



(12) 发明专利申请

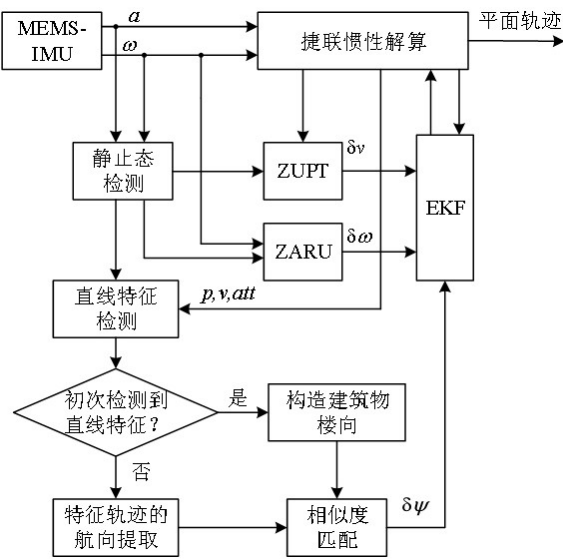
(10) 申请公布号 CN 113483753 A  
(43) 申请公布日 2021. 10. 08

(21) 申请号 202110762717.X  
(22) 申请日 2021.06.30  
(71) 申请人 北京航空航天大学  
地址 100191 北京市海淀区学院路37号  
(72) 发明人 夏鸣 施闯 李团  
(74) 专利代理机构 广州晟策知识产权代理事务  
所(普通合伙) 44709  
代理人 郑书鑫 李靖  
(51) Int. Cl.  
G01C 21/16 (2006.01)  
G01C 25/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称  
一种基于环境约束的惯航向误差消除方法

(57) 摘要  
本发明公开了一种基于环境约束的航向误差消除方法,利用了室内行走轨迹受建筑物楼向约束的特点来消除航向误差,有效提高了行人惯性定位系统的精度和稳定性,对于火场等复杂环境下人员定位具有十分重要的意义;不需要从航空影像图、建筑图纸等中来获取方向信息、算法复杂度低,易于工程实现。



1. 一种基于环境约束的航向误差消除方法,其特征在于,包括如下方法步骤:

步骤一、从安装于足部的MEMS-IMU传感器中采集三维加速度和三维角速度数据,并进行捷联解算,如式(1)所示

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{C}}_b^n = \mathbf{C}_b^n \Omega^b \\ \dot{\mathbf{V}}^n = \mathbf{C}_b^n \mathbf{f}^b + \mathbf{g}^n(1) \\ \dot{\mathbf{P}}^n = \mathbf{V}^n \end{cases}$$

其中,上标n和b分别表示导航坐标系和载体坐标系; $\mathbf{V}^n$ 和 $\dot{\mathbf{V}}^n$ 分别表示导航坐标系下的三维速度及其微分; $\dot{\mathbf{P}}^n$ 表示导航坐标系下三维位置的微分; $\mathbf{C}_b^n$ 和 $\dot{\mathbf{C}}_b^n$ 分别表示由b系到n系转换的姿态矩阵及其微分; $\Omega^b$ 表示由陀螺仪输出角速度构成的反对称矩阵; $\mathbf{f}^b$ 表示载体坐标系下的比力; $\mathbf{g}^n$ 表示地球重力场矢量;

步骤二、构造式(2)所示的统计值,进行零速更新检测(ZUPT),即对行走过程中传感器固定脚触地进行周期性检测,

$$T(k) = \frac{1}{W} \sum_{l=k}^{k+W-1} \frac{1}{\sigma_a^2} \|\mathbf{a}(l) - \mathbf{g} \cdot \frac{\bar{\mathbf{a}}}{\|\bar{\mathbf{a}}\|}\|^2 + \frac{1}{\sigma_w^2} \|\boldsymbol{\omega}(l)\|^2 \quad (2)$$

其中,a表示加速度; $\boldsymbol{\omega}$ 表示角速度;W表示窗长;k表示采样序号,取值为从W开始的整数;l依次取k-W+1到k的整数;g表示重力系数,为9.8; $\sigma_a^2$ 表示加速度的方差; $\sigma_w^2$ 表示角速度的方差; $\|\cdot\|$ 表示L-2范数; $\bar{\mathbf{a}}$ 表示窗长W内的平均加速度,

$\gamma$ 为ZUPT静止态的判定阈值,当T(k)小于 $\gamma$ 时,表示当前状态为ZUPT的静止态;反之,则为运动态,检测为静止态时,实际行走速度为零,而基于步骤一解算出来的三维速度不为零时,即可计算静止态的速度误差;

步骤三、基于步骤二所计算的速度误差作为观测量,采用扩展卡尔曼滤波(EKF)对步骤一中所求的定位结果三维速度、三维位置、姿态进行修正;

定义EKF的15维误差状态向量如下:

$$\delta \mathbf{x} = [\delta P^n \ \delta V^n \ \nabla^b \ \delta \phi^n \ \boldsymbol{\varepsilon}^b](3)$$

其中, $\delta P^n$ 、 $\delta V^n$ 、 $\delta \phi^n$ 、 $\boldsymbol{\varepsilon}^b$ 和 $\nabla^b$ 分别代表为三维位置误差向量、三维速度误差向量、三维姿态误差向量、三维陀螺漂移和三维加速度偏置,

EKF状态模型和观测模型分别如下所示:

$$\delta \mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{F}_k \delta \mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (4)$$

$$\delta \mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k \delta \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (5)$$

其中, $\delta \mathbf{x}_k$ 是k时刻的系统状态; $\delta \mathbf{z}_k$ 是k时刻的误差观测量; $\mathbf{F}_k$ 是转移矩阵, $\mathbf{H}_k$ 量测矩阵; $\mathbf{w}_k$ 为过程噪声; $\mathbf{v}_k$ 为量测噪声;

