



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110426717 B

(45) 授权公告日 2021.08.03

(21) 申请号 201910866398.X

(22) 申请日 2019.09.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110426717 A

(43) 申请公布日 2019.11.08

(73) 专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙红磡香港理工大学

(72) 发明人 张国豪 许立达

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 郭帅

(51) Int. Cl.

G01S 19/22 (2010.01)

G01S 19/37 (2010.01)

G01S 19/45 (2010.01)

(56) 对比文件

CN 109901108 A, 2019.06.18

CN 107305255 A, 2017.10.31

CN 103869326 A, 2014.06.18

CN 101622891 A, 2010.01.06

US 8164514 B1, 2012.04.24

US 10024974 B1, 2018.07.17

EP 1970723 A1, 2008.09.17

审查员 孟佳帅

权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种协同定位方法及系统、定位设备、存储介质

(57) 摘要

本发明具体涉及一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法及系统、定位设备、存储介质,结合光线追踪算法和双差分法,利用光线追踪算法获得道路使用者的绝对位置,对道路使用者所处区域均匀地网格化,对网格的伪距进行NLOS误差校正得到修正值,对属于不同道路使用者的网格进行两两随机配对,对网格的伪距修正值使用双差分法计算,并计算网格对的后验概率,通过加权平均计算得到道路使用者的相对距离,纠正了因NLOS效应引起的误差和其余异常误差;引入因子图作为定位问题的优化决策,确定每个约束的不确定度,通过代价函数计算定位结果。



1. 一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,包括:
 根据道路使用者的原始GNSS数据确定所述道路使用者的绝对位置;
 基于数字地形模型与实际场景的映射关系,在所述绝对位置附近为所述道路使用者选取一网格组,所述网格组包含 m 个网格, m 为大于1的自然数;
 校正所述网格的伪距的非视距NLOS误差得到所述网格的伪距修正值;
 对于任意两个道路使用者,将一个道路使用者的网格组内每个网格分别与另一个道路使用者的网格组内各个网格分别配对,得到 $m \times m$ 个网格对;

根据所述伪距修正值计算所述网格对中网格之间的相对距离 $\Delta \hat{P}_{n_a, n_b}$,包括对所述网格对中的两个网格的伪距修正值使用双差分法得到双差分值,对所述双差分值线性化,得到视距LOS矩阵 A ,通过对矩阵 A 的伪逆运算得到所述网格对的相对距离 $\Delta \hat{P}_{n_a, n_b}$;

计算网格对的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$,包括计算所有网格对的相对距离的测量误差,确定所述测量误差的最大值及最小值,利用所述最大值及最小值计算网格对的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$;

利用所述 $m \times m$ 个网格对各自的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$,计算所述 $m \times m$ 个网格对的相对距离 $\Delta \hat{P}_{n_a, n_b}$ 的加权平均值,得到所述两个道路使用者的相对距离,其中下标 n_a 和 n_b 表示属于不同网格组的两个网格;

针对所述两个道路使用者中的任意一个道路使用者,构建因子图,利用所述道路使用者的绝对位置和所述两个道路使用者的相对距离表示所述因子图的约束,利用GNSS定位误差预测地图评估每个约束的不确定度,优化所述因子图并输出所述道路使用者的定位结果;

优化因子图并输出所述道路使用者的定位结果包括根据代价函数计算各约束的函数值,所述函数值构成所述因子图的优化目标函数,利用Levenberg-Marquardt优化法得到所述定位结果。

2. 根据权利要求1所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,构建所述GNSS定位误差预测地图的步骤包括:

基于所述数字地形模型在地平面选取一网格组,所述网格组包括多个网格,利用光线追踪算法模拟卫星到所述网格的视距LOS距离及非视距NLOS距离,利用模拟的所述LOS距离及所述NLOS距离预测在给定时间内每个网格的GNSS定位误差,并对所述网格进行单点定位,得到所述GNSS定位误差预测地图。

3. 根据权利要求1所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述道路使用者的绝对位置利用光线追踪算法获得。

4. 根据权利要求1所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述校正所述网格的伪距的非视距NLOS误差得到所述网格的伪距修正值包括:

计算卫星到网格的伪距NLOS校正因子 $\delta \rho_{n, NLOS}^i$,根据所述校正因子 $\delta \rho_{n, NLOS}^i$ 计算所述网格的伪距修正值 $\hat{\rho}_n^i$,其中上标 i 表示第 i 个卫星,下标 n 表示第 n 个网格, $n=1, 2, 3, \dots, m$, m 为网格组内网格的个数。

5. 根据权利要求1所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述伪距修正值包括主、从卫星到网格的伪距修正值。

6. 根据权利要求5所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述主卫星包括最大仰角的卫星。

7. 根据权利要求1所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述利用所述 $m \times m$ 个网格对各自的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$,计算所述 $m \times m$ 个网格对的相对距离 $\Delta \hat{P}_{n_a, n_b}$ 的加权平均值,得到所述两个道路使用者的相对距离之前还包括:

把 $m \times m$ 个网格对按照后验概率从大至小排序,根据设定比例筛选出部分网格对。

8. 根据权利要求1所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述构建因子图,利用所述道路使用者的绝对位置和所述两个道路使用者的相对距离表示所述因子图的约束包括:

利用所述道路使用者的绝对位置表示因子图中节点的单边约束,相对距离约束和位移约束表示所述因子图的边;

所述相对距离约束中的相对距离为不同道路使用者在同一个时间点的相对距离;

所述位移约束中的位移为同一个道路使用者在不同时间点的位移。

9. 根据权利要求8所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,其特征在于,所述利用GNSS定位误差预测地图评估每个约束的不确定度包括:

利用所述GNSS定位误差预测地图选取以所述道路使用者为中心,半径R范围内的网格的预测误差,构成误差集,利用所述误差集分别计算所述单边约束、所述相对距离约束和所述位移约束的噪声协方差矩阵,基于所述噪声协方差矩阵评估每个约束的不确定度。

