



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104656106 B

(45)授权公告日 2018.12.21

(21)申请号 201410858154.4

US 2005015680 A1,2005.01.20,

(22)申请日 2014.11.24

Todd Walter 等.Future Architectures to Provide Aviation Integrity.

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104656106 A

《PROCEEDINGS OF THE 2008 NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION》.2008,

(43)申请公布日 2015.05.27

P.B.Ober.Accuracy and Integrity of Nonlinear Systems.《PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION》.1999,

(30)优先权数据
1302697 2013.11.22 FR

Todd Walter 等.Vertical Protection Level Equations for Dual Frequency SBAS.《PROCEEDINGS OF THE 23RD INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION》.2010,

(73)专利权人 泰勒斯公司
地址 法国塞纳河畔讷伊

(72)发明人 M·范登波斯切

(74)专利代理机构 北京戈程知识产权代理有限公司 11314
代理人 程伟 王锦阳

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

审查员 郝霏霏

(56)对比文件
CN 101971047 A,2011.02.09,

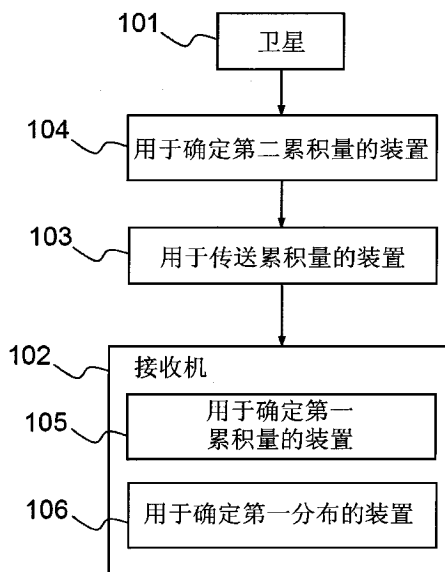
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

用于确定卫星定位接收机的位置误差的系统和方法

(57)摘要

一种用于确定卫星定位接收机的位置误差的系统和方法,通过至少一个卫星发送所述信号,所述系统包括接收机,所述接收机的位置被称为第一位置并且受被称为第一误差的误差影响,具有被称为第一分布的分布;第一装置,用于确定所述卫星(多个卫星)的位置,被称为第二位置;用于将第一确定装置的第二位置传送至接收机的装置,所述第一分布通过大于二阶的至少一个第一累积量定义。



1. 一种用于确定定位信号接收机 (102) 的位置误差分布的系统, 所述信号通过至少一个卫星进行发送, 所述系统包括:

- 所述接收机 (102), 所述接收机 (102) 的位置被称为第一位置, 并且受被称为第一误差的误差影响, 所述第一误差具有被称为第一分布的分布;

- 第一确定装置 (104), 用于确定所述卫星的至少一个位置, 其被称为第二位置;

- 传送装置 (103), 用于将来自所述第一确定装置的所述第二位置传送至所述接收机;

所述系统的特征在于

- 通过大于二阶的至少一个第一累积量定义所述第一分布;

- 所述第一确定装置进一步适用于确定大于二阶的至少一个第二累积量, 其表示关于所述第二位置的所述第二误差的第二分布;

- 所述传送装置 (103) 进一步适用于将来自所述第一确定装置的所述第二累积量传送至所述接收机;

- 以及在于所述接收机包括:

- 第二确定装置 (105), 基于所述第二位置、所述第二累积量和用于根据在所述接收机和所述卫星之间的距离来确定接收机的所述第一位置的模型, 来确定所述第一累积量; 以及

- 第三确定装置 (106), 用于根据所述第一累积量来确定所述第一分布。

2. 根据权利要求1所述的用于确定定位信号接收机 (102) 的位置误差分布的系统, 其中所述第二确定装置 (105) 适用于将所述模型应用于所述第二累积量或所述第一累积量和所述第二累积量。

3. 根据权利要求1或2所述的用于确定定位信号接收机 (102) 的位置误差分布的系统, 其中所述第一确定装置进一步适用于确定第一到第五阶的第二累积量, 并且其中所述第二确定装置进一步适用于确定第一到第五阶的第一累积量。

