏感的,这是由于用于测量的视线几乎垂直于天底角的高度。为了最大程度利用精确定时的 TOA 测量的优势,本发明借助地面基准站进行精确的 TOA 和多普勒测量,以最佳估计轨道的径向分量。

[0042] 在下列描述中,阐述众多细节是为了对该系统进行更彻底地描述。然而,对于本领域技术人员来说显而易见的是,可以在没有这些具体细节的情况下实施所公开的系统。在其他实例中,众所周知的特征并没有被详细描述,以免不必要地混淆本系统。

[0043] 根据一个或多个实施例的系统和方法被提供,用于通过利用交联和准确时间源来提供准确定时信息,以校准在配对卫星上的本地振荡器,由此改善基于卫星的位置、导航和定时(PN&T)。在至少一个实施例中,配对卫星可以使用这点来进行典型的在轨操作,作为交联协议的一部分。在至少一个实施例中,不止一个交联可以被用于将时间分发到至少两个配对卫星中(例如,一个卫星向在同一平面中的一个在前且一个在后的两个卫星发送信息)。在至少一个实施例中,具有交联能力的卫星子集上的准确时间被用于通过交联卫星的网络分发时间。在至少一个实施例中,这个过程可以被用于在整个星座上分发时间。在至少一个实施例中,所公开的方法可以被进一步用于通过测量距离确定点的绝对位置或相对位置,以便进行轨道确定。

[0044] 在某些实施例中,配对卫星可以被用于向地面上的用户传输 PN&T 消息(即,准确的卫星位置和定时信息),使得他们可以改善时间准确度或使用卫星信号作为测距信号。在至少一个实施例中,通过使用卫星交联和准确定时源,来自至少一个 LEO 卫星的通信信号已经适于向地面上的启用的接收器提供时间和频率。在至少一个实施例中,至少一个 LEO 卫星是铯星卫星(即,来自现有的铯星座)和 / 或铯星下一代卫星。

[0045] 在至少一个实施例中,准确定时源包括被安装在卫星星座内具有交联能力的 LEO 卫星子集上的至少一个 GPS 接收器。在至少一个实施例中,交联可以跨越具有合理的交联兼容性的至少两个不同卫星配置之间。

[0046] 在至少一个实施例中,GPS 接收器被安装在 LEO 星座内的卫星子集上,并被用于通过经由卫星关联的交联传递定时信息来保持那些没有类似安装的定时源的卫星上的更准确时间。

[0047] 在相关的发明中已经示出,来自 LEO 卫星的通信信号可以适于向地面上或接近地面上的位于卫星占位面积(footprint)内的启用的接收器提供时间和频率。这个过程的关键部分是知道在信号传输时卫星相对于某些标准的时间。方便的时间标准是 GPS 时间,然而,估计每个卫星的时间会需要广泛地监测地面上的站点,这取决于卫星上的基准振荡器的性能。在 LEO 卫星上集成 GPS 接收器提供了确定卫星上的位置、速度和时间的最佳方式。

在轨道足够低时, GPS 位置和定时信息的可用性和准确度能够大致与 GPS 接收器处于地球表面上的情况相比拟。然而, 卫星星座的缺点是, 在每个卫星上安装这种接收器会是非常昂贵的, 并且因此可能妨碍实施, 这就是为什么示例性实施例仅星座的子集包括这种昂贵的硬件, 以便最大化架构的性能并且最小化架构的成本。如先前所述的, 交联卫星还具有另一个优点, 即它们允许系统以较少的地面监测站操作, 因为测量值可以通过交联传递。

[0048] 对于具有双向交联通信能力的卫星(例如铱星)星座, 准确的 TOA 测量值可以被用于估计卫星相对于彼此的时间。TOA 测量将允许本地卫星振荡器如何按照以时间为函数的频率误差或相对于 GPS 的时基操作之间的关系。在至少一个实施例中, 来自地面的 TOA 测量值可以被用于定义它们的相对时间与卫星平面的 GPS 时间之间的关系。

[0049] 图 1 示出根据本发明的至少一个实施例的示例卫星星座的示意图 100, 这些卫星可以被所公开的系统用于使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递。在这幅图中, 五个卫星 110、120、130、140 和 150 被示为绕地球 160 的轨道运行。卫星 110、120、140 和 150 是铱星 LEO 卫星, 而卫星 130 是 LEO 铱星下一代卫星。这五个卫星中的一个(卫星 130)被配备有 GPS 接收器, 以从 GPS 卫星(未示出)接收 GPS 信号。因此, 卫星 130 被称为定时卫星。五个卫星中剩余的四个卫星(卫星 110、120、140 和 150)未配备 GPS 接收器, 因此, 它们被称为非定时卫星。五个卫星向星座中它们邻近的卫星发射和接收交联信号。例如, 卫星 130 被示为发射交联信号并且从卫星 110、120 和 140 接收交联信号。

[0050] 图 2 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的所公开的系统示意图 200。在这幅图中, 至少一个 GPS 卫星 210 被示为向第一铱星卫星(Sat1) 220 发射 GPS 信号 215。GPS 信号 215 包含准确时间信息, 并且可选地包含星历表数据。Sat1220 是 LEO 铱星下一代卫星, 其被配备有 GPS 接收器, 因此能够接收 GPS 信号 215。Sat1220 将其从 GPS 信号 215 接收的 GPS 定时信息传递到操作中心 250, 并且可选地, 在某些实施例中, 将其机载振荡器训练(discipline)到 GPS 定时。由于 Sat1220 能够接收准确时间信息, 因此 Sat1220 被称为“定时卫星”。需要指出的是, 在其他实施例中, 定时卫星能够通过除了 GPS 信号之外的方式(例如通过原子钟)获得准确时间信息。