10. 根据权利要求2所述的基于三维地图辅助GNSS协同定位方法,其特征在于,实现所述光线追踪算法所利用的数据包括:

卫星信号反射路径、三维城市模型及道路使用者之间的三维几何关系。

11. 一种实现如权利要求1-10任一项所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的系统,其特征在于,包括:

原始GNSS数据获取单元,用于获取道路使用者的原始GNSS数据;

运算处理单元,用于构建GNSS定位误差预测地图和计算道路使用者的绝对位置及相对距离;

定位结果输出单元,用于输出经运算处理单元计算得到的定位结果;

所述运算处理单元还包括:

网格选取及配对模块,用于为道路使用者选取网格和进行网格配对;

因子图分析模块,用于构建和优化因子图,根据所述因子图的优化目标函数计算所述定位结果。

12. 根据权利要求11所述的实现如权利要求1-10任一项所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的系统,其特征在于,所述系统还包括:

模型存储单元,所述存储单元存储有数字地形模型、三维城市模型中的至少一种。

13. 一种定位设备,包括处理器和存储器,所述存储器存有运算程序,当所述运算程序被所述处理器执行时,使得所述处理器可执行如权利要求1-10任一项所述的基于三维地图

辅助GNSS的协同定位方法步骤。

14. 一种存储介质, 存储有运算程序, 当所述运算程序被处理器执行时, 使得所述处理器可执行如权利要求1-10任一项所述的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法步骤。

一种协同定位方法及系统、定位设备、存储介质

技术领域

[0001] 本发明属于导航技术领域,尤其涉及一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法及系统、定位设备、存储介质。

背景技术

[0002] 随着导航技术的发展,在相邻道路使用者之间实现信息共享已成为一大趋势,不同于仅使用一方道路使用者的机载测量值进行定位,现有技术中使用来自不同道路使用者的测量数据进行组合测量,以提高智能交通系统(ITS)的道路安全。基于应答器的定位方法已被应用于车辆到车辆(V2V)协同定位,该方法使用到达时间来测量车辆的相对位置,其缺陷在于无法解决非视距(NLOS)测量,尤其是当车辆之间存在障碍物时则无法获得与其他道路使用者的相对距离,定位范围受限。

[0003] 现有技术还提出一种基于全球导航卫星系统(GNSS)的协同定位方法,获得完整的三维相对位置并对共享的GNSS原始数据进行双差分法计算,可以消除卫星轨道或时钟误差、电离层和对流层延迟等相关误差,以获得道路使用者的相对距离,其缺陷在于使用该方法时,其中应用到的双差分法受限于不存在大量异常误差的开阔区域,如果在例如城市的商圈、密集建筑群等存在较多不稳定误差的地区,由于多径效应和NLOS效应,双差分法无法消除这些误差。

[0004] 为了解决多径效应和非视距效应,现有技术也开发了新的算法,目前应用最广泛的一种算法是GNSS阴影匹配(SDM)协同定位法。在使用双差分法前使用SDM来估计导航卫星的可见度以排除受NLOS影响的测量值,当道路使用者之间的共同测量数据足够时该方法可以得到一个比较理想的结果。然而在城市峡谷区域,获得的视距(LOS)测量数据往往是有限的,如果排除了大部分受NLOS影响的测量值,GNSS的精度因子会出现失真导致GNSS的定位性能变差。

[0005] 因此,提供一种适用于复杂城市环境的协同定位方法尤为重要。

发明内容

[0006] 基于此,本发明旨在提供一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法及系统,利用建筑三维模型建立区域网格,构建网格对计算其后验概率,集成光线追踪算法和双差分法获得道路使用者的绝对位置和相对距离,并作为因子图的约束进行因子图优化输出优化后的定位结果,解决现有的定位方法在复杂城市环境中的应用准确性和稳定性都不足的问题。

[0007] 本发明提供一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法,包括:

[0008] 根据道路使用者的原始GNSS数据确定道路使用者的绝对位置;

[0009] 基于数字地形模型与实际场景的映射关系,在绝对位置附近为道路使用者选取一网络组,其中网络组包含 m 个网格, m 为大于1的自然数;

[0010] 校正网格的伪距的非视距NLOS误差得到网格的伪距修正值;

[0011] 对于任意两个道路使用者,将一个道路使用者的网格组内每个网格分别与另一个道路使用者的网格组内各个网格分别配对,得到 $m \times m$ 个网格对;

[0012] 利用双差分法计算网格对的相对距离 $\Delta\hat{P}_{n_a, n_b}$;

[0013] 计算网格对的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$;

[0014] 根据 $m \times m$ 个网格对各自的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$,计算 $m \times m$ 个网格对的相对距离 $\Delta\hat{P}_{n_a, n_b}$ 的加权平均值,得到两个道路使用者的相对距离,其中下标 n_a 和 n_b 表示属于不同网格组的两个网格;

[0015] 针对两个道路使用者中的任意一个道路使用者,构建因子图,利用道路使用者的绝对位置和两个道路使用者的相对距离表示因子图的约束,利用GNSS定位误差预测地图评估每个约束的不确定度,优化因子图并输出道路使用者的定位结果。

[0016] 优选地,构建GNSS定位误差预测图的步骤包括:

[0017] 基于数字地形模型在地平面选取一网格组,网格组包括多个网格,利用光线追踪算法模拟卫星到网格的视距LOS距离及非视距NLOS距离,利用模拟的LOS距离及NLOS距离预测在给定时间内每个网格的GNSS定位误差,并对网格进行单点定位,得到GNSS定位误差预测地图。

[0018] 优选地,道路使用者的绝对位置由光线追踪算法获得。

[0019] 优选地,校正网格的伪距的非视距NLOS误差得到网格的伪距修正值包括:

[0020] 计算卫星到网格的伪距NLOS校正因子 $\delta\rho_{n, NLOS}^i$,根据校正因子 $\delta\rho_{n, NLOS}^i$ 计算网格的伪距修正值 $\hat{\rho}_n^i$,其中上标 i 表示第 i 个卫星,下标 n 表示第 n 个网格, $n=1, 2, 3, \dots, m$, m 为网格组内网格的个数。

[0021] 优选地,计算的伪距修正值包括主、从卫星到网格的伪距修正值。

[0022] 优选地,选择最大仰角的卫星作为主卫星。

[0023] 优选地,利用双差分法计算网格对的相对距离 $\Delta\hat{P}_{n_a, n_b}$ 包括:

[0024] 对网格对的双差分值线性化,得到视距LOS矩阵 A ,通过对矩阵 A 的伪逆运算得到所述网格对的相对距离。

[0025] 优选地,计算网格对的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$ 包括:

[0026] 计算所有网格对的相对距离的测量误差,确定测量误差的最大值及最小值,利用最大值及最小值计算网格对的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$ 。

[0027] 优选地,根据后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$ 对网格对的相对距离 $\Delta\hat{P}_{n_a, n_b}$ 进行加权平均计算得到道路使用者的相对距离之前还包括:

[0028] 把 $m \times m$ 个网格对按照后验概率从大至小排序,根据设定比例筛选出部分网格对。

[0029] 优选地,构建因子图,利用道路使用者的绝对位置和两个道路使用者的相对距离表示因子图的约束包括:

- [0030] 利用绝对位置表示因子图中节点的单边约束,相对距离约束和位移约束表示因子图的边;
- [0031] 相对距离约束中的相对距离为不同道路使用者在同一个时间点的相对距离;
- [0032] 位移约束中的位移为同一个道路使用者在不同时间点的位移。
- [0033] 优选地,利用GNSS定位误差预测地图评估每个约束的不确定度包括:
- [0034] 利用GNSS定位误差预测地图选取以道路使用者为中心,半径R范围内的网格的预测误差,构成误差集,利用误差集分别计算单边约束、相对距离约束和位移约束的噪声协方差矩阵,基于噪声协方差矩阵评估每个约束的不确定度。
- [0035] 优选地,前述位移约束的不确定度由道路使用者的行为决定,对道路使用者行为的识别可由经机器学习训练的分类器完成。
- [0036] 优选地,前述的分类器还可用于识别道路使用者为行人或行驶车辆。
- [0037] 优选地,优化所述因子图并输出道路使用者的定位结果包括:
- [0038] 根据代价函数计算各约束的函数值,函数值构成因子图的优化目标函数,利用Levenberg-Marquardt优化法得到道路使用者的定位结果。
- [0039] 优选地,实现所述光线追踪算法所利用的数据包括:
- [0040] 卫星信号反射路径、三维城市模型及道路使用者之间的三维几何关系。
- [0041] 优选地,为了提高计算精度,网格的分辨率为2米×2米,即每个网格的大小为一边长为2米的正方形区域。
- [0042] 本发明还提供一种实现前述基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的系统,包括:
- [0043] 原始GNSS数据获取单元,用于获取道路使用者的原始GNSS数据;
- [0044] 运算处理单元,用于构建GNSS定位误差预测地图和计算道路使用者的绝对位置及相对距离;
- [0045] 定位结果输出单元,用于输出经运算处理单元计算得到的定位结果;
- [0046] 其中,运算处理单元还包括:
- [0047] 网格选取及配对模块,用于为道路使用者选取网格和进行网格配对;
- [0048] 因子图分析模块,用于构建和优化因子图,根据因子图的优化目标函数计算所述定位结果。
- [0049] 优选地,前述的处理单元中还包括:
- [0050] 卫星信号接收单元,用于获取接收器采集的卫星信号。
- [0051] 优选地,前述的协同定位系统还包括:
- [0052] 模型存储单元,该单元存储有数字地形模型、三维城市模型中的至少一种。
- [0053] 本发明还提供一种定位设备,包括处理器和存储器,存储器存有运算程序,当运算程序被处理器执行时,使得处理器可执行前述基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的任一步骤。
- [0054] 本发明还提供一种存储介质,存储有运算程序,当运算程序被处理器执行时,使得处理器可执行前述基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的任一步骤。
- [0055] 从以上技术方案可以看出,本发明具有以下优点:
- [0056] 本发明一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法及系统、定位设备、存储介质,

结合了光线追踪算法和双差分法对原始的GNSS数据优化,利用光线追踪算法以获得道路使用者的绝对位置,对道路使用者所处区域均匀地网格化,对网格进行NLOS误差校正,对于不同道路使用者的校正网格,进行网格配对,对每个网格对使用双差分法,计算网格对的相对距离和后验概率,越靠近真实位置的网格越能反映正确的定位结果,则其后验概率更大,进而对网格对的相对距离进行加权平均计算得到道路使用者的相对距离,纠正了因非视距效应引起的误差和其余异常误差,显著地降低了定位误差对定位结果的影响程度,提高定位准确度;相比较于传统定位技术中剔除带误差的测量值的操作方法,对定位区域通过三维地图的映射关系进行网格化即把定位问题从多模态转为单模态,获得更准确的校正值,提高定位精度;引入因子图作为定位问题的优化,把绝对位置和相对距离均作为优化问题的约束,通过GNSS定位误差预测地图识别道路使用者的状态,进而确定每个约束的不确定度,可以更好的反映当前定位状态;因子图中包含的节点和边考虑了所有的现有约束,对异常值更有稳定性,进而提高定位的准确度和稳定度以及在复杂城市环境中应用的适应性。

附图说明

[0057] 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简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,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,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0058] 图1本发明一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法流程示意图

