



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112362052 B

(45) 授权公告日 2022.09.16

(21) 申请号 202011163752.1

(22) 申请日 2020.10.27

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112362052 A

(43) 申请公布日 2021.02.12

(73) 专利权人 中国科学院计算技术研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村科学院南路6号

(72) 发明人 董立然 刘玲 周一青 伍杰 石晶林

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理有限公司 11280
专利代理师 王勇

(51) Int. Cl.
G01C 21/16 (2006.01)
G01C 21/20 (2006.01)
G01S 5/02 (2010.01)

(56) 对比文件
CN 110243363 A, 2019.09.17

CN 107402005 A, 2017.11.28

CN 109916407 A, 2019.06.21

CN 104007459 A, 2014.08.27

CN 106767783 A, 2017.05.31

CN 111272174 A, 2020.06.12

US 2012086598 A1, 2012.04.12

CN 107289933 A, 2017.10.24

CN 105467382 A, 2016.04.06

CN 107343052 A, 2017.11.10

蔡煊 等. 基于改进UKF的BDS-IMU组合列车定位方法.《西南交通大学学报》.2020,第55卷(第2期),第393-400页.

MINGHONG ZHU 等.An Improved Posteriori Variance-Covariance Components Estimation Applied to Unconventional GPS and Multiple Low-Cost Imus Integration Strategy.《SPECIAL SECTION ON EMERGING TRENDS, ISSUES AND CHALLENGES FOR ARRAY SIGNAL PROCESSES IN SMART CITY》.2019,

审查员 张靓

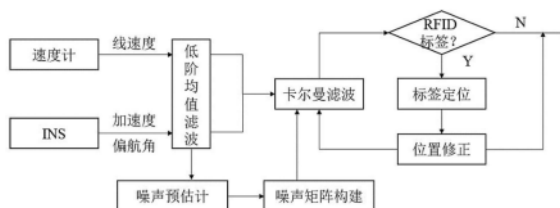
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种融合定位方法及系统

(57) 摘要

本发明提供一种融合定位方法及系统。本发明的方法用于对具有行进轮的目标主体进行定位,所述目标主体具有惯性导航模块和基于行进轮的速度测量模块,所述方法包括:在所述目标主体保持静止,行进轮旋转的情况下,测定惯性导航模块和速度测量模块的噪声方差;构建与所述目标主体的位置相关的卡尔曼滤波状态量和观测量;基于所述噪声方差以及所述状态量和观测量构建表征位置预测不确定性的噪声矩阵;实时测量所述观测量,并基于所测得的观测量基于卡尔曼滤波进行所述目标主体的位置预测。



1. 一种融合定位方法,所述方法用于对具有行进轮的目标主体进行定位,所述目标主体具有惯性导航模块和基于行进轮的速度测量模块,其特征在于,所述方法包括:

步骤1:利用所述惯性导航模块和速度测量模块实时测量所述目标主体的加速度和速度;

步骤2:将所测得的速度和加速度作为滤波观测量代入卡尔曼滤波方程组,进行所述目标主体的位置预测,其中,在所述卡尔曼滤波方程组中利用各个滤波状态量之间的噪声协方差矩阵对所述滤波状态量进行修正,所述噪声协方差矩阵基于所述惯性导航模块和速度测量模块的噪声方差确定,

其中,噪声协方差矩阵包括:

(1) 过程噪声协方差矩阵Q,

$$Q = \begin{bmatrix} D_a \Delta t^4 / 4 & 0 & D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 / 2 & 0 \\ 0 & D_a \Delta t^4 / 4 & 0 & D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 / 2 \\ D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 & 0 & D_a \Delta t & 0 \\ 0 & D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 & 0 & D_a \Delta t \\ D_a \Delta t^2 / 2 & 0 & D_a \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D_a \Delta t^2 / 2 & 0 & D_a \Delta t & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \text{其中 } D_a \text{ 为所述惯性}$$

导航模块中加速度计的噪声方差, Δt 为惯性导航模块更新周期;

以及(2) 观测噪声协方差矩阵R, $R = \text{diag}(D_v, D_v, D_a, D_a)$, 其中, D_v 为所述速度测量模块的噪声方差。

2. 根据权利要求1所述的融合定位方法,其特征在于,在所述目标主体及其行进路径上设置有基于位置标签的定位模块,所述方法还包括步骤3:利用所述定位模块获取所述目标主体的位置信息,基于所述位置信息对所述位置预测的结果进行修正。

3. 根据权利要求1所述的融合定位方法,其特征在于,所述惯性导航模块和速度测量模块的噪声方差在所述目标主体保持静止,行进轮旋转的情况下进行测定。

4. 根据权利要求2所述的融合定位方法,其特征在于,所述速度测量模块为速度计,所述定位模块包括设置于所述目标主体的RFID阅读器和设置于路面内的RFID标签,所述目标主体为车辆。

5. 根据权利要求2所述的融合定位方法,其特征在于,所述卡尔曼滤波方程组为:

$$\begin{aligned} X_k^- &= AX_{k-1}^- \\ P_k^- &= AP_{k-1}^- A^T + Q \\ K_k &= P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \\ \hat{X}_k &= X_k^- + K_k (Z_k - HX_k^-) \\ P_k &= (I - K_k H) P_k^- \end{aligned}$$

其中,A为状态转移矩阵,H为观测矩阵, X_k^- 和 P_k^- 分别为预测的k时刻滤波状态量和滤波状态量的误差协方差, K_k 为卡尔曼滤波增益, \hat{X}_k 和 P_k 分别为修正后的k时刻滤波状态量和滤波状态量的误差协方差,I为6*6的单位矩阵。