[0051] Sat1220 也被示为向另一个铱星卫星(Sat2) 230 发射第一 K 波段交联测距信号 225。第一 K 波段交联测距信号 225 包含准确时间信息。与 Sat1220 不同, 作为 LEO 铱星卫星的 Sat2230 未配备有 GPS 接收器, 并且不具有准确时间信息。因此, Sat2230 被称为“非定时卫星”。在 Sat2230 接收 K 波段交联测距信号 225 之后, Sat2230 向 Sat1220 发送第二 K 波段交联测距信号 226。一旦 Sat1220 从 Sat2230 接收到第二 K 波段交联测距信号 226, Sat1220 就向 Sat2230 发送测距 K 波段交联信号 227。测距 K 波段交联信号 227 包含交联测距数据(例如, 从第一 K 波段交联信号 225 的发射到第一 K 波段交联信号 225 的接收所经过的时间量, 以及从第二 K 波段交联测距信号 226 的发射到第二 K 波段交联测距信号 226 的接收所经过的时间量)以及由 Sat1220 从 GPS 信号 215 获得的准确时间信息。接着, Sat2230 经由基于地球的馈线链路 240 向地面操作中心 250 无线地并且可选地有线地发射信号 235。信号 235 包含交联测距数据和准确时间信息。

[0052] 一旦操作中心 250 接收到信号 235, 在操作中心 250 处的至少一个处理器通过使用从第一 K 波段交联信号 225 的发射到第一 K 波段交联信号 225 的接收所经过的时间量和 /

或通过使用从第二 K 波段交联测距信号 226 的发射到第二 K 波段交联信号 226 的接收所经过的时间量来计算从 Sat1220 到 Sat2230 的交联测距测量值。此外,在操作中心 250 处的至少一个处理器通过使用交联测距测量值和准确时间信息(其由 Sat1220 从 GPS 信号 215 获得)来计算 Sat1220 和 Sat2230 相对于彼此以及相对于 GPS 时间(即,准确时间)的时间和频率的估计值,从而将 Sat1 和 Sat2 的时间和频率同步。

[0053] 在某些实施例中, Sat1220 可选地向地面基准站 260 发送第一 L 波段定位信号 255。在基准站 260 接收到第一 L 波段定位信号 255 之后,基准站 260 向 Sat1220 发送第二 L 波段定位信号 256。一旦 Sat1220 从基准站 260 接收到第二 L 波段定位信号 256, Sat1220 就向基准站 260 发送测距 L 波段定位信号 257。测距 L 波段定位信号 257 包含:径向测距数据(例如,从第一 L 波段定位信号 255 的发射到第一 L 波段定位信号 255 的接收所经过的时间量,以及从第二 L 波段定位信号 256 的发射到第二 L 波段定位信号 256 的接收所经过的时间量);由 Sat1220 从 GPS 信号 215 获得的准确时间信息和星历表数据;以及可选地,交联测距数据(例如,从第一 K 波段交联信号 225 的发射到第一 K 波段交联信号 225 的接收所经过的时间量,以及从第二 K 波段交联测距信号 226 的发射到第二 K 波段交联信号 226 的接收所经过的时间量)。接着,基准站 260 向地面操作中心 250 无线地和/或有线地发射信号 265。信号 265 包含径向测距数据、准确时间信息、星历表数据以及可选地包含交联测距数据。

[0054] 一旦操作中心 250 接收到信号 265,在操作中心 250 处的至少一个处理器通过使用从第一 L 波段定位信号 255 的发射到第一 L 波段定位信号 255 的接收所经过的时间量和/或从第二 L 波段定位信号 256 的发射到第二 L 波段定位信号 256 的接收所经过的时间量来计算从 Sat1220 到基准站 260 的径向测距测量值。同样,在操作中心 250 处的至少一个处理器通过使用交联测距测量值、准确时间信息、星历表数据和径向测距测量值来计算 Sat1220 和/或 Sat2230 的轨道定位的估计值。

[0055] 需要指出的是,在替换实施例中,交联测距可以仅是单向测距,而不是如图 2 所示的双向测距。同样,在其他实施例中,径向测距可以是单向测距(上行链路测距或下行链路测距),而不是如图 2 所示的双向测距。同样,需要指出的是,在某些实施例中,对于单向测距和双向测距两种情形,发送第一交联测距信号的卫星是定时卫星,而接收第一交联测距信号的卫星是非定时卫星,如图 2 中的情况。在其他实施例中,对于单向测距和双向测距两种情形,发送第一交联测距信号的卫星是非定时卫星,而接收第一交联测距信号的卫星是定时卫星。此外,需要指出的是,对于所公开的系统和方法,可以存在星座中的哪一些卫星是定时卫星并且哪一些卫星是非定时卫星的各种其他不同的组合。

[0056] 此外,需要指出的是,在某些实施例中,执行计算的至少一个处理器位于卫星上,而不是位于地面站(即,地面位置),例如地面操作中心 250。因此得出,至少一个处理器执行计算所需要的数据可以通过各种不同路线(其可以是无线的和/或有线的)被传输到至少一个处理器。同样,需要指出的是,交联信号和径向定位信号可以是除了 K 波段和 L 波段之外的其他频率。此外,在一个或多个实施例中,所公开的系统和方法不采用馈线链路来传递信号。在至少一个实施例中,所公开的系统和方法采用不止一个馈线链路来传递信号。此外,需要指出的是,在其他实施例中,定时卫星可以从至少一个全球导航卫星系统(GLONASS)信号、至少一个伽利略卫星信号、至少一个北斗导航系统信号和/或原子钟接收其定时信息。

对于这些情况,定时卫星将被配备有 GLONASS 接收器、伽利略(Galileo)接收器和 / 或北斗接收器,以便分别接收 GLONASS 信号、伽利略卫星信号和 / 或北斗信号。此外,需要指出的是,在某些实施例中,定时信息不是准确时间,并且定时卫星可以简单地从其自己的内部振荡器获得定时信息。