[0059] 图2本发明一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位系统结构示意图

[0060] 图3本发明一种实施例中构建GNSS定位误差预测图的流程示意图

[0061] 图4本发明一种实施例中计算网格对后验概率的流程示意图

[0062] 图5本发明一种实施例中因子图的示意图

[0063] 图6本发明另一种实施例中各节点的位置分布图

[0064] 图7本发明另一种实施例中不同方法绝对定位误差对比示意图

[0065] 图8本发明另一种实施例中五种方法定位优化结果对比示意图

具体实施方式

[0066] 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,所描述的实施例仅仅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做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。

[0067] 本实施例提供一种适用于复杂城市环境的基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法及系统、定位设备、存储介质。

[0068] 请参考图1和图3,本实施例中选取3位道路使用者a、b和c进行定位优化,

[0069] 先构建一个定位误差预测地图,其步骤包括:

[0070] 基于数字地形模型在地平面选取一网格组,网格组包括多个网格,利用光线追踪算法模拟卫星到网格的视距LOS距离及非视距NLOS距离,利用模拟的LOS距离及NLOS距离预测在给定时间内每个网格的GNSS定位误差,并对网格进行单点定位,得到GNSS定位误差预

测地图；

[0071] 定位的步骤包括：

[0072] 获得道路使用者的原始GNSS数据，根据原始GNSS数据确定道路使用者的绝对位置；

[0073] 基于数字地形模型与实际场景的映射关系，在绝对位置附近为道路使用者选取一网格组，其中网格组包含m个网格；本实施例中m的取值为100。

[0074] 校正网格的伪距的非视距NLOS误差得到网格的伪距修正值；

[0075] 对于任意两个道路使用者，将一个道路使用者的网格组内每个网格分别与另一个道路使用者的网格组内各个网格分别配对，得到m×m个网格对；

[0076] 利用双差分法计算网格对的相对距离 $\Delta\hat{P}_{n_a, n_b}$ ；

[0077] 计算网格对的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$ ，根据m×m个网格对各自的后验概率 $\Lambda(n_a, n_b)$ 对m×m个网格对的相对距离 $\Delta\hat{P}_{n_a, n_b}$ 进行加权平均计算得到道路使用者的相对距离，其中下标 n_a 和 n_b 表示属于不同网格组的两个网格；

[0078] 针对两个道路使用者中的任意一个道路使用者，构建因子图，利用道路使用者的绝对位置和两个道路使用者的相对距离表示因子图的约束，利用GNSS定位误差预测地图评估每个约束的不确定度，优化因子图并输出定位结果。

[0079] 以道路使用者a和b为例，利用光线追踪算法分别获得a、b当前的绝对位置，请参考图4，在a和b绝对位置附近分别选取100个网格，得到两个网格集**a**和**b**，当网格处于NLOS环境时，利用光线追踪算法对该网格进行NLOS误差校正，通过NLOS校正因子补偿NLOS误差得到伪距的修正值，其中计算NLOS校正因子如式(1)所示，

$$[0080] \quad \delta\rho_{n, NLOS}^i = L_n^i - R_n^i \quad (1)$$

[0081] 其中 $\delta\rho_{n, NLOS}^i$ 表示卫星到网格伪距的NLOS校正因子， L_n^i 为模拟反射路径的总距离， R_n^i 为卫星到网格之间的LOS距离；其中上标i表示第i个卫星，下标n表示第n个网格， $n=1, 2, 3, \dots, 100$ 。

[0082] 其中，计算网格的伪距修正值如式(2)所示，以道路使用者a为算例，

$$[0083] \quad \hat{\rho}_{n_a}^i = \tilde{\rho}_a^i - \delta\rho_{n_a, NLOS}^i \quad (2)$$

[0084] 其中 $\tilde{\rho}_a^i$ 表示第i个卫星到道路使用者a的伪距测量值，根据网格位置原则，当网格的位置越接近道路使用者的真实距离，其伪距修正值的正确率会更高。

[0085] 同理，根据式(1) - (2)可得到对应道路使用者b和c的网格的NLOS校正因子和伪距修正值。

[0086] 道路使用者a和b的网格集**a**和**b**进行组间配对，配对方式为网格集**a**中的每一个网格分别与网格集**b**的各个网格分别配对，获得10000个网格对，得到网格对集合Pair如式(3)所示，对每个网格对使用双差分法，得到双差分值，如式(4)所示，

[0087] $\text{Pair} = \{(n_a, n_b) | n_a \in \mathbb{a}, n_b \in \mathbb{b}\}$ (3)

[0088] $D_{n_a n_b}^{im} = (\hat{\rho}_{n_b}^m - \hat{\rho}_{n_b}^i) - (\hat{\rho}_{n_a}^m - \hat{\rho}_{n_a}^i)$ (4)

[0089] 其中,上标m表示主卫星;

[0090] 对式(4)进行线性化得到式(5),

[0091] $D_{n_a n_b}^{im} = (\bar{\eta}^m - \bar{\eta}^i) \cdot \Delta \hat{P}_{n_a n_b} = A^{im} \Delta \hat{P}_{n_a, n_b}$ (5)

[0092] 其中 $\bar{\eta}^i$ 和 $\bar{\eta}^m$ 分别为道路使用者到第i个卫星和主卫星的单位视距向量, $\Delta \hat{P}_{n_a, n_b}$ 为网格对 (na, nb) 的相对距离,其计算可由对矩阵A伪逆运算得到,如式(6)所示,

[0093] $\Delta \hat{P}_{n_a, n_b} = (A^T A)^{-1} A^T D_{n_a n_b}$ (6)

[0094] 计算每个网格对相对距离的测量误差,如式(7)所示,

[0095] $\delta \Delta P_{(n_a, n_b)} = \left\| (P_{n_b} - P_{n_a}) - \Delta \hat{P}_{n_a, n_b} \right\|$ (7)