4. 根据权利要求1所述的用于确定定位信号接收机 (102) 的位置误差分布的系统, 其中所述第三确定装置进一步适用于使用埃奇沃斯展开式。

5. 一种用于确定定位信号接收机 (102) 的位置误差分布的方法, 所述信号通过至少一个卫星进行发送, 所述方法包括:

- 接收步骤, 包括通过接收机 (102) 接收卫星定位信号, 所述接收机的位置被称为第一位置并且受被称为第一误差的误差影响, 所述第一误差具有被称为第一分布的分布;

- 第一确定步骤, 包括通过第一确定装置 (104) 确定所述卫星的至少一个位置, 其被称为第二位置;

- 传送步骤, 包括通过传送装置 (103) 将来自所述第一确定装置的所述第二位置传送至所述接收机;

所述方法的特征在于

- 通过大于二阶的至少一个第一累积量定义所述第一分布;

- 所述第一确定步骤进一步包括确定大于二阶的至少一个第二累积量, 其表示关于所述第二位置的所述第二误差的第二分布;

- 所述传送步骤还包括将来自所述第一确定装置的与所述第二位置相关联的所述第二累积量传送至所述接收机;

• 所述方法还包括：

° 第二确定步骤，包括通过所述接收机的第二确定装置，基于所述第二位置、所述第二累积量和用于根据在所述接收机和所述卫星之间的距离来确定所述接收机的所述第一位置的模型，来确定所述第一累积量；以及

° 第三确定步骤，包括通过所述接收机的第三确定装置，根据所述第一累积量来确定所述第一分布。

6. 根据权利要求5所述的用于确定定位信号接收机(102)的位置误差分布的方法，其中所述第二确定步骤包括将所述模型应用于所述第二累积量或所述第一累积量和所述第二累积量。

7. 根据权利要求5或6所述的用于确定定位信号接收机(102)的位置误差分布的方法，其中所述第一确定步骤包括确定第一到第五阶的第二累积量，并且其中所述第二确定步骤包括确定第一到第五阶的第一累积量。

8. 根据权利要求5所述的用于确定定位信号接收机(102)的位置误差分布的方法，其中所述第三确定步骤包括使用埃奇沃斯展开式。

用于确定卫星定位接收机的位置误差的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及卫星定位的领域。更具体地,其涉及当使用卫星定位系统时,接收机产生的位置误差的确定。这些系统例如被实施在用于改善由GPS(Global Positioning System,全球定位系统)提供的定位精确度的系统中。这些系统还被称为定位加强系统。它们还被称为SBAS,Satellite-Based Augmentation Systems(星基增强系统)的首字母缩略词。系统EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service(欧洲同步卫星导航覆盖服务)的首字母缩略词)是另一种已知的GPS增加强系统。

背景技术

[0002] 知道接收机的该位置误差能够确定出一个量,对此接收机呈现大于由标准制定的阈值的可能性。知道了该量,因此能够例如确定出两个飞行器不应相互接近的最小距离。具体而言,知道该信息对于整合服务(integrity service)是必需的。当导航系统不再能与在用户风险方面的必需性能一起使用时,术语整合服务指的是向飞行员提供警报的系统的容量。

[0003] 例如,这些错误确定系统在航行器中可被使用,在陆地车辆或船舶中同样可被使用。

[0004] 在现有技术中这样的系统是已知的,其中表示卫星定位,和穿过电离层的时间的信息,以及表示关于这些位置和这些通过时间的误差的信息被发送到不同接收机。知道该信息能够确定接收机的位置误差,其也被称为由接收机定位的目标位置的整合性。