[0057] 图 3 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和准确时间源为卫星星座进行先进定时和时间传递的所公开的方法 300 的流程图。在方法 300 的开始 310 处,至少一个第一卫星向至少一个第二卫星发射至少一个交联测距信号 320。在一个或多个实施例中,至少一个第一卫星和 / 或至少一个第二卫星是具有同步时间(例如, GPS 时间)的定时卫星。(多个)第二卫星从(多个)第一卫星接收(多个)交联测距信号 330。

[0058] 在(多个)第二卫星接收到(多个)交联测距信号之后,至少一个处理器通过使用从(多个)交联测距信号的发射到(多个)交联测距信号的接收所经过的时间量来计算从(多个)第一卫星到(多个)第二卫星的至少一个测距测量值 340。接着,至少一个处理器通过使用至少一个测距测量值和同步时间来计算(多个)第一卫星和(多个)第二卫星相对于彼此以及相对于同步时间的时间和频率的估计值,从而将(多个)第一卫星和 / 或(多个)第二卫星的时间和频率同步 350。在至少一个处理器计算出时间和频率的估计值之后,该方法结束 360。

[0059] 图 4 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和地面站时钟基准进行时间同步的详细方法 400 的流程图。在该方法 400 的开始 410 处,地面控制将空间交通工具(SV)(例如,铱星卫星)的时间和频率调节到接近 GPS 时间以及最小的漂移 420。在这个步骤(步骤 420)期间,地面控制估计每次地面站(例如,遥测、跟踪以及控制 / 命令(TTAC)地球站)经过时的时间、频率和轨道。接着,地面站使用这个数据以某个或不同时间间隔生成调整 SV 时间和频率的命令(例如,其大约每 12 小时生成命令)。接着,SV 按照命令所指示地调整其数据时钟(即,时间)和其主频率振荡器。数据时钟在多个 L 波段帧上被调整,以便不干扰其他服务。

[0060] 在 SV 时间和频率中的每一个均被调整之后,所有 SV 计算所有有效交联上的 K 波段交联消息突发的到达时间(TOA) 430。TOA 基于由 SV 交联接收器数据时钟为保持数据同步而进行的调整。

[0061] 在所有 SV 计算出 TOA 之后,所有 SV 向地面发送它们的交联 TOA 测量值以便进行处理 440。TOA 测量值可以是原始测量值或通过曲线拟合来表示。在所有 SV 向地面发送交联 TOA 测量值之后,正在跟踪铱星 SV 的地面接收器相对于 GPS 时间进行 TOA 和多普勒测量 450。对于这个步骤(步骤 450),地面接收器具有驱动 GPS 接收器和铱星接收器两者的公共频率标准。TOA 和多普勒测量值与 GPS 时间相关。

[0062] 在地面接收器进行测量之后,地面处理为所有 SV 估计相对于 GPS 时间的时钟偏差和时钟漂移 460。更新速率基于 SV 交联对 TOA 进行二次拟合的速率。集中式处理使用铱星星历表数据来计算存在 TOA 数据的所有 SV 间与 SV-地面联系的飞行时间值。接着,集中式处理从测量值中去除飞行时间值。接着,集中式处理估计 SV 相对于彼此的时钟偏差和漂移,从而在地面接收器跟踪数据可用时将其锚定到 GPS 时间。

[0063] 在地面处理进行估计之后,时钟偏差和漂移估计值被用于生成铱星 SV 时钟校正项 470。在生成校正项之后,该方法 400 结束 480。

[0064] 图 5 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和至少一个配备有 GPS 接收器的铱星卫星进行时间同步的详细方法 500 的流程图。在方法 500 的开始 510 处,地面控制将空间交通工具(SV)(例如,铱星卫星)的时间和频率调整到接近 GPS 时间以及最小的漂移 520。在这个步骤(步骤 520)期间,地面控制估计每次地面站(例如,TTAC 地球站)经过时的 SV 时间、频率和轨道。接着,地面站使用这个数据以某个或不同时间间隔生成调整 SV 时间和频率的命令(例如,其大约每 12 小时生成命令)。接着,SV 按照命令所指示地调整其数据时钟(即,时间)和其主频率振荡器。数据时钟在多个 L 波段帧上被调整,以便不干扰其他服务。

[0065] 在 SV 时间和频率中的每个被调整之后,由 SV 频率振荡器驱动的配备有 GPS 接收器的 SV 各自确定它们的位置、速度和时间(PVT),并计算它们相对于 GPS 时间的振荡器时钟偏差和漂移 530。接着,所有 SV 计算在所有有效交联上的 K 波段交联消息突发的到达时间(TOA) 540。TOA 基于由 SV 交联接收器数据时钟为保持数据同步而进行的调整。

[0066] 在所有 SV 计算出 TOA 之后,所有 SV 向地面发送它们的交联 TOA 测量值,以便进行处理 550。TOA 测量值可以是原始测量值或通过曲线拟合来表示。配备有 GPS 接收器的 SV 向地面发送它们计算出的时钟偏差和漂移,以便进行处理。

[0067] 在所有 SV 向地面发送它们的 TOA 测量值以便进行处理之后,地面处理为所有 SV 估计相对于 GPS 时间的时钟偏差和时钟漂移 560。集中式处理使用铱星星历表数据来计算存在 TOA 数据的所有 SV 间与 SV-地面联系的飞行时间值。接着,集中式处理从测量值中去除飞行时间值。接着,集中式处理估计 SV 相对于彼此的时钟偏差和漂移,从而使用 SV 的基于 GPS 的振荡器时钟偏差和漂移测量值将其锚定到 GPS 时间。