[0096] 其中, P_{n_a} 表示道路使用者a的网格组内网格的单点定位值, P_{n_b} 表示道路使用者a的网格组内网格的单点定位值。

[0097] 计算每个网格对的后验概率,如式(8) - (10)所示,

[0098] $\Lambda_{(n_a, n_b)} = \exp \left[\frac{(\delta \Delta P_{(n_a, n_b)} - \delta \Delta P_{min})}{(\delta \Delta P_{max} - \delta \Delta P_{min})} \right]^{-1}$ (8)

[0099] $\delta \Delta P_{min} = \min_{n_a \in \mathbb{a}, n_b \in \mathbb{b}} \{ \delta \Delta P_{(n_a, n_b)} \}$ (9)

[0100] $\delta \Delta P_{max} = \max_{n_a \in \mathbb{a}, n_b \in \mathbb{b}} \{ \delta \Delta P_{(n_a, n_b)} \}$ (10)

[0101] 其中 $\Lambda_{(n_a, n_b)}$ 表示网格对 (na, nb) 的后验概率, $\delta \Delta P_{min}$ 和 $\delta \Delta P_{max}$ 分别是所有网格对相对距离测量误差中的最小值和最大值;

[0102] 对网格对相对距离测量误差进行归一化并把网格对按照后验概率从大至小排序,在本实施例中,为提高稳定性,筛选排序前1%的网格对进行计算,对筛选得到的100个网格对进行如式(11)所示的加权平均运算,得到道路使用者a和b的相对距离,

[0103] $\Delta \hat{x}_{ab} = (\sum_{Pair^*} \Lambda_{pair^*} \cdot \Delta P_{pair^*}) / \sum_{Pair^*} \Lambda_{pair^*}$ (11)

[0104] 其中下标Pair*表示经过筛选的网格对子集,下标pair*表示网格对子集Pair*中的网格对元素;

[0105] 通过上述的式(1) - (11)可同理计算得到a、c的相对距离和b、c的相对距离。

[0106] 本实施例中选择最大仰角的卫星作为主卫星。

[0107] 下面构建因子图并对因子图进行优化,请参阅图5,

[0108] $X_{a,t}$ 表示a在时间点t的绝对位置, $\hat{X}_{a,t}$ 表示a所代表的节点在时间点t的单边约束, $\Delta X_{ab,t}$ 表示a和b在时间点t的相对距离, $\Delta X_{a,t} \rightarrow t+1$ 为a在时间点t和时间点t+1之间产生的位移, 以此类推道路使用者a、b和c的各约束在图5中得以表示。

[0109] 利用GNSS定位误差预测地图选取以道路使用者为中心, 半径R范围内的网格的预测误差, 构成误差集, 利用误差集分别计算单边约束、相对距离约束和位移约束的噪声协方差矩阵, 基于噪声协方差矩阵评估每个约束的不确定度;

[0110] 其中, 位移约束的不确定度由道路使用者的行为决定;

[0111] 对道路使用者行为的识别可由经机器学习训练的分类器完成, 该分类器还可用于识别道路使用者为行人或行驶车辆。

[0112] 以水平地面的东北方向定位为例, 对于道路使用者a, 选取以道路使用者a为中心, 半径范围10米内的网格, 则道路使用者a的误差集表示为式(12),

$$[0113] \quad PEM(x_a) = \begin{bmatrix} \overline{err}_{x_a}^{east} \\ \overline{err}_{x_a}^{north} \end{bmatrix} = \left\{ PEM(\mathbf{P}_{x_a}^{err}) \left\| \mathbf{P}_{x_a}^{err} - x_a \right\| \leq 10 \right\} \quad (12)$$

[0114] 其中 x_a 表示道路使用者a的初始定位, $\mathbf{P}_{x_a}^{err}$ 表示在上述半径范围10米内的网格误差集合。

[0115] 道路使用者a的绝对位置约束的噪声协方差矩阵表示为式(13),

$$[0116] \quad \Omega_{x_a}^{abs} = \begin{pmatrix} \overline{err}_{x_a}^{east} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \overline{err}_{x_a}^{north} \end{pmatrix} \quad (13)$$

[0117] 其中 $\bar{\cdot}$ 表示平均值, a和b的相对距离约束的噪声协方差矩阵表示为式(14),

$$[0118] \quad \Omega_{\Delta \hat{x}_{ab}}^{rel} = \begin{pmatrix} \sqrt{(\overline{err}_{x_a}^{east})^2 + (\overline{err}_{x_b}^{east})^2} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \sqrt{(\overline{err}_{x_a}^{north})^2 + (\overline{err}_{x_b}^{north})^2} \end{pmatrix} \quad (14)$$

[0119] a的位移约束的噪声协方差矩阵表示为式(15)。

$$[0120] \quad \Omega_{x_a, t \rightarrow t+1}^{displacement} = \begin{pmatrix} \sigma_{a, t \rightarrow t+1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \sigma_{a, t \rightarrow t+1} \end{pmatrix} \quad (15)$$

[0121] 优化因子图包括:

[0122] 根据代价函数计算各约束的函数值, 函数值构成因子图的优化目标函数, 利用Levenberg-Marquardt优化法得到定位结果。

[0123] 仍然以道路使用者a和b为例, a的绝对位置约束的代价函数由式(16)表示,

$$[0124] \quad \varepsilon_{a,t} = \mathbf{H}(x_{a,t}) - \hat{x}_{a,t} \quad (16)$$

[0125] a和b的相对距离约束的代价函数由式(17)表示,

$$[0126] \quad \varepsilon_{ab,t} = \mathbf{H}(x_{b,t}) - \mathbf{H}(x_{a,t}) - \Delta \hat{x}_{ab,t} \quad (17)$$