[0005] 在现有技术中,已知表示误差的信息为提交的误差分布的边际标准偏差(marginal standard deviation) (σ_i)。因此,通过以 $N(0, \sigma_i^2)$ 形式的中心高斯定律(centred Gaussian law)来对误差分布建模。然而,以中心高斯定律形式建模的误差分布是很粗略的,且造成采用安全裕度的需要,在一些情况下安全裕度是很大的。该情况具体为,当结合边际标准偏差(σ_i)时,所使用的每个卫星的位置误差必须较小,以能够足够精确地实施要执行的策略。在这种情况下,为了遮盖基于中心高斯的适合模型的缺乏而选择裕度太过频繁,使得服务是不可用的。其还可示出中心高斯的使用从数学角度来说只有可假设误差以单峰和对称方式分布才是正确的,其不能保证是一般规则。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于通过提供一种用于确定接收机位置误差的系统来改善这些缺点,其精确度相对于基于卫星位置误差分布的边际标准偏差的交换的系统的精确度来说有所增加。

[0007] 根据本发明的一个方面,提供一种用于确定定位信号接收机的位置误差分布的系统,所述信号通过至少一个卫星进行发送。所述系统包括:

[0008] • 接收机,所述接收机的一个位置被称为第一位置,并且受被称为第一误差的误差影响,具有被称为第一分布的分布;

[0009] • 第一装置,用于确定卫星或者每个卫星或者至少一个卫星的至少一个位置,其被称为第二位置;

[0010] • 用于将第一确定装置的第二位置或者每个第二位置或者至少一个第二位置传送到所述接收机。

[0011] 所述系统的特征在于

[0012] • 通过大于二阶的至少一个第一累积量定义所述第一分布;

[0013] • 第一装置进一步适用于确定大于二阶的至少一个第二累积量,其表示关于所述第二位置的所述第二误差的第二分布;

[0014] • 传送装置进一步适用于将第一确定装置的第二累积量或者每个第二累积量或者至少一个第二累积量传送到所述接收机;

[0015] • 以及在于所述接收机包括:

[0016] ◦ 第二装置,基于第二位置、第二累积量和用于根据在接收机和卫星(多个卫星)之间的距离来确定接收机的第一位置的模型,来确定第一累积量或者每个第一累积量或者至少一个第一累积量;以及

[0017] ◦ 第三装置,用于根据所述第一累积量来确定第一分布。

[0018] 大于二阶的第一和第二累积量还可以指的是表达为“累积量的系列”或者“累积量的集合”。

[0019] 通过累积量生成函数 $g(t)$ 来定义随机变量 X 的累积量 κ_n :

$$[0020] \quad g(t) = \ln((e^{itX})_X) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(it)^n}{n!} \kappa_n$$

[0021] 在该等式中, $(e^{itX})_X$ 表示第 n 阶累积量的随机变量 X 和 κ_n 的数学期望值。

[0022] 因此所述系统能够向接收机传送表示卫星位置误差分布的信息项的卫星信号。而且,该信息的使用使得能够通过利用卫星定位系统确定接收机产生的位置误差。

[0023] 而且,累积量的使用使得能够向用户传送表示卫星位置误差分布的信息,其比现有技术中已知的系统更加可靠。这些累积量的使用还避免了在位置中采用过多的裕量,这是由于两个原因:

[0024] -其能够更具体地描述定位信号源的位置误差分布/定位信号源的同步误差分布,以及能够改进由接收机计算的定位信息的精确度。整合风险的容许区域可比现有解决方案的小。

[0025] -其能够避免必须利用错误的数学基础形成假设,且其包含通过结合中心高斯 $N(0, \sigma_i^2)$ 来对每个卫星的位置建模提交的误差,而分布不是单峰的或对称的。

[0026] 换句话说,本发明所允许的分布形式比中心高斯分布更精确。然而,该生成形式可仅用累积量的几个参数来描述。因此可传送关于卫星的第二位置误差的概率分布的更加具体的信息。

[0027] 该精确的信息使得能够以尽可能可靠的方式对接收机的第一位置误差进行建模。因此,不必采用较大的安全裕量来保证安全性,且可使用定位系统以执行策略,其中对精度的要求是较高的。