6. 根据权利要求1所述的融合定位方法,其特征在于,所述滤波状态量为 $X = [p_x, p_y, v_x,$

$v_y, a_x, a_y]^T$, 其中, p_x, p_y 为所述目标主体的二维位置坐标、 v_x, v_y 为所述目标主体的二维速度, a_x, a_y 为所述目标主体的二维加速度; 所述观测量为 $Z_k = [\tilde{v}_x, \tilde{v}_y, \tilde{a}_x, \tilde{a}_y]^T$, 其中, $\tilde{v}_x = v_{l,k} \cos \theta_k, \tilde{v}_y = v_{l,k} \sin \theta_k, v_{l,k}$ 为所述目标主体的线速度, θ_k 为所述目标主体的偏航角。

7. 根据权利要求4所述的融合定位方法, 其中, 所述目标主体内沿垂直于其行进方向横向布置两个RFID阅读器, 其特征在于:

所述步骤3还包括:

3.1、基于两个所述RFID阅读器获取的RFID标签的信号强度指示值, 由路径损耗模型解算出所述RFID标签与所述目标主体的两个可能相对位置;

3.2、基于两个所述RFID阅读器对所述RFID标签的识别时间、车速确定所述RFID标签的相对位置;

3.3、读取所述RFID标签内存储的所述RFID标签的绝对位置信息, 计算出所述目标主体的位置信息,

其中, 设在某时刻检测到标签, 并成功接收到RFID存储的绝对位置信息 x_t 和 y_t 以及两个阅读器相应的接收的信号强度指示测量值为 RSS_1 和 RSS_2 , 设符合自由空间路径损耗模型, 标签反射功率 P_t , 工作频率为 f , 对于任意一个所述RFID阅读器, RFID标签在路面形成的候选位置为圆, 其半径 r_1 为

$$r_1 = \sqrt{10^{20 \frac{(P_t - RSS_1 - 32.4 - 20 \lg f)}{f}} - H_c^2} \quad (9)$$

r_2 计算同理, 由两圆相交公式, 可得两个坐标解为

$$(x_{tag}, y_{tag}, -H_c) = \left(x_t + \frac{r_1^2 - r_2^2 + L_{R1,R2}^2}{2L_{R1,R2}}, y_t \pm \sqrt{r_1^2 - x_{tag}^2}, -H_c \right) \quad (10)$$

设标签识别时间为 t_{ident} , 阅读区域为圆形, 半径为 r , 识别期间车速为 $v_{l,k}$, 若满足 $v_{l,k} > \sqrt{(r^2 - r_1^2) / 4} / t_{ident}$, 则取 $y_t - \sqrt{r_1^2 - x_{tag}^2}$; 反之取 $y_t + \sqrt{r_1^2 - x_{tag}^2}$ 。

8. 一种融合定位系统, 所述系统用于对具有行进轮的目标主体进行定位, 所述融合定位系统包括惯性导航模块、基于行进轮的速度测量模块以及融合定位解算模块, 其特征在于, 所述融合定位解算模块采用权利要求1-7中任意一项所述的方法进行定位解算。

9. 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其中, 该程序被处理器执行时实现根据权利要求1至7中任一项所述的方法。

一种融合定位方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及导航定位技术领域,更具体涉及组合导航技术领域。本发明可应用于室外无人驾驶系统、室内智能小车系统等需要移动主体定位信息的系统。

背景技术

[0002] 车辆导航定位是无人驾驶系统的关键技术之一,精密、安全的无人驾驶系统需在任何时间和空间获得高精度的车辆定位信息。由于基于微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)技术的惯性导航模块(Inertial Navigation System, INS)的加速度计测量结果受多种噪声影响,基于惯性导航模块航位推算的车辆定位结果误差随时间迅速累积,无法长时间定位,需与其他传感器结合使用。目前,惯性导航模块与速度计(里程计)和射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)融合是一种可能的定位方案。以如图1所示的定位场景为例,路面设置RFID标签,车辆上安装车载RFID阅读器,惯性导航模块和速度计安装在车辆上。RFID标签提供离散的绝对位置坐标,惯性导航模块与速度计完成相对位置推算。由于RFID标签能够对惯性导航模块与速度计进行修正,在整体上降低了惯性导航模块与速度计长距离定位难度,是一种可行的高精度定位方法。然而,针对无人驾驶系统场景,此方案相关算法缺乏这一场景下可实现的构造方法,同时还存在进一步提升定位精度的空间。

[0003] 目前,现有大量方案均是基于传感器误差的卡尔曼滤波融合定位算法,将惯性导航模块、速度计和RFID传感器在各个方向的系统误差作为卡尔曼滤波的状态量,以惯性导航模块推算位置与RFID位置的差值、惯性导航模块推算速度与速度计的差值作为观测量进行卡尔曼滤波得到定位结果。比如,孙伟等人在中国专利CN107402005A中公开的“一种基于惯性/里程计/RFID的高精度组合导航方法”,以及KIM IN-JUN(KR)等在美国专利US2005143916中公开的“Positioning apparatus and method combining RFID, GPS and INS”都是基于上述方法。

[0004] 但是,现有的导航定位方案主要存在三个问题:

[0005] (1) 观测量使用的是惯性导航模块推算的位置和速度,即,观测量构建方式直接采用惯性导航模块单独推算的位置和速度与其他传感器对应量相减,而由于惯性导航模块误差累积速度非常快,导致观测量严重远离实际误差,难以达到高精度的定位;

[0006] (2) 缺少对噪声协方差矩阵构建,而卡尔曼滤波的精度和收敛性取决于过程噪声和观测噪声协方差矩阵,因此如何设计十分重要,但是现有技术均根据经验和实际效果进行调参,未给出如何根据其物理意义构建噪声协方差矩阵,以避免盲目调参的问题;