[0068] 在地面处理进行估计之后,时钟偏差和漂移估计值被用于生成铱星 SV 时钟校正项 570。在生成校正项之后,该方法 500 结束 580。

[0069] 图 6 是根据本发明的至少一个实施例的使用交联测距和地面到达时间(TOA)测量值来估计铱星星座星历表以便进行时间同步和轨道确定的详细方法 600 的流程图。在方法 600 的开始 610 处,地面控制将空间交通工具(SV)(例如,铱星卫星)的时间和频率调整到接近 GPS 时间以及最小的漂移 620。在这个步骤(步骤 620)期间,地面控制估计每次地面站(例如,TTAC 地球站)经过时的 SV 时间、频率和轨道。接着,地面站使用这个数据以某个或不同时间间隔生成调整 SV 时间和频率的命令(例如,其大约每 12 小时生成命令)。接着,SV 按照命令所指示地调整其数据时钟(即,时间)和其主频率振荡器。数据时钟在多个 L 波段帧上被调整,以便不干扰其他服务。

[0070] 在 SV 时间和频率中的每一个被调整之后,由 SV 频率振荡器驱动的配备有 GPS 接收器的 SV 均确定它们的位置、速度和时间(PVT),并计算它们相对于 GPS 时间的振荡器时钟偏差和漂移 630。接着,所有 SV 计算在所有有效交联上的 K 波段交联消息突发的到达时间(TOA) 640。TOA 基于由 SV 交联接收器数据时钟为了保持数据同步而进行的调整。

[0071] 在所有 SV 计算出 TOA 之后,所有 SV 向地面发送它们的交联 TOA 测量值,以便进行处理 650。TOA 测量值可以是原始测量值或通过曲线拟合来表示。配备有 GPS 接收器的 SV 向地面发送它们计算出的时钟偏差和漂移,以便进行处理。

[0072] 在所有 SV 向地面发送交联 TOA 测量值之后,正在跟踪铱星 SV 的地面接收器进行相对于 GPS 时间的 TOA 和多普勒测量 660。对于这个步骤(步骤 660),地面接收器具有驱动

GPS 接收器和铯星接收器两者的公共频率标准。TOA 和多普勒测量值与 GPS 时间相关。

[0073] 在地面接收器进行测量之后,地面处理为所有 SV 估计相对于 GPS 时间的时钟偏差和时钟漂移 670。集中式处理使用铯星星历表数据来计算 TOA 数据所用于的所有 SV 间与 SV-地面联系的飞行时间值。接着,集中式处理从测量值中去除飞行时间值。接着,集中式处理估计 SV 相对于彼此的时钟偏差和漂移,从而使用铯星 SV 的基于 GPS 的振荡器时钟偏差和漂移测量值将其锚定到 GPS 时间。

[0074] 在地面处理进行估计之后,地面处理使用交联和下行链路(即,径向)TOA 测量值来更新铯星 SV 轨道估计 680。接着,铯星 SV 时钟偏差和漂移估计值被用于生成铯星 SV 时钟校正项 685。在生成校正项之后,铯星 SV 轨道估计值被用于生成 SV 星历表 690。在生成 SV 星历表之后,该方法 600 结束 695。

[0075] 图 7 是示出根据本发明的至少一个实施例的用交联测距可实现的准确度的曲线图。该曲线图示出以时间(水平刻度,秒(s))为函数的范围误差(垂直刻度,以米为(m)单位)。这个准确度提供了~20 纳秒的单个交联定时准确度和~6 米的范围准确度。铯星卫星的整个网络被预期具有小于 40 纳秒的定时误差和小于 12 米的范围误差。冗余测量可以被使用以进一步降低这些误差。

[0076] 虽然本文已经公开了某些说明性实施例和方法,但是从前述公开对本领域技术人员显而易见的是,在没有偏离本发明的真实精神和范围的情况下,可以对这些实施例和方法进行各种变化和修改。存在本发明的许多其他示例,它们各自仅在细节上不同于其他示例。因此,旨在本发明应当仅被限于随附的权利要求和适用法律的规则和原理所要求的范围。