[0028] 根据技术特征,第二确定装置适用于将模型应用于第二累积量(多个累积量)。

[0029] 根据技术特征,所述第一确定装置进一步适用于确定第一到第五阶的所述第二累

积量,并且其中所述第二确定装置进一步适用于确定第一到第五阶的所述第一累积量。

[0030] 累积量的数目越大,建模将越精确,但累积量的数目越大,对于实验测量是越复杂的。

[0031] 根据技术特征,第三装置进一步适用于使用埃奇沃斯展开式。

[0032] 本发明还涉及一种用于确定定位信号接收机的位置误差分布的方法,所述信号通过至少一个卫星进行发送。所述方法包括:

[0033] • 接收步骤,通过接收机接收所述卫星定位信号,所述接收机的位置被称为第一位置并且受被称为第一误差的误差影响,具有被称为第一分布的分布;

[0034] • 第一确定步骤,通过第一确定装置确定卫星或者每个卫星或者至少一个卫星的至少一个位置,其被称为第二位置;

[0035] • 传送步骤,通过传送装置将第一确定装置的第二位置或者每个第二位置或者至少一个第二位置传送至所述接收机。

[0036] 所述方法的特征在于

[0037] • 通过大于二阶的至少一个第一累积量定义所述第一分布;

[0038] • 所述第一确定步骤进一步适用于确定大于二阶的至少一个第二累积量,其表示关于第二位置的第二误差的第二分布;

[0039] • 所述传送步骤进一步适用于将所述第一确定装置的与所述第二位置相关联的第二累积量或者每个第二累积量或者至少一个第二累积量传送至所述接收机;

[0040] • 此外所述方法包括:

[0041] ○ 第二确定步骤,通过所述接收机的第二确定装置,基于第二位置、第二累积量和用于根据在接收机和卫星(多个卫星)之间的距离来确定所述接收机的第一位置的模型,来确定第一累积量或者每个第一累积量或者至少一个第一累积量;以及

[0042] ○ 第三确定步骤,通过所述接收机的第三确定装置,根据第一累积量来确定第一分布。

[0043] 根据技术特征,所述第二确定步骤适用于将所述模型应用于所述第二累积量(多个累积量)。

[0044] 根据技术特征,所述第一确定步骤进一步适用于确定第一到第五阶的所述第二累积量,并且其中所述第二确定步骤进一步适用于确定第一到第五阶的所述第一累积量。

[0045] 根据技术特征,所述第三确定步骤另进一步适用于使用埃奇沃斯展开式。

附图说明

[0046] 通过阅读以非限定性示例方式给出的详细描述,将更好地理解本发明,且其他优点将变得明显。这些详细描述利用以下附图进行,其中:

[0047] 图1示出了本发明所示的系统的第二实施方案。

具体实施方式

[0048] 图1示出的系统包括卫星101和卫星信号接收机102。所述系统使接收机能够确定与接收机的第一位置相关联的第一误差的分布。通过大于二阶的累积量的至少一个集合来建模该第一误差的分布。

[0049] 为了执行该确定,所述系统能够传送(通过传送装置103)第二累积量,该第二累积量表示第二分布,而第二分布表示关联于卫星的第二位置的第二误差。通过第一确定装置104执行这些元素的确定。

[0050] 使用第二确定装置105,通过接收机来确定第一累积量。

[0051] 最后,第三装置106能够根据第一累积量来确定第一分布。

[0052] 该建模基于关联于卫星位置的误差概率密度的埃奇沃斯(Edgeworth)展开式的使用。

[0053] 通过引入函数 $\varphi(t) = \langle e^{itx} \rangle_x$ 来确定根据概率密度 f (标记为 $X \sim f$) 分布的随机变量 X 的累积量。

[0054] • e 表示指数函数

[0055] $\langle \square \rangle_x$ 表示 X 的平均值

[0056] • i 为虚数单位 ($i^2 = -1$)。

[0057] 应注意的是,根据指数加权,该函数的展开为包括 $f: \mu_n = \langle X^n \rangle$ 的第 n 阶矩的系列。

$$[0058] \quad \varphi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(it)^n}{n!} \mu_n$$