[0007] (3) 在RFID标签处,以RFID内存储的绝对位置信息直接去修正如惯性导航模块等其他传感器。而在实际中,RFID阅读器天线存在一定的覆盖范围,当车辆阅读到RFID标签时,车辆与RFID标签之间存在一定的位置偏差,直接将RFID标签存储的绝对位置信息视为车辆当前位置,误差最大可达RFID标签与阅读器的最大通信距离,大大降低位置修正精度。

[0008] 因此,现有的基于传感器误差的卡尔曼滤波融合定位方法都存在上述问题中的至

少一种,在定位精度上均有更进一步提高的需要。

发明内容

[0009] 申请人首先从理论上简述本发明的融合定位方法的原理,卡尔曼滤波状态量和观测测量的形式,并概括说明本发明的方案如何解决背景技术中提到的三个问题。

[0010] 针对上述问题(1):

[0011] 现有技术中惯性导航模块可测量车辆三轴加速度,在每一个轴方向上,对加速度在时间上一次积分得到速度,对加速度在时间上二次积分得到位置,其位置推算方程为

$$[0012] \quad p_k = p_{k-1} + v_{k-1}\Delta t + \frac{1}{2}a_{k-1}\Delta t^2 \quad (1)$$

[0013] 其中 Δt 为惯导数据更新周期, p_k 为 k 时刻的位置,其由 $k-1$ 时刻位置 p_{k-1} 、速度 v_{k-1} 和加速度 a_{k-1} 计算得到。由于加速度计噪声的存在,由其推算出的速度和位置误差随时间累积。引入速度计,其可测量车辆线速度,结合惯性导航模块测量的偏航角分解可得各方向速度,其可对惯性导航模块一次积分结果,即速度,进行卡尔曼滤波融合;引入RFID标签,其内部存储绝对位置坐标信息,同时结合接收的信号强度指示RSSI(Received Signal Strength Indicator)解算出车辆相对于标签的位置,对惯性导航模块二次积分结果,即位置,进行修正。

[0014] 本发明根据速度计和RFID标签的数据输出频率,设计了一种速度计与惯导卡尔曼滤波、离散RFID修正相结合的方法。卡尔曼滤波状态量为各轴方向的位置、速度和加速度;观测量为各轴方向离散的RFID处位置、速度计线速速度和惯导加速度;构造的状态量和观测测量直接使用惯导的加速度原始值,不直接取积分结果,且结合精度较高的惯性导航模块偏航角对线速度分解,解决了问题(1)。

[0015] 针对问题(2):

[0016] 卡尔曼滤波中存在两个先验噪声量,过程噪声和观测噪声。过程噪声指从 $k-1$ 时刻推测 k 时刻状态量的误差;观测噪声指传感器(惯性导航模块、速度计)观测数据的噪声。本发明方法中以协方差矩阵给出这两个噪声量。对于观测噪声,可根据实测的惯性导航模块和速度计的静态数据进行统计,得到噪声的方差情况,而不同方向、不同传感器噪声是独立的,因此可构建观测噪声协方差矩阵;对于过程噪声,除了自协方差,还存在位置、速度与加速度之间的耦合,其代表了加速度的不确定性带给速度预测和位置预测的不确定性度量,本发明中根据加速度计的噪声对其进行了推导,获得接近实际的噪声矩阵,使卡尔曼滤波具有高输出精度和快收敛性,解决了问题(2)。针对问题(3):

[0017] 现有技术中,基于接收的信号强度指示的三边RFID标签定位在室内静态场景的方案有很多。但是发明人注意到在移动主体定位,比如,车辆定位中,RFID标签阅读器相对于RFID标签往往是单向运动的,基于这样的特征,本发明在基于RFID标签进行定位时,采用了一种创新的RFID标签定位方法,即提出了一种基于速度判断的双阅读器定位方法,利用双阅读器接收的信号强度指示得到两个可行解,再结合速度确定唯一解。最终在RFID标签处得到精度更高的车辆位置修正,解决了问题(3)。

[0018] 针对上述问题,本申请的发明人提出了一种融合定位方法及系统,其可以实现基于惯导/RFID/速度计融合的高精度定位。

[0019] 根据本发明的一个方面,提供了一种融合定位方法,所述方法用于对具有行进轮的目标主体进行定位,所述目标主体具有惯性导航模块和基于行进轮的速度测量模块,其特征在于,所述方法包括:

[0020] 步骤1:利用所述惯性导航模块和速度测量模块实时测量所述目标主体的加速度和速度;

[0021] 步骤2:将所测得的速度和加速度作为滤波观测量代入卡尔曼滤波方程组,进行所述目标主体的位置预测,其中,在所述卡尔曼滤波方程组中利用各个滤波状态量之间的噪声协方差矩阵对所述滤波状态量进行修正,所述噪声协方差矩阵基于所述惯性导航模块和速度测量模块的噪声方差确定。

[0022] 在一种优选实现方式中,在所述目标主体及其行进路径上设置有基于位置标签的定位模块,所述方法还包括步骤3:利用所述定位模块获取所述目标主体的位置信息,基于所述位置信息对所述位置预测的结果进行修正。

[0023] 在另一种优选实现方式中,所述惯性导航模块和速度测量模块的噪声方差在所述目标主体保持静止,行进轮旋转的情况下进行测定。

[0024] 在另一种优选实现方式中,所述速度测量模块为速度计,所述定位模块包括设置于所述目标主体的RFID阅读器和设置于路面内的RFID标签,所述目标主体为车辆。

[0025] 在另一种优选实现方式中,噪声协方差矩阵包括:

[0026] (1) 过程噪声协方差矩阵Q,

$$[0027] \quad Q = \begin{bmatrix} D_a \Delta t^4 / 4 & 0 & D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 / 2 & 0 \\ 0 & D_a \Delta t^4 / 4 & 0 & D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 / 2 \\ D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 & 0 & D_a \Delta t & 0 \\ 0 & D_a \Delta t^3 / 2 & 0 & D_a \Delta t^2 & 0 & D_a \Delta t \\ D_a \Delta t^2 / 2 & 0 & D_a \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D_a \Delta t^2 / 2 & 0 & D_a \Delta t & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \text{其中 } D_a \text{ 为所述}$$

惯性导航模块中加速度计的噪声方差, Δt 为惯性导航模块更新周期;

[0028] 以及(2) 观测噪声协方差矩阵R, $R = \text{diag}(D_v, D_v, D_a, D_a)$, 其中, D_v 为所述速度测量模块的噪声方差。

[0029] 在另一种优选实现方式中,所述卡尔曼滤波方程组为:

$$[0030] \quad \begin{aligned} X_k^- &= A \hat{X}_{k-1} \\ P_k^- &= A P_{k-1} A^T + Q \\ K_k &= P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \\ \hat{X}_k &= X_k^- + K_k (Z_k - H X_k^-) \\ P_k &= (I - K_k H) P_k^- \end{aligned}$$

[0031] 其中,A为状态转移矩阵,H为观测矩阵, X_k^- 和 P_k^- 为预测的k时刻滤波状态量和误差协方差, K_k 为卡尔曼滤波增益, \hat{X}_k 为修正后的k时刻滤波状态量和误差协方差,I为6*6的单位矩阵。

[0032] 在另一种优选实现方式中,所述滤波状态量为 $X = [p_x, p_y, v_x, v_y, a_x, a_y]^T$, 其中, p_x ,

p_y 为所述目标主体的二维位置坐标、 v_x, v_y 为所述目标主体的二维速度, a_x, a_y 为所述目标主体的二维加速度;所述观测量为 $Z_k = [\tilde{v}_x, \tilde{v}_y, \tilde{a}_x, \tilde{a}_y]^T$, 其中, $\tilde{v}_x = v_{l,k} \cos \theta_k, \tilde{v}_y = v_{l,k} \sin \theta_k, v_{l,k}$ 为所述目标主体的线速度, θ_k 为所述目标主体的偏航角。

[0033] 在另一种优选实现方式中,所述目标主体内沿垂直于其行进方向横向布置两个RFID阅读器

[0034] 所述步骤3包括:

[0035] 3.1、基于两个所述RFID阅读器获取的RFID标签的信号强度指示值,由路径损耗模型解算出所述RFID标签与所述目标主体的两个可能相对位置;

[0036] 3.2、基于两个所述RFID阅读器对所述RFID标签的识别时间、车速确定所述RFID标签的相对位置;

[0037] 3.3、读取所述RFID标签内存储的所述RFID标签的绝对位置信息,

[0038] 计算出所述目标主体的位置信息。

[0039] 根据本发明的另一方面,提供了一种融合定位系统,所述系统用于对具有行进轮的目标主体进行定位,所述融合定位系统包括惯性导航模块、基于行进轮的速度测量模块以及融合定位解算模块,其特征在于,所述融合定位解算模块采用所述的方法进行定位解算。

[0040] 根据本发明的另一方面,提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其中,该程序被处理器执行时实现根据所述的方法。

[0041] 技术效果

[0042] 本发明通过对卡尔曼滤波参数的重新设计,对卡尔曼滤波算法中状态量、观测量、过程噪声协方差矩阵和观测噪声协方差进行创新构造,可在任意时间和空间给出定位结果,实现高精度定位输出,满足实际应用要求。

[0043] 此外,本发明在RFID部分仅使用两个RFID阅读器实现了比采用三个RFID阅读器同等、甚至更加准确的位置修正。本发明引入了基于速度判断的双阅读器RFID标签定位算法进一步提升了位置修正精度。

附图说明

[0044] 以下附图仅对本发明作示意性的说明和解释,并不用于限定本发明的范围,其中:

[0045] 图1为现有的惯性导航模块/RFID/速度计定位方案的场景示意图;

[0046] 图2为本发明实施例中的惯性导航模块/RFID/速度计融合定位的流程示意图;

[0047] 图3为本发明实施例中采用RFID标签进行定位的原理示意图;

[0048] 图4为采用本发明实施例中的定位方案和采用现有方案的仿真性能对比图。

具体实施方式

[0049] 为了使本发明的目的、技术方案、设计方法及优点更加清楚明了,以下结合附图通过具体实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0050] 下面首先结合附图对本发明的原理以及实施例进行详细说明。

[0051] 本实施例中,融合定位系统包括惯性导航模块、RFID标签及阅读器、速度计。惯性导航模块、RFID标签及阅读器、速度计的设置与图1中所示的现有设置方式类似,若干RFID标签设置于路面内,优选沿着路面中心线布置,惯性导航模块、RFID阅读器和速度计设置于目标车辆或其他移动主体内。

[0052] 图2为本实施例中的惯性导航模块/RFID/速度计融合定位方法的示意流程图。当车辆在二维平面内运动时,首先实时利用车辆上所安装的惯性导航模块进行车辆运动中的三轴加速度、三个姿态角的测量运算,并将所解算出的三轴加速度、三个姿态角的信息提供给融合定位系统(比如,其中的融合定位模块或者其他运算单元),速度计测量车辆的线速度,RFID阅读器读取路面的RFID标签内存储的位置信息,进而提供绝对位置修正。

[0053] 本实施例中,利用该融合定位系统进行定位的过程包括两部分,模型预先构建以及实时数据采集和位置预测。

[0054] 其中,模型预先构建部分包括:

[0055] 步骤1:噪声预估计;

[0056] 步骤2:卡尔曼滤波状态量和观测量构建;