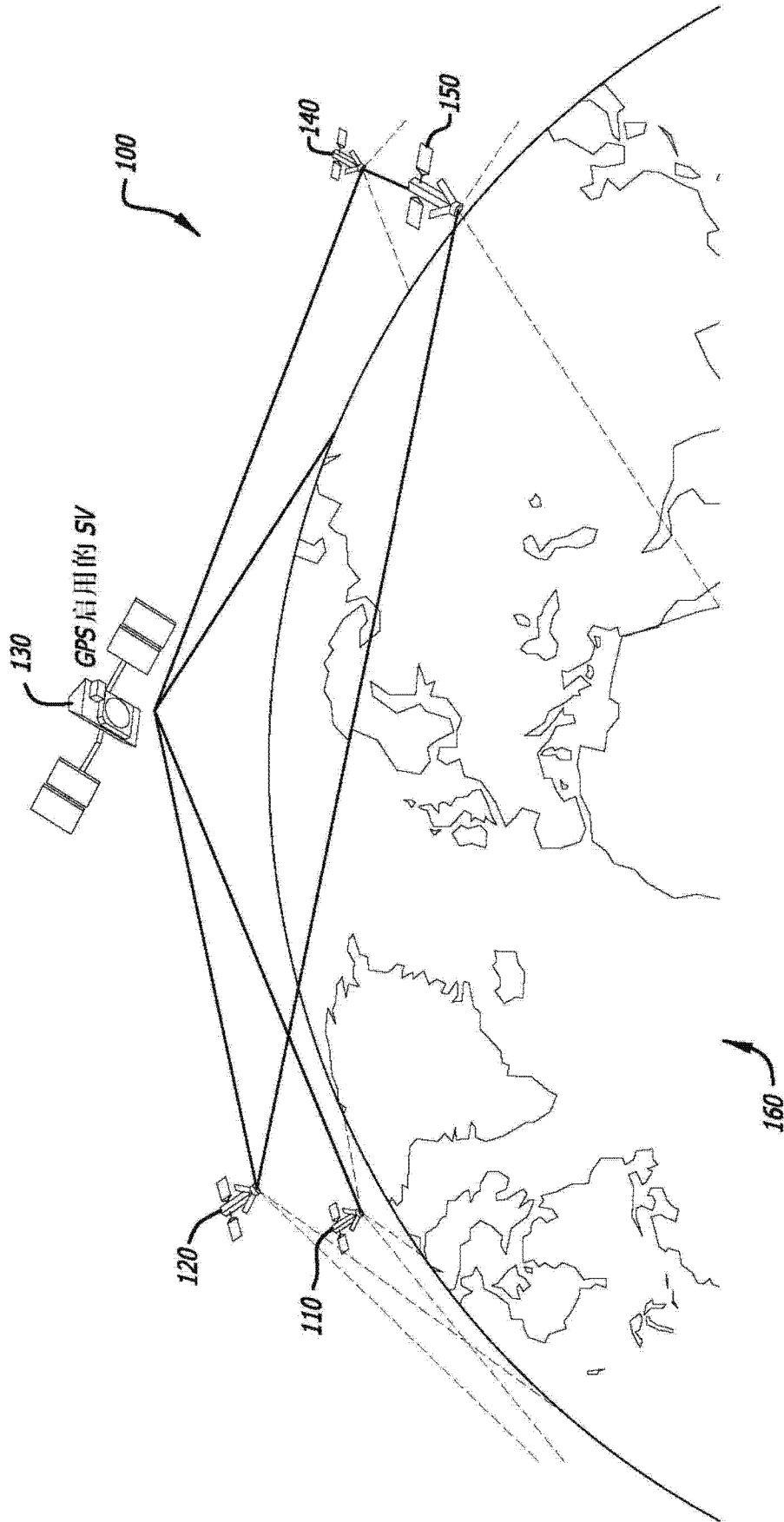


图 1

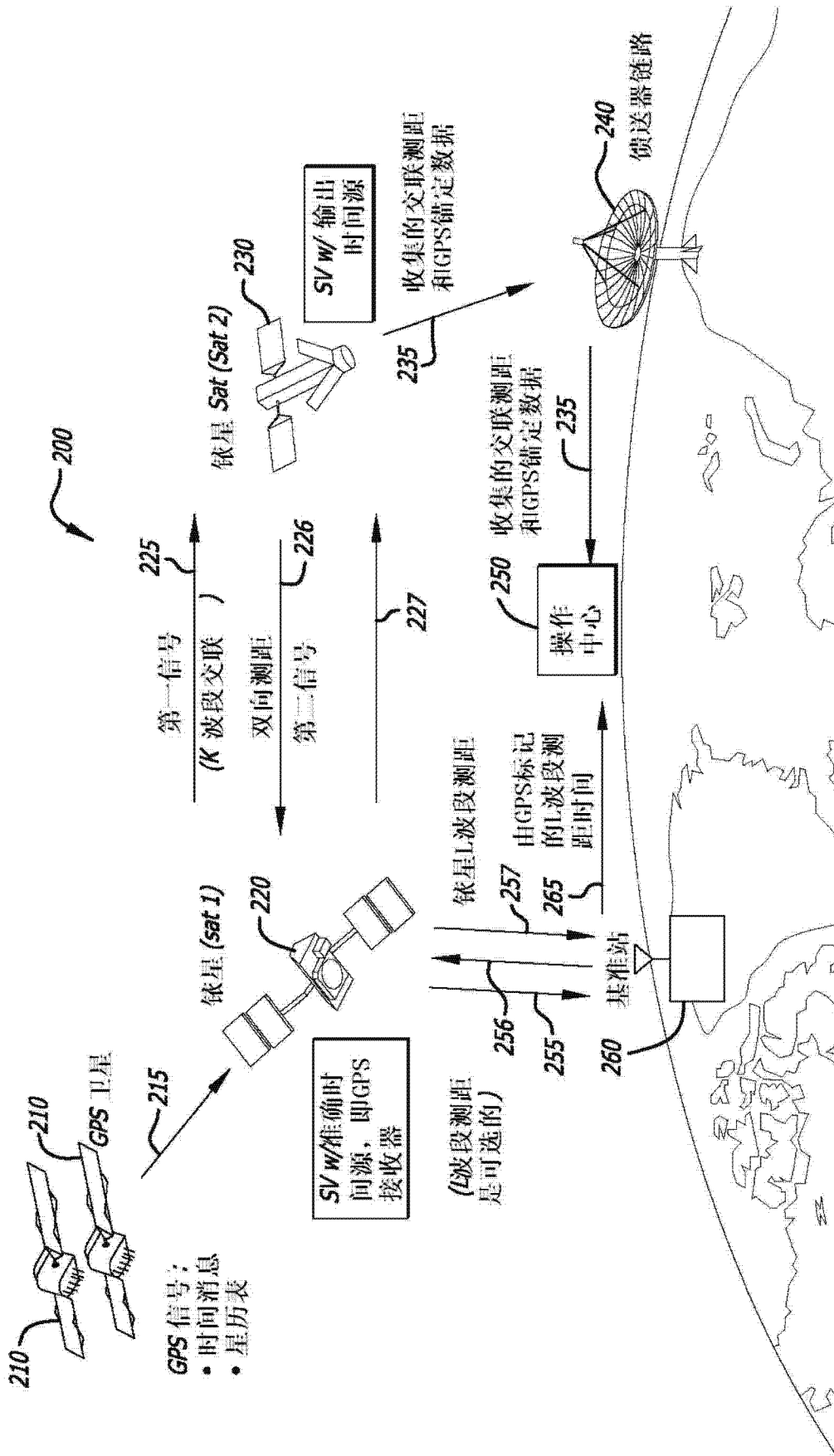