[0127] 其中 $\Delta \hat{x}_{ab,t}$ 可由式(11)计算得到,

[0128] a的位移约束的代价函数由式(18)表示,

$$[0129] \quad \varepsilon_{a,t \rightarrow t+1} = \mathbf{H}(x_{a,t+1}) - \mathbf{H}(x_{a,t}) - \Delta \hat{x}_{a,t \rightarrow t+1} \quad (18)$$

[0130] 其中 $\Delta \hat{x}_{a,t \rightarrow t+1}$ 表示a的位移,可由式(19)计算得到,

$$[0131] \quad \Delta \hat{x}_{a,t \rightarrow t+1} = \hat{v}_{a,t} \cdot \Delta t \quad (19)$$

[0132] 其中 $\hat{v}_{a,t}$ 表示a的速度估计值,可由GNSS多普勒频率测量法得到,如式(20)所示,

$$[0133] \quad \hat{v}_{a,t} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T f_{a,t} \quad (20)$$

[0134] 其中G表示视距单位矩阵, $f_{a,t}$ 表示卫星钟漂修正后的GNSS多普勒频率,转换矩阵H为单位矩阵。

[0135] 因子图的优化目标函数由式(21)表示,

$$[0136] \quad \chi^* = \arg \chi \cdot \min \sum_k \|\varepsilon_k\|_{\Omega_k}^2 \quad (21)$$

[0137] 其中 $x = [x_1 \cdots x_N]^T$ 为因子图中N个节点的向量, x^* 为每个节点的定位优化结果, ε_k 表示第k个约束的代价函数值, $\varepsilon_{a,t}, \varepsilon_{ab,t}, \varepsilon_{a,t \rightarrow t+1} \in \varepsilon_k, \Omega_k$ 表示第k个约束的噪声协方差矩阵,

[0138] 通过式(12) - (21)可同理得到b和c的定位结果。

[0139] 在本实施例中实现所述光线追踪算法所利用的数据包括:

[0140] 卫星信号反射路径、三维城市模型及道路使用者之间的三维几何关系。

[0141] 为提高定位精度,本实施例中网格大小为边长2米的正方形区域。

[0142] 请参考图2,一种基于三维地图辅助GNSS的协同定位系统100,包括:

[0143] 原始GNSS数据获取单元110,用于获取道路使用者的原始GNSS数据;

[0144] 运算处理单元120,用于构建GNSS定位误差预测地图和计算道路使用者的绝对位置及相对距离;

[0145] 定位结果输出单元130,用于输出经运算处理单元计算得到的定位结果;

[0146] 其中,运算处理单元120还包括:

[0147] 网格选取及配对模块121,用于为道路使用者选取网格和进行网格配对;

[0148] 因子图分析模块122,用于构建和优化因子图,根据因子图的优化目标函数计算所述定位结果。

[0149] 前述的协同定位系统100还包括:

[0150] 模型存储单元140,该单元存储有数字地形模型、三维城市模型中的至少一种。

[0151] 前述的协同定位系统100还包括:

[0152] 卫星信号接收单元150,用于获取接收机采集的卫星信号。

[0153] 一种定位设备,包括处理器和存储器,存储器存有运算程序,当运算程序被处理器执行时,使得处理器可执行前述基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的任一步骤。

[0154] 一种存储介质,存储有运算程序,当运算程序被处理器执行时,使得处理器可执行

前述基于三维地图辅助GNSS的协同定位方法的任一步骤。

[0155] 下面介绍本发明的另一个实施例,本实施例在一个分布有城市峡谷的典型城市环境中进行验证,共选取4个测试节点,请参考图6,各节点分布情况如图6所示,道路使用者选取为道路上的行人,接收器为ublox M8T,接收器同时也收集道路使用者的原始GNSS数据。

[0156] 为了实现本发明方法,选取节点4作为双差分法的测试点,节点4存在非视距(NLOS)效应,按照上述方法进行相对距离测量并计算误差,通过不同方法计算的节点1和节点4的相对距离的均方根误差如表1,

[0157] 表1

方法	传统双差分法(DD)	阴影匹配双差分法(SDM-DD)	本发明改进双差分法(RT-DD)
[0158] 均方根误差(单位:米)	84.6	20.3	16.3
数据可用性	100%	70%	100%

[0159] 可以看出,本发明的方法集成光线追踪算法和双差分法,对存在NLOS效应的测量值进行校正而非剔除,相对距离定位精度得到进一步提高,误差值降到16.3米。

[0160] 请参考图7和图8,本发明方法还对定位通过因子图进行优化,得到优化后的定位结果,仍然以节点4为测试点,本发明方法剔除的因子图优化考虑了所有的现有约束,进而提高了定位的稳定性,与其他方法相比,本发明方法(RT-FGO)的绝对定位误差如图7所示,通过实现本发明得出的定位优化结果如图8所示。

[0161] 另外对比不同方法对每个节点的绝对定位的均方根误差,如表2,

[0162] 表2

节点.	1	2	3	4
[0163] 最小二乘法(LS)	3.7	5.0	14.7	30.9
光线追踪(RT)	2.7	3.1	14.9	10.4
基于锚点协作定位(SDM-CP)	4.2	4.7	14.2	16.2
基于锚点的光线追踪协作定位(RT-CP)	2.3	3.5	12.5	7.8
阴影匹配-因子图优化(SDM-FGO)	2.2	2.5	14.3	12.4
本发明方法(RT-FGO)	2.7	4.1	8.4	7.4

[0164] 可以看出本发明给出的定位结果更为准确,4个节点的绝对定位误差控制在10米内,实现了最佳的定位性能。

[0165] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的技术人员应当理解:其依然可以对前述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脱离本发明实施例技术方案的精神和范围。