[0057] 步骤3:噪声矩阵构建;

[0058] 实时数据采集和位置预测部分包括:

[0059] 步骤4:实时数据采集和基于卡尔曼滤波的位置预测;

[0060] 步骤5:基于RFID标签定位对位置预测结果进行修正。

[0061] 下面分别就上述五个步骤进行展开说明。

[0062] 1、噪声预估计

[0063] 噪声估计前需要数据采集,数据采集时,在车辆的车身静止、但是车轮运动的状态下测量加速度计和速度计的静态数据。可以将车辆后轮悬空,设定一定的转速,测量速度计和惯性导航模块中加速度计的数据,作为静态数据,低阶均值滤波后估计出加速度计噪声方差 D_a 和速度计噪声方差 D_v 。

[0064] 由于惯性导航模块和速度计测量值存在惯性噪声等诸多非高斯噪声成分,一般为在局部采样点上幅值较大的高频噪声,因此,在采样频率100Hz情况下,本实施例中首先对二者提供的原始数据使用阶数为10-20阶的低阶均值滤波来滤除这些噪声的影响,具体表达为 $\xi(k) = \sum_{i=0}^{\Omega} \xi(k-i) / \Omega$, $\xi(k)$ 为k时刻采样值, Ω 为阶数。

[0065] 使用低阶均值滤波后的数据估计出加速度计噪声方差 D_a 以及速度计噪声方差 D_v 。

比如,根据 $D = \sum_{k=1}^K (\xi(k) - \mu)^2 / K$ 进行噪声估计,其中K为总采样点数、 μ 为采样值均值。

[0066] 2、卡尔曼滤波状态量和观测量构建

[0067] 设卡尔曼滤波状态量为 $X = [p_x, p_y, v_x, v_y, a_x, a_y]^T$,其中 p_x, p_y 为导航坐标系下的二维位置坐标(即平面坐标,这里不考虑z方向), v_x, v_y 为二维速度, a_x, a_y 为二维加速度。则设计的状态预测方程为

$$[0068] \quad X_k = AX_{k-1} + W_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & \Delta t^2/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & \Delta t^2/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X_{k-1} + W_{k-1} \quad (2)$$

[0069] 式中 X_k 为 k 时刻滤波状态量, A 代表状态转移矩阵,表示两个相邻时刻状态推算关系, Δt 为惯性导航模块更新周期, W_{k-1} 表示由第 $k-1$ 时刻预测第 k 时刻滤波状态量的过程噪声值, $W = [n_1 \ n_2 \ n_3 \ n_4 \ n_5 \ n_6]^T$,服从均值向量为 $0_{6 \times 1}$ 的6维联合正态分布,即

$$[0070] \quad f(n_1, n_2, \dots, n_6) = f(W^T) = \frac{1}{(2\pi)^3 (\det Q)^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} W Q^{-1} W^T \right\} \quad (3)$$

[0071] 其中 Q 为 6×6 的协方差矩阵, $n_1 \ n_2 \ n_3 \ n_4 \ n_5 \ n_6$ 为各个状态量的过程噪声。当然,本领域技术人员应该理解,当在本实施例的状态量基础上额外增加状态量时,矩阵阶数也相应的增加,本实施例中的6行、6列仅仅是个示例。

[0072] 本实施例的方案中,二维的加速度和速度为可观测量,其中加速度值由惯性导航模块测得,速度由速度计测得。观测方程为

$$[0073] \quad Z_k = \begin{bmatrix} \tilde{v}_x \\ \tilde{v}_y \\ \tilde{a}_x \\ \tilde{a}_y \end{bmatrix} = H X_k + V_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & v_x & v_y & a_x & a_y \end{bmatrix}^T + V_k \quad (4)$$

[0074] 其中 Z_k 为观测状态量, $\tilde{v}_x, \tilde{v}_y, \tilde{a}_x, \tilde{a}_y$ 为速度计和惯性导航模块测量到的XY方向速度和加速度, H 为观测矩阵,代表了观测和实际量的关系; V_k 为 k 时刻观测噪声,其表征惯性导航模块和速度计传感器噪声情况,即为观测值与真值之间的差异,用协方差矩阵 R 衡量其统计特性。

[0075] 由于速度计测量到的为车辆线速度 $v_{l,k}$,需根据惯性导航模块输出的偏航角 θ_k 分解至XY方向,即 $\tilde{v}_x = v_{l,k} \cos \theta_k, \tilde{v}_y = v_{l,k} \sin \theta_k$ 。当前惯性导航模块偏航角精度高,误差小于 1° ,稳定性在 0.1° 内,可平滑输出角度值,因此可忽略其对速度噪声的影响。

[0076] 3、噪声协方差矩阵构建

[0077] 对于过程噪声协方差矩阵,由于状态预测方程中速度和位置均由加速度计算得到,因此协方差矩阵 Q 表示了预测过程中由加速度的不确定性带给速度预测和位置预测不确定性的度量。

[0078] 本实施例中,根据协方差的定义,矩阵 Q 中从第一行到第六行以及第一列到第六列代表的变量与滤波状态量一致,即从 p_x 到 a_y 的顺序,每个元素为所在行和列表示的相应滤波状态量之间协方差。例如, X 方向位置 p_x 过程噪声 n_1 包含了从 $k-1$ 时刻推算 k 时刻时XY方向加速度、XY方向速度和XY方向位置六部分的不确定性,因此 Q 的第一行为

$$[0079] \quad [\text{Cov}(p_x, p_x) \quad \text{Cov}(p_x, p_y) \quad \text{Cov}(p_x, v_x) \quad \text{Cov}(p_x, v_y) \quad \text{Cov}(p_x, a_x) \quad \text{Cov}(p_x, a_y)]$$