图 2

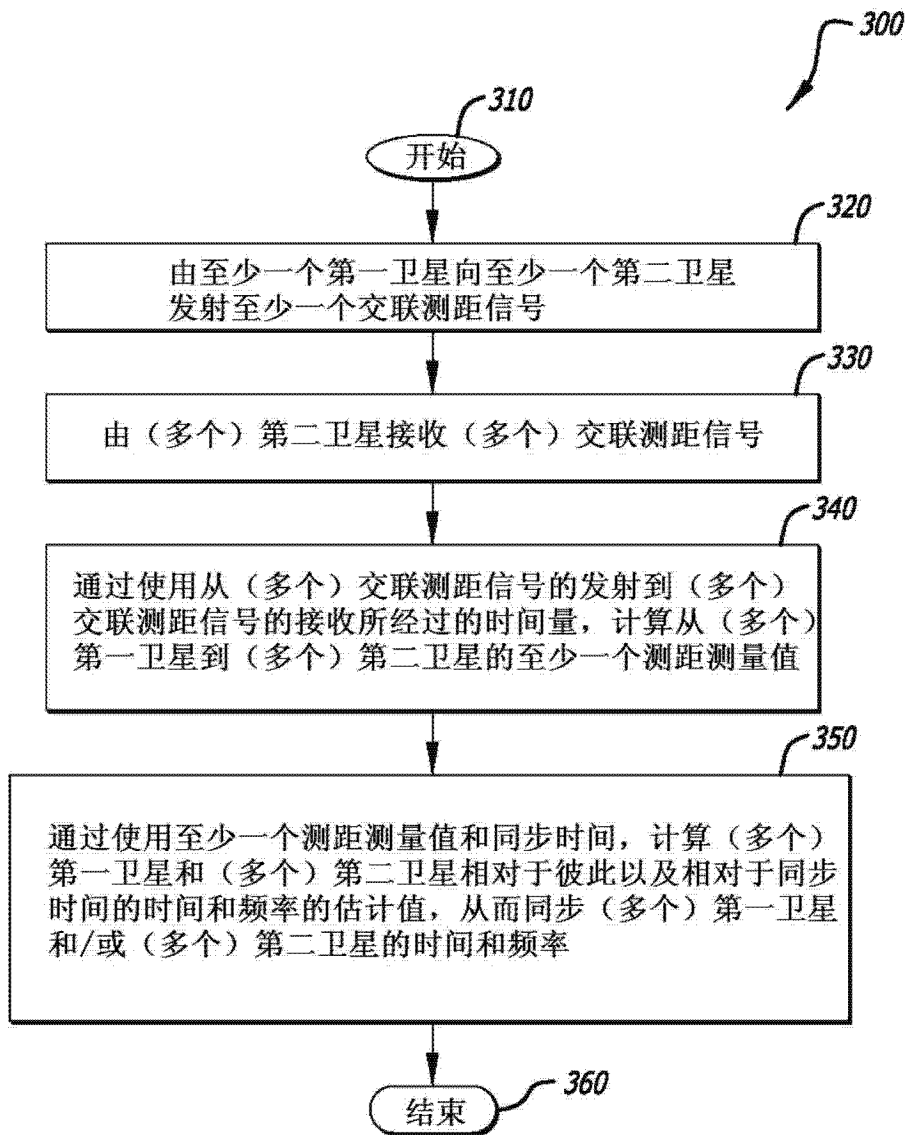


图 3

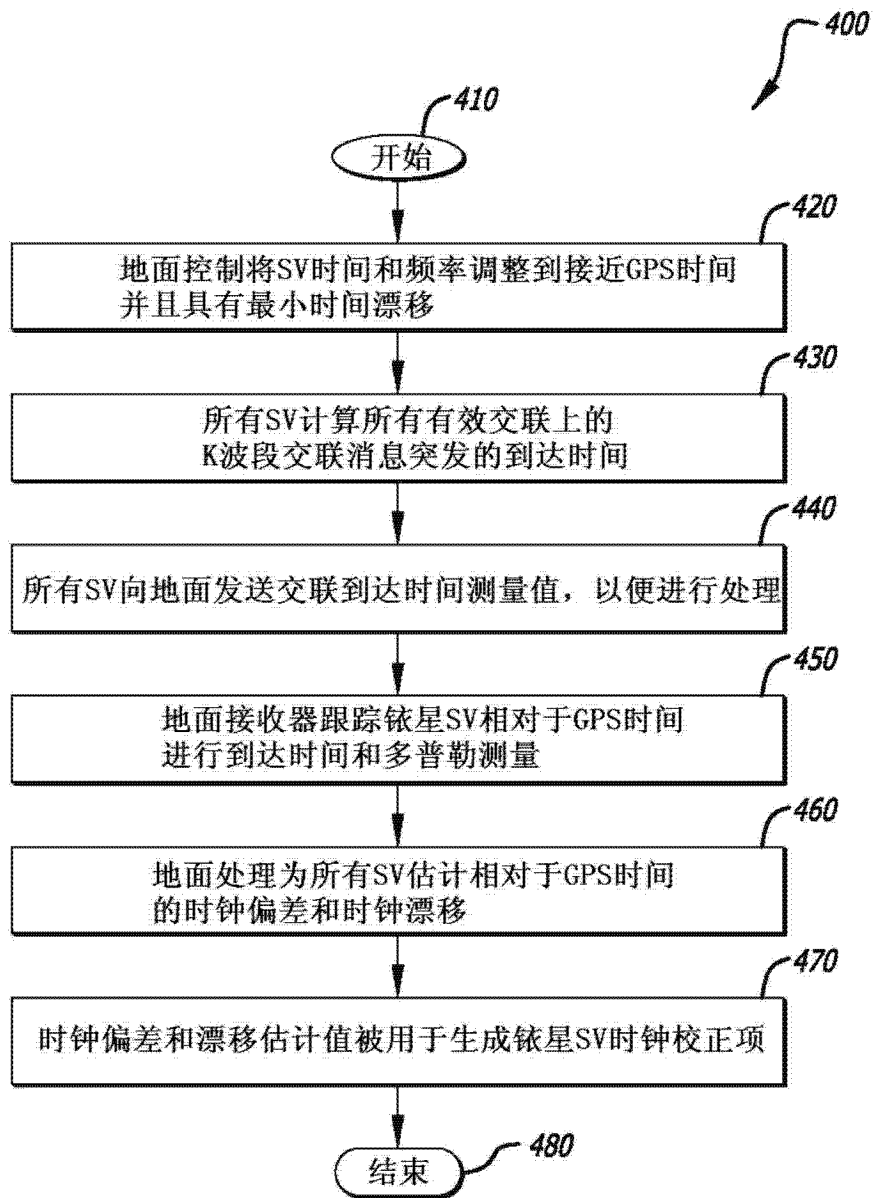