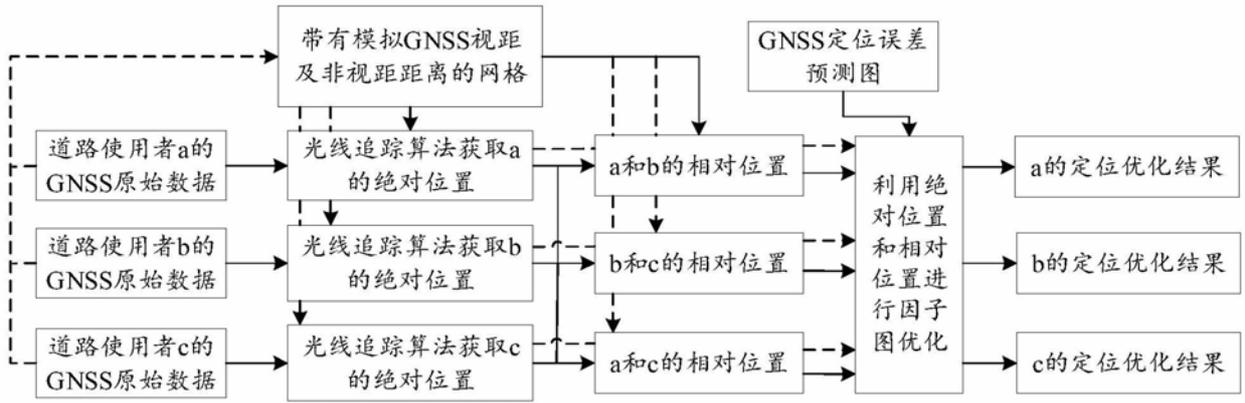


图1

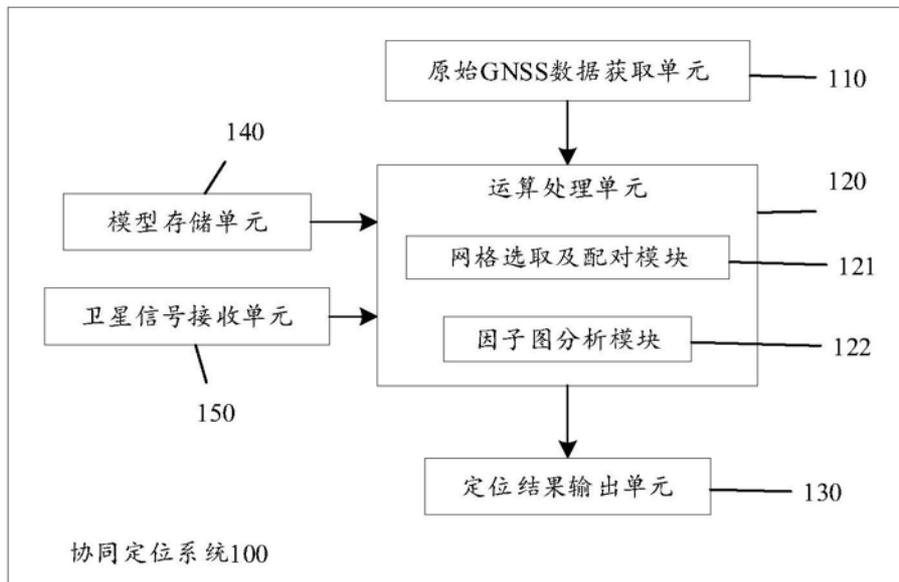


图2

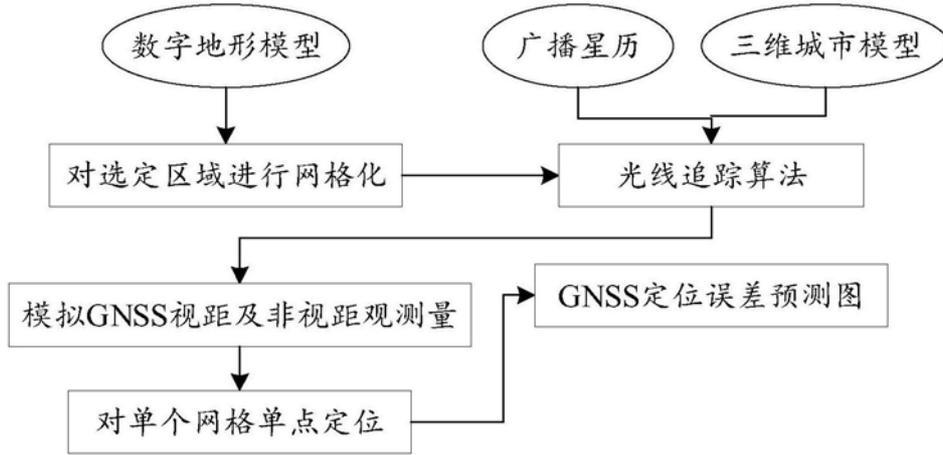


图3

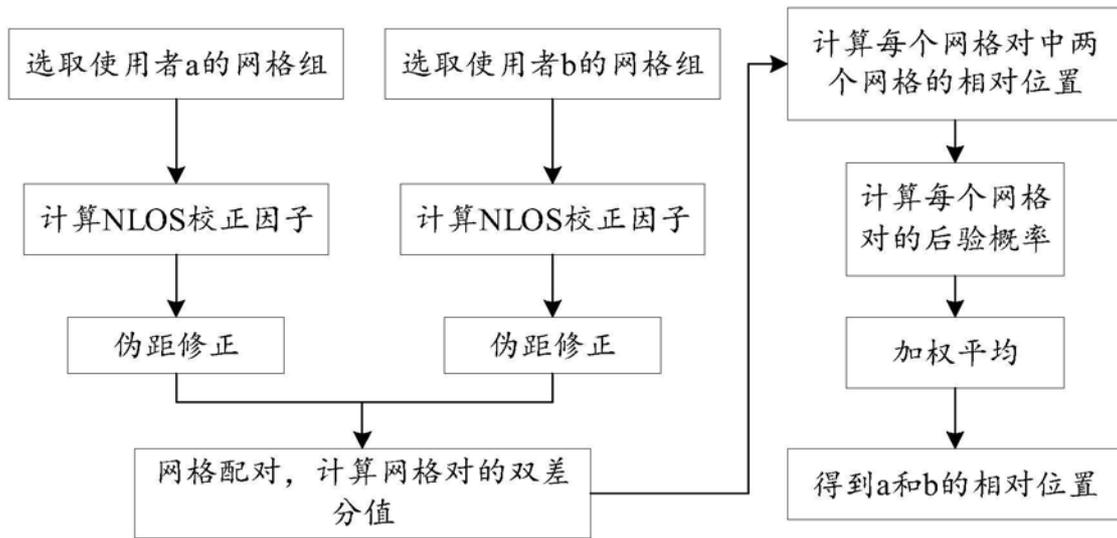