[0080] 同理第二行为

[0081] $[\text{Cov}(p_x, p_x) \text{ Cov}(p_y, p_y) \text{ Cov}(p_y, v_x) \text{ Cov}(p_y, v_y) \text{ Cov}(p_y, a_x) \text{ Cov}(p_y, a_y)]$

[0082] 以此类推,其中由位置推算的不确定性 $\text{Cov}(p_x, p_x)$ 可由式(4)计算得到

$$\begin{aligned} \text{Cov}(p_x, p_x) &= E\left[\left(\frac{1}{2}a_x\Delta t^2\right)\left(\frac{1}{2}a_x\Delta t^2\right)\right] - E^2\left(\frac{1}{2}a_x\Delta t^2\right) \\ [0083] \quad &= \frac{1}{4}\Delta t^4 E[a_x^2] - \frac{1}{4}\Delta t^4 E^2[a_x] = \frac{1}{4}\Delta t^4 D_a \end{aligned} \quad (5)$$

[0084] 其中 D_a 代表加速度计噪声方差,其可由预先采集的数据估计。按照上述构造方法,可得到6*6的Q矩阵中每个元素值。特别地,由于两个时刻的加速度 $a_{x,k-1}$ 、 $a_{y,k-1}$ 与 $a_{x,k}$ 、 $a_{y,k}$ 不存在推算关系,故 $\text{Cov}(a_x, a_x) = 0$, $\text{Cov}(a_y, a_y) = 0$;由于两个正交方向XY上的各参数(加速度、速度和位置)是独立的,因此不存在推算关系。最终协方差矩阵Q为

$$[0085] \quad Q = \begin{bmatrix} D_a\Delta t^4/4 & 0 & D_a\Delta t^3/2 & 0 & D_a\Delta t^2/2 & 0 \\ 0 & D_a\Delta t^4/4 & 0 & D_a\Delta t^3/2 & 0 & D_a\Delta t^2/2 \\ D_a\Delta t^3/2 & 0 & D_a\Delta t^2 & 0 & D_a\Delta t & 0 \\ 0 & D_a\Delta t^3/2 & 0 & D_a\Delta t^2 & 0 & D_a\Delta t \\ D_a\Delta t^2/2 & 0 & D_a\Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & D_a\Delta t^2/2 & 0 & D_a\Delta t & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0086] 得到协方差矩阵后,可确定过程噪声值W的概率密度函数,即公式(3),由此可生成过程噪声值。

[0087] 对于预测噪声协方差矩阵,由于速度计和加速度计是独立的,并且XY方向也是独立的,因此矩阵R为对角矩阵,对角元素按照 Z_k 所代表的参数顺序自上到下分别为X方向速度计噪声方差、Y方向速度计噪声方差、X方向加速度计噪声方差和Y方向加速度计噪声方差,即 V_k 协方差矩阵R为

$$[0088] \quad R = \text{diag}(D_v, D_v, D_a, D_a) \quad (7)$$

[0089] 其中 D_v 为速度计噪声方差,其可由预先采集的静态数据估计。据此可得

$$V_k = \sqrt{R} \mathcal{N}_{V,k}, \quad \mathcal{N}_{V,k} \text{ 为 } 4 \times 1 \text{ 的 } k \text{ 时刻正态分布噪声值。}$$

[0090] 构建上述方程后,可应用卡尔曼滤波方程组得到对滤波状态量 X_k 的估计 \hat{X}_k 。

$$\begin{aligned} X_k^- &= A\hat{X}_{k-1} \\ P_k^- &= AP_{k-1}A^T + Q \\ [0091] \quad K_k &= P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \\ \hat{X}_k &= X_k^- + K_k(Z_k - HX_k^-) \\ P_k &= (I - K_k H)P_k^- \end{aligned} \quad (8)$$

[0092] 其中,A为状态转移矩阵,H为观测矩阵, X_k^- 和 P_k^- 为预测的k时刻滤波状态量和滤波状态量的误差协方差, K_k 为卡尔曼滤波增益, \hat{X}_k 和 P_k 分别为为修正后的k时刻滤波状态量和滤波状态量的误差协方差,I为6*6的单位矩阵。

[0093] 4、实时数据采集和位置预测

[0094] 正式测量时,将惯性导航模块和速度计所测得的数据使用卡尔曼滤波算法融合,引入过程噪声协方差矩阵和观测噪声协方差矩阵,该过程噪声协方差矩阵和观测噪声协方

差矩阵已经由上述估计的噪声方差值推导得到。对惯性导航模块和速度计所测得的数据按照公式(8)进行卡尔曼滤波后,输出以惯性导航模块更新频率为准的定位结果输出。

[0095] 5、基于RFID标签定位对卡尔曼滤波结果进行修正。

[0096] 在基于惯性导航模块和速度计利用卡尔曼滤波进行位置预测的同时,实时利用RFID阅读器进行RFID标签的检测。当RFID阅读器检测到RFID标签存在时,执行RFID标签定位,结合接收的信号强度指示值、车辆速度计算车辆与标签之间相对位置和RFID标签内部存储的绝对位置,修正卡尔曼滤波结果,并以此位置继续进行位置推算。RFID定位过程可以采用现有方法,也可以采用本实施例下面介绍的改进方法。

[0097] 针对现有的基于RFID标签定位的缺陷,本申请的发明人进行了改进。

[0098] 发明人在研发设计过程中注意到在车辆定位中,阅读器相对于标签往往是单向运动的。于是在本实施例的方案中,发明人巧妙的对该特征进行了利用,提出了创新的基于RFID标签进行定位的定位方案以弥补现有技术的缺陷。