图 4

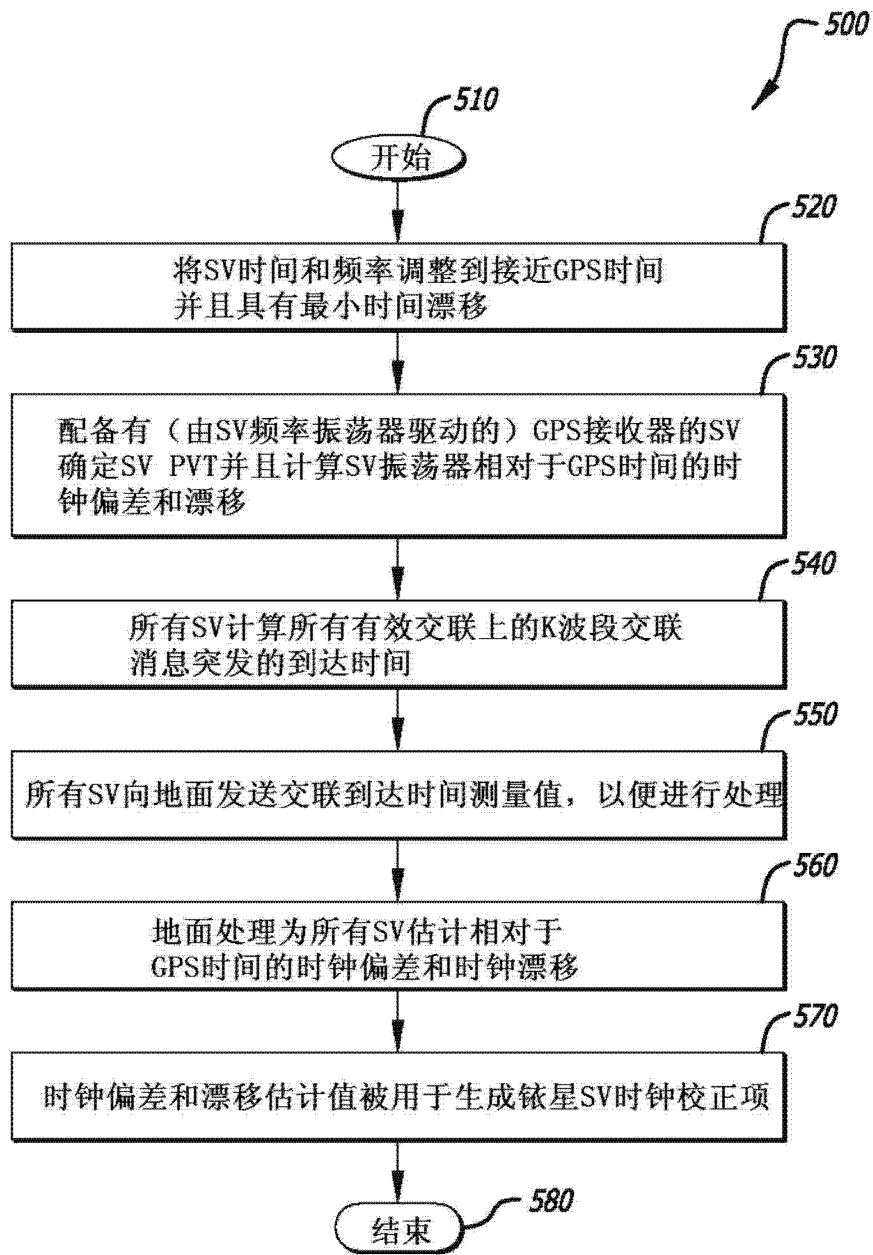


图 5