图4

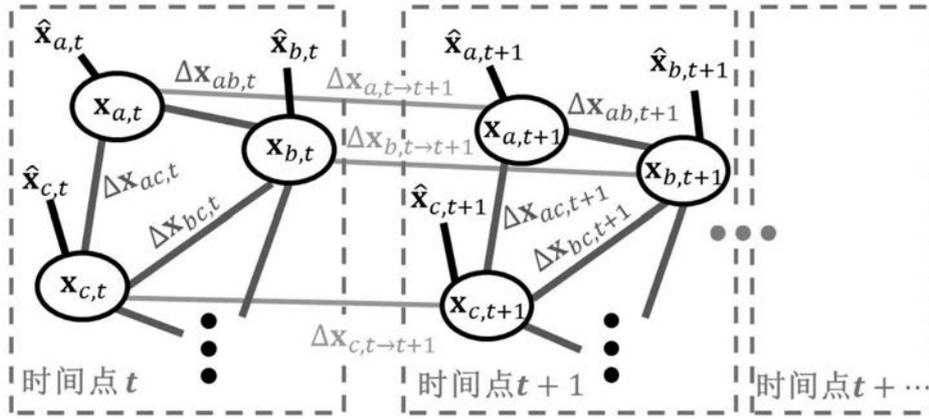


图5



图6

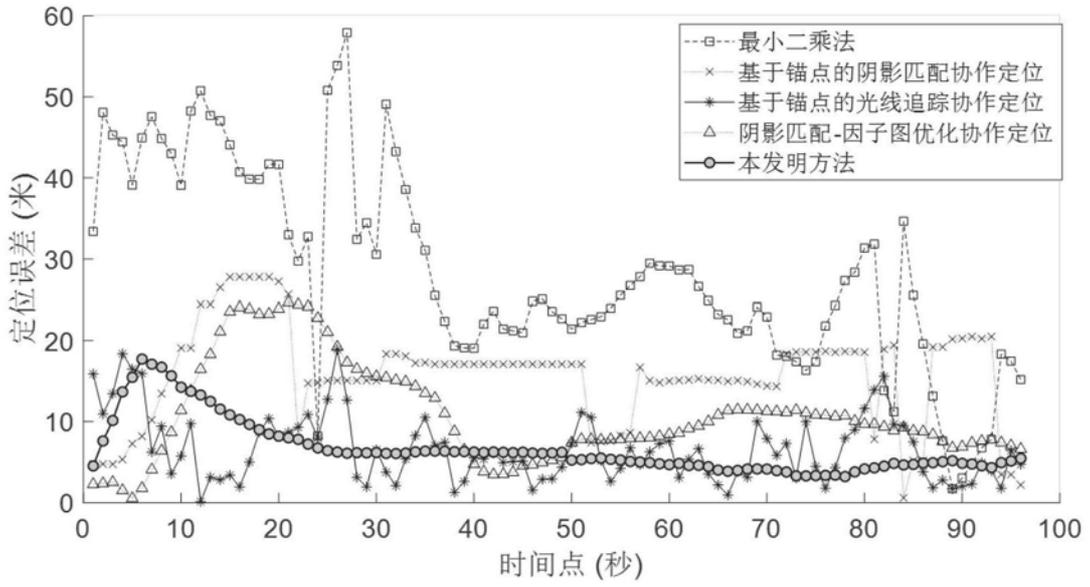


图7

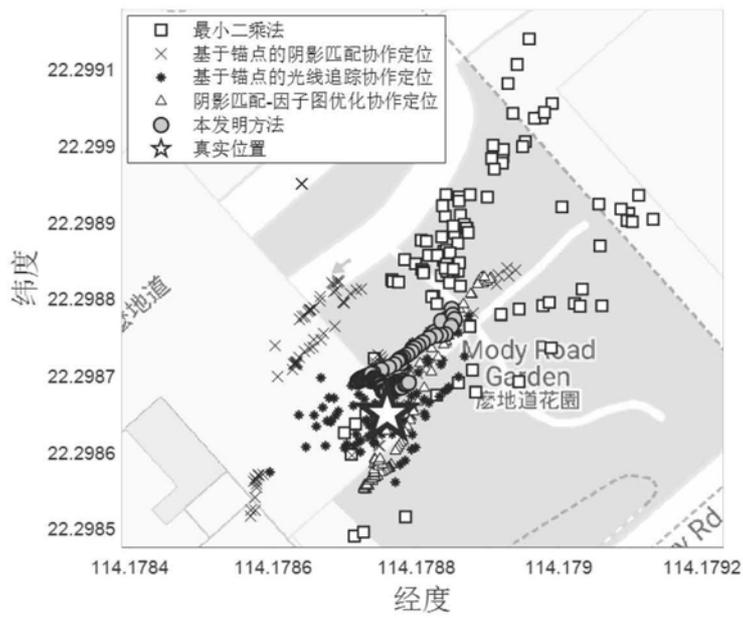


图8