[0099] 按照现有的RFID标签使用方法,在静态的RFID标签定位场景中,使用三个阅读器可确定唯一位置解,因此必须使用三个阅读器来进行基于RFID标签的定位。

[0100] 但是在本实施例的一种优选实现方案中,发明人根据车辆定位这种动态的场景,车辆运动具有单向性且速度可得这一特性,减少一个RFID阅读器,即设置两个RFID阅读器,并且也获得了唯一定位解。由于RFID标签沿车道中心线布置,其出现在车的底部区域,因此本实施例中给出了如图3所示的阅读器安装方式,将两个RFID阅读器横向设置在车体两侧,使两个阅读器间距为 $L_{R1,R2}$,距离地面 H_c 。由于在自动驾驶过程中,基本是以车道中心为基准进行车道保持,因此,RFID标签出现位置主要在左右两侧阅读器之间,如果使用两个阅读器,RFID标签坐标解有两个,分别位于阅读器连线前后。然后,获取车速信息和RFID识别时间,基于车速信息和RFID识别时间可以得到唯一解。

[0101] 车辆上的RFID阅读器实时监听路面上是否存在RFID标签,设在某时刻检测到标签,并成功接收到RFID存储的绝对位置信息 x_t 和 y_t 以及两个阅读器相应的接收的信号强度指示测量值为 RSS_1 和 RSS_2 。根据图中所示几何关系,设符合自由空间路径损耗模型,标签反射功率 P_t ,工作频率为 f ,以 $R1$ 为例,则在路面形成的候选位置为圆,其半径 r_1 为

$$[0102] \quad r_1 = \sqrt{10^{\frac{1}{20}(P_t - RSS_1 - 32.4 - 20 \lg f)} - H_c^2} \quad (9)$$

[0103] r_2 计算同理。由两圆相交公式,可得两个坐标解为

$$[0104] \quad (x_{tag}, y_{tag}, -H_c) = \left(x_t + \frac{r_1^2 - r_2^2 + L_{R1,R2}^2}{2L_{R1,R2}}, y_t \pm \sqrt{r_1^2 - x_{tag}^2}, -H_c \right) \quad (10)$$

[0105] 设标签识别时间为 t_{ident} ,阅读区域为圆形,半径为 r ,识别期间车速为 $v_{1,k}$,若满足 $v_{1,k} > \sqrt{(r^2 - r_1^2)/4} / t_{ident}$,则取 $y_t - \sqrt{r_1^2 - x_{tag}^2}$;反之取 $y_t + \sqrt{r_1^2 - x_{tag}^2}$,即可以通过该公式确定车辆的当前位置。

[0106] 仿真实例:

[0107] (1) 仿真参数设置

[0108] 车辆从原点由静态出发,沿x正方向直线行驶约600m,随后转弯至y正方向,直线行驶约120m,转弯至x负方向直线行驶约600m,进入曲率约为1/60的弯道路段,行驶至原点处

停止。整个过程涉及的参数值如表1所示。

	参数	值	参数	值
	最大加速度	0.72m/s ²	RFID 的 RSSI 测量精度	1dBm
	最大速度	10m/s ² (36km/h)	RFID 阅读半径	0.1m
[0109]	弯道曲率	1/60	RFID 标签识别时间	20ms
	INS 加速度计噪声标准差	2.925mg(g=9.8m/s ²)	RFID 阅读器间距	0.9m
	INS 姿态角标准差	1°	RFID 阅读器发射功率	15dBm
	速度计误差	±2%	底盘高度	0.2m
	标签间距	10m		

[0110] 表1仿真参数设置及说明

[0111] 仿真选择了：(1) 惯性导航模块单独工作、(2) 惯性导航模块/速度计共同工作并利用卡尔曼滤波、(3) 惯性导航模块/速度计/RFID直接修正和(4) 本发明实施例中的惯性导航模块/速度计/RFID标签定位算法四种方案进行对比，以说明方案设计的有效性。

[0112] 图4给出了四种方案定位误差随时间变化曲线。

[0113] (1) 惯性导航模块单独工作时，由于自身测量的加速度噪声存在，定位误差随时间迅速累积，最终累积到4.5m的误差。(2) 惯性导航模块/速度计卡尔曼滤波对速度量进行了优化，可以大大降低惯性导航模块的推算误差，但长距离定位时，由于惯性导航模块和速度计噪声的存在，依然会有定位误差随时间的累积，最终达到约0.5m的误差。(3) 引入RFID直接修正后，以一定的间距对位置进行修正，可以消除整体上的误差累积趋势，但由于此方案直接以RFID标签存储的绝对位置信息作为当前车辆位置，因此修正时的误差是不确定的，最大可达RFID标签最大通信距离，仿真中局部定位误差可达0.3m左右。(4) 本发明实施例中的方案不仅对卡尔曼滤波进行了改进，而且对RFID的定位算法进行了改进，引入了新的RFID标签定位算法，可以有效的提高RFID标签处定位精度，同时使得后续的非RFID标签位置推算结果更加精确，使得本发明的定位方法在整体和局部均可以达到误差小于0.1m高精度的定位结果。

[0114] 以上已经描述了本发明的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择，旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术改进，或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