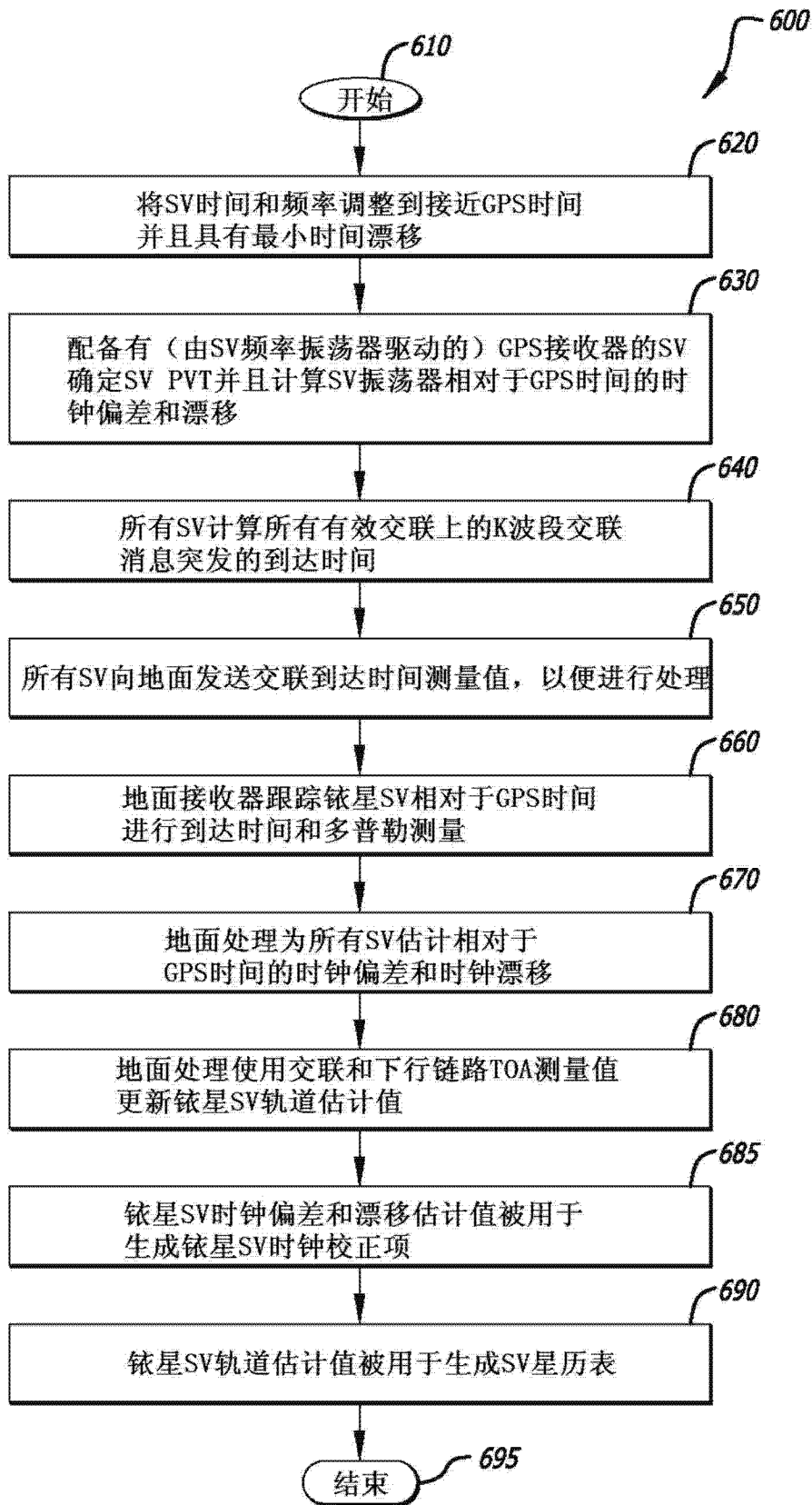


图 6

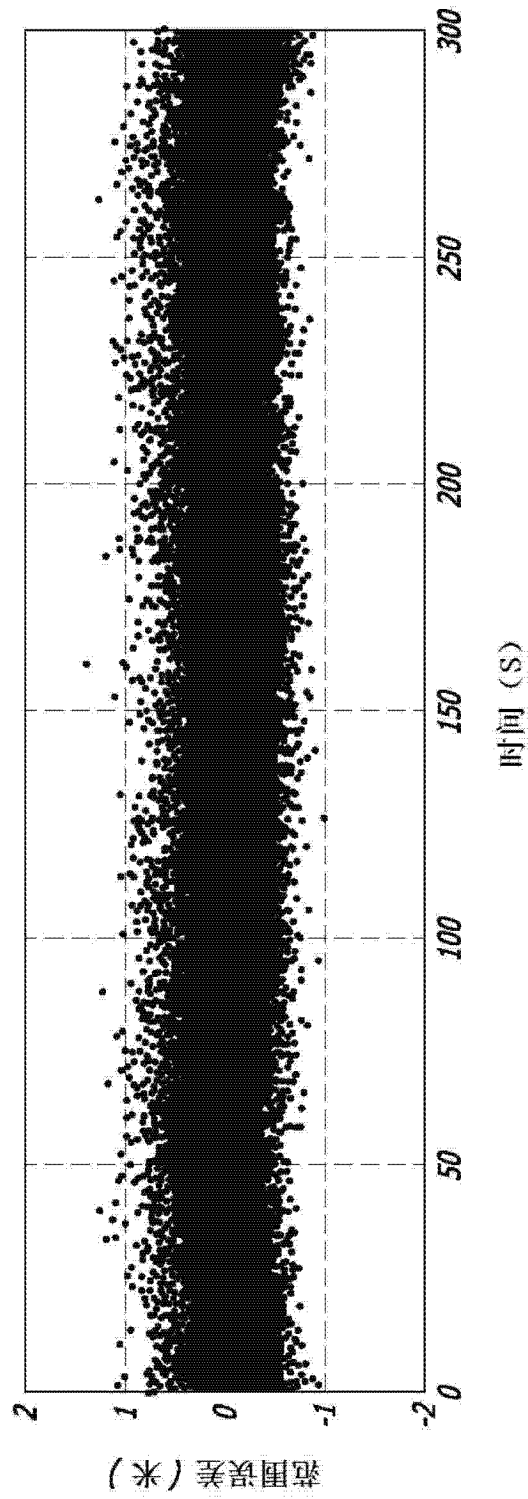


图 7