[0059] 还可执行函数 $\ln(\langle e^{ixt} \rangle_x)$ 的展开,在这种情况下则得到系数 κ_n 的集合,其以如下方式定义:

$$[0060] \quad \ln(\langle e^{ixt} \rangle_x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(it)^n}{n!} \kappa_n$$

[0061] 因此,每个 κ_n 被定义为分布 f 的第 n 阶累积量。两个第一累积量是分布的平均值和方差。

[0062] 而且,如果 X 和 Y 分别为根据 f 和 g 分布的两个随机变量,且其第 n 阶累积量分别为 $\kappa_n[f]$ 和 $\kappa_n[g]$,则关联于随机变量 $Z = pX + qY$ 的分布 h 的第 n 阶累积量通过以下给出:

$$[0063] \quad \kappa_n[h] = p^n \kappa_n[f] + q^n \kappa_n[g]$$

[0064] 此外,已知由 m 个随机变量的结合得到的任意分布可由展开式表示,所述展开式被称为埃奇沃斯展开式且具有如下形式:

$$[0065] \quad F_n(x) = \left[1 + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{1}{n^{j/2}} P_j(\kappa_1, \dots, \kappa_j, x) \right] \Psi(x)$$

[0066] 在该等式中,变量如下:

[0067] $-\Psi(x)$ 为根据选择的参数函数(例如高斯)。

[0068] $-\kappa_p$ 为轨道误差和/或时钟误差的分布的第 p 阶累积量。

[0069] $-P_j$ 为 x 的 $3j$ 阶多项式,其涉及在其系数中的 j 个第一 κ_p ,且其表达式取决于 $\Psi(x)$ 的选择。

[0070] $-n$ 表示为了得到 x 所组合的变量的数目。

[0071] 而且,已知该展开式在 n 趋近于 ∞ 时收敛。

[0072] 基于上述数学概念,本发明提供接收机的第一位置误差的确定如下:

[0073] • 传送装置103以该分布的大于二阶的累积量的形式提供关于卫星的位置误差和

同步误差的分布。对 N_s 定位信号源的每一个执行该传送(例如发射符合GPS标准的信号的卫星)

[0074] • 利用在天线和用于定位的 N_s 信号源之间产生的(伪)距离 ρ_j 的测量的线性组合,接收机确定其位置和参考时间

[0075] • 根据传送的累积量 $\kappa_{i,j}$,接收机确定关联于其位置的误差的第一分布的 m 个第一累积量(K_n),使用以下的关系:

$$[0076] \quad K_{n,p} = \sum_{j=1}^{N_s} (M_{p,j})^n \kappa_{n,j}$$

[0077] 用 $n=1, \dots, m$ 表示累积量的阶, j 表示卫星, p, j 表示矩阵 $M_{p,j}$ 的系数,其能够基于在接收机和卫星之间的距离确定接收机的第二位置, p 表示已确定了累积量的方向(x, y 或 z)。

[0078] 在一种实施方案中,可使用最小二乘法来确定矩阵 $M_{p,j}$ 。在该实施方案中,在接收机和卫星之间的距离的矢量以如下方式进行建模:

$$[0079] \quad \rho = \hat{G} X + \varepsilon$$

[0080] 在该等式中, $\rho = [\rho_1 \dots \rho_{N_s}]$ 为在接收机和卫星之间的距离的矢量, $\varepsilon = [\varepsilon_1 \dots \varepsilon_{N_s}]$ 为在接收机和卫星之间的距离误差的矢量,以及 $X = [x, y, z, \Delta t_{usr}]$ 为第二位置和接收机时钟偏移的矢量,以及

$$[0081] \quad \hat{G} = \begin{bmatrix} e_x e_{1j} & e_y e_{1j} & e_z e_{1j} & c \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_x e_{N_s j} & e_y e_{N_s j} & e_z e_{N_s j} & c \end{bmatrix}$$

[0082] 为问题的观测矩阵。在矩阵 \hat{G} 中, c 表示光速, $e_x e_{j}$ 为方向 x 上的矢量和朝向卫星 j 的矢量之间的角度的余弦。