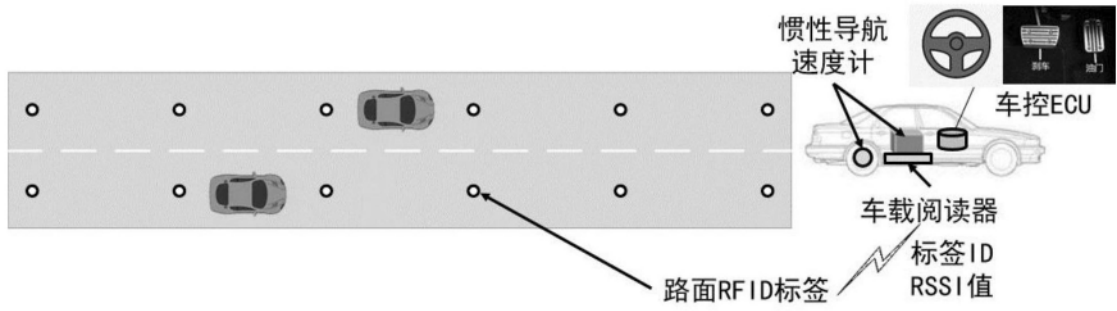


图1

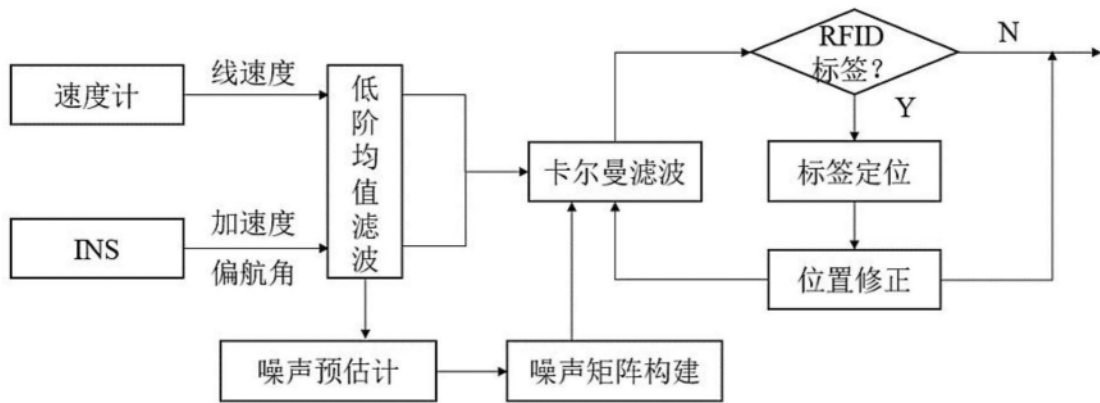


图2

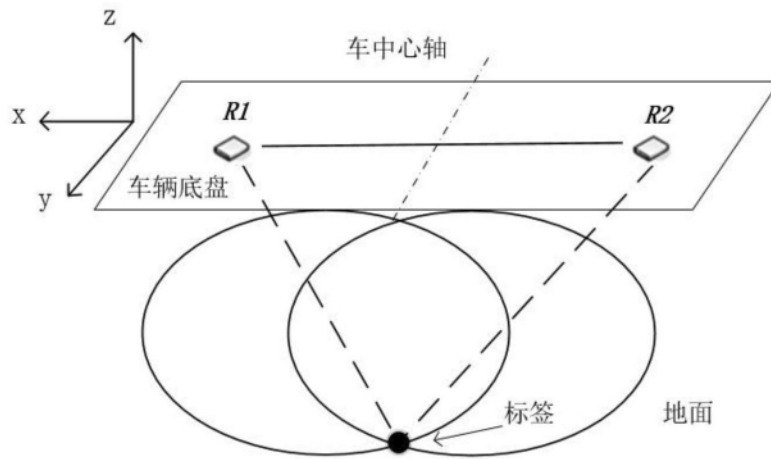


图3

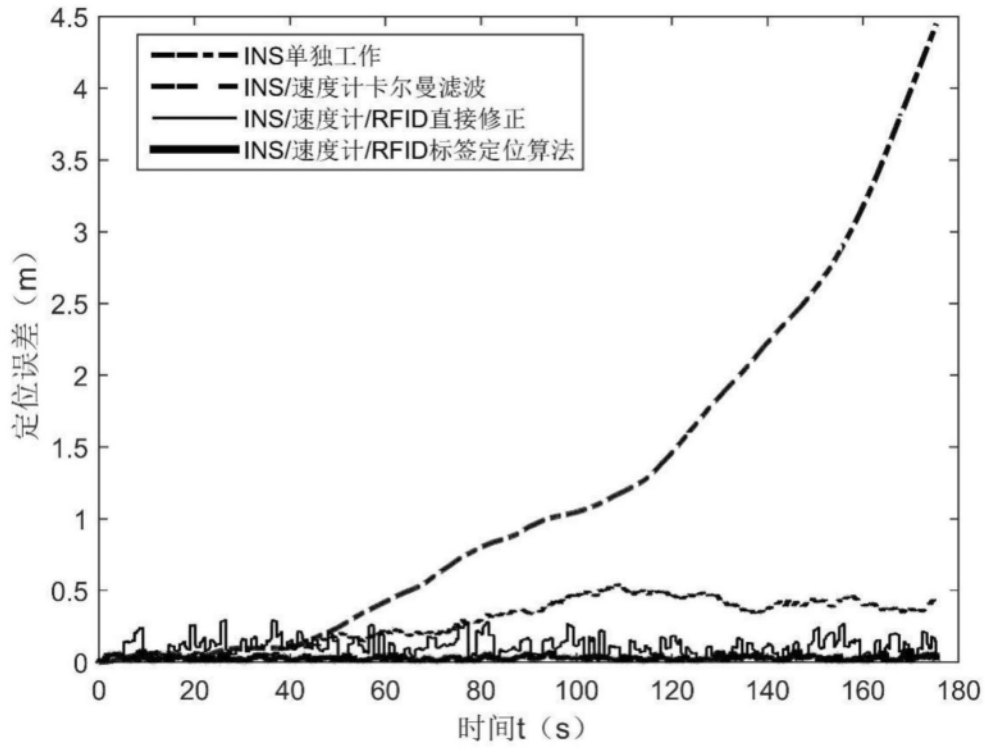


图4