[0083] 利用最小二乘法,在接收机第二位置和接收机和卫星之间距离之间的关系可写成 $X_{est} = (\hat{G}^t \hat{C}^{-1} \hat{G})^{-1} \hat{G}^t \hat{C}^{-1} \rho$ 。

[0084] 在该关系中, $\hat{C} = \langle \varepsilon \varepsilon^t \rangle$ 为误差校正矩阵。那么在该实施方案中,可确定 $M = (\hat{G}^t \hat{C}^{-1} \hat{G})^{-1} \hat{G}^t \hat{C}^{-1}$ 。

[0085] • 利用缩短至第 m 阶的涉及第一累积量 K_n 的埃奇沃斯展开式,确定第一分布 F ,其接近关联于接收机定位的第一误差分布。

[0086] 最后,该第一误差分布可用于确定信任区域(即,在该区域中,发现接收机的概率大于或等于确定的阈值)的大小。可以发现该信任区域通过下列方程进行求解。

$$[0087] \quad \int_{-\infty}^{-R_p} F(x) dx + \int_{R_p}^{\infty} F(x) dx = P_{HMI}$$

[0088] 应当对空间中的每个方向(竖直的、水平的)执行该确定。 P_{HMI} 表示未整合的容许概率,以保证 R_p 小于容忍区域的大小(例如在民用导航中使用的警报半径)。

[0089] 还可直接地发现在必要容许区域(R_a)外部的风险,为此,可使用以下等式:

$$[0090] \quad \int_{-\infty}^{-R_a} F(x) dx + \int_{R_a}^{\infty} F(x) dx < P_{HMI}$$

[0091] 如呈现于本发明的系统在使用前需要某些先决条件。具体而言,需要:

[0092] • 接收机和卫星(多个卫星)必须预先知道用于确定第一分布的展开式的阶。

[0093] • 第二累积量的计算必须以这样的方式完成:其估算的信任水平与整个系统所需的未整合需求概率相一致。还需要产生的近似值保持稳健性(conservative),即其保证累积量未被低估。

[0094] • 最后,需要同样被卫星和接收机预先知道的参考函数 $\Psi(x)$ 。

[0095] 在另一种系统的实施方案中,使用高达4阶或5阶的累积量的信息,其与每个卫星的位置误差相关联,和/或与每个卫星的信号穿过电离层的通过时间的误差相关联。

[0096] 该误差分布的计算基于长期执行的统计校准的组合和在短期内达到的贡献(contribution)。短期内达到的贡献是活跃的且例如基于位置/同步/电离层延迟计算的观测。

[0097] 在累积量已被证明不适合遵循系统的状态变化的整合需要的情况下,用警报装置和/或通过更新累积量的值来向接收机广播累积量。

[0098] 利用广播的累积量并通过以第一一阶累积量为中心的高斯和第一二阶累积量宽度来对参考函数 Ψ 建模来产生第一误差分布。

[0099] 接下来,利用前述等式,可估计服务可用性,并因此可估计出现接收机的概率超过阈值的区域。

[0100] 用于确定卫星(多个卫星)位置的第一装置104可定位在地面上或其中一个卫星中。

[0101] 本发明所描述的不同确定装置可为计算机或以产生由装置执行的不同操作的方式编程的处理器。还可使用专用组件、可编程逻辑电路、可编程逻辑网络(还被称为FPGA, Field-Programmable Gate Array的首字母缩略词)或专用于以产生由装置执行的不同操作的方式编程的应用程序(还被称为ASIC, Application-Specific Integrated Circuit的首字母缩略词)的集成电路。

[0102] 还可根据硬件和软件元件来实施本发明。其可用于在计算机可读介质上的计算机程序产品。介质可为电子的、磁的、光学的、电磁的或红外型广播介质。这些介质例如为半导体存储器(随机存取存储器RAM,只读存储器ROM)、磁带、软盘或磁盘或光盘(光碟-只读存储器(CD-ROM),光碟-读/写(CD-R/W)和DVD)。