步骤四、根据步骤一至三所估计的水平位置,对当前及其之前连续m步的轨迹坐标进行直线拟合,所拟合的直线满足以下要求:

$$\begin{cases} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_{fit}(i) - y(i)| < \alpha \\ \max_{1 \leq i \leq m} \{|y_{fit}(i) - y(i)|\} < \beta \end{cases} \quad (6)$$

其中,x(i)和y(i)为捷联解算的定位结果,分别表示m步中第i步的横坐标和纵坐标; $y_{fit}(i)$ 表示x(i)与拟合直线对应的拟合值; $\alpha$ 表示m步轨迹与拟合直线间的均值阈值; $\beta$ 表示

m步的轨迹与拟合直线间的最大值阈值。

2. 根据权利要求1所述的基于环境约束的航向误差消除方法,还包括步骤五:在步骤四中拟合的直线具有如下所示:

$$y=r(1)x+r(2) \quad (7)$$

其中, $r(1)$ 和 $r(2)$ 分别表示直线斜率和纵轴上的截距。

3. 根据权利要求2所述的基于环境约束的航向误差消除方法,还包括步骤六,在步骤五中,由于惯性定位短时精度高,累积误差小,当首次检测到直线时,认为是真实无偏差的,并以直线的倾角 $\Psi$ 为基准,再以方向差为 $\pi/2$ 为间隔,构建四基准方向 $\{\Psi, \Psi-\pi, \Psi-\pi/2, \Psi+\pi/2\}$ ,针对部分非常规建筑中八个基准方向的情况,在四基准方向的基础上等间隔再增加四个基准方向, $\pi$ 的取值为3.14。

4. 根据权利要求3所述的基于环境约束的航向误差消除方法,还包括步骤七,当步骤五中非首次检测到直线时,根据拟合直线的倾角计算行走方向 $yaw\_fitline$ :

$$yaw\_fitline=atan2(y\_fit(m)-y\_fit(1),x(m)-x(1)) \quad (8)$$

其中, $atan2$ 函数的取值范围是 $[-\pi, \pi]$ ;  $(x(1), y\_fit(1))$ 和 $(x(m), y\_fit(m))$ 分别为拟合直线时的第一个和最后一个点的坐标。

5. 根据权利要求4所述的基于环境约束的航向误差消除方法,还包括步骤八,将步骤七中求得的行走方向与步骤六中的四个或八个楼向分别进行比较,将绝对最小的差值记作 $\delta yaw$ 。

6. 根据权利要求5所述的基于环境约束的航向误差消除方法,当步骤八中计算的 $\delta yaw$ 小于阈值 $\gamma$ 时, $\delta yaw$ 被视为EKF的航向误差,并构造EKF的量测矩阵H:

$$H = \begin{pmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & [001] & 0_{1 \times 3} \end{pmatrix} \quad (9)$$

其中, $0_{3 \times 3}$ 和 $I_{3 \times 3}$ 分别表示3行3列的零矩阵和单位矩阵; $0_{1 \times 3}$ 表示取值均为零的三维行向量; $[001]$ 表示行向量。

7. 根据权利要求6所述的基于环境约束的航向误差消除方法,将EKF估计出的误差对惯性定位结果进行修正。

8. 根据权利要求8所述的基于环境约束的航向误差消除方法,根据MEMS-IMU是否继续输出数据来判断定位是否结束,如果是,结束运行;如果不是,回转执行步骤二。

9. 一种可读存储介质,其特征在于,包括程序或指令,当所述程序或指令在计算机上运行时,如权利要求1至8中任一项所述的方法被执行。

## 一种基于环境约束的惯航向误差消除方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及行人自主定位领域,特别涉及一种基于环境约束的航向误差消除方法。

### 背景技术

[0002] 随着经济的不断发展,城市建筑的规模持续扩大,并且结构日益复杂。当楼宇内发生火灾时,消防搜救工作面临严峻挑战,消防员在应急救援过程中屡有伤亡。为保障消防员救火时的生命安全,推进“智慧消防”中的个人装备建设,以及提高消防救援的信息化水平,实时定位跟踪消防战士的运动轨迹具有十分重要的意义。

[0003] 由于室内火灾现场遮挡严重,无法基于卫星定位来实现人员位置的准确跟踪。依赖基础设施的室内定位技术,如UWB,WiFi,RFID,Zigbee等,需要预先部署网络设备或采集指纹库,相对电磁干扰强,可见度低,甚至断电的火场环境,这类技术的运用具有诸多限制。

[0004] 随着微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)技术的发展,基于惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, IMU)的定位方法具有自主性、低成本、低功耗等特点,受到广泛关注。惯性定位是一种相对定位方法,短时精度高,但是,长时间运行时累积误差严重。一直以来,零速更新(Zero Velocity Update, ZUPT)是行人惯性定位系统中应用最广泛的误差消除方法,可将随时间三次方变化的误差转化为线性时间误差。然而,航向误差对ZUPT具有弱可观性,由陀螺偏置不稳定引起的航向误差,仍是影响行人惯性定位系统水平精度的主要原因之一。研究人员基于边缘检测技术,从航空影像图、建筑图纸等来获取建筑物的主方向或者朝向(最小地图信息),通过建筑物的朝向作为约束来修正航向误差,这类方法需预先获取相关建筑物的地图信息,工作量大,并且消耗时间,不能很好地满足消防应急救援的要求。长期以来,消防室内定位具有迫切需求,但是其定位精度和稳定性还难以满足实际需求。

### 发明内容

[0005] 为解决现有技术中的上述问题,本发明提出一种基于环境约束的航向误差消除方法,有效提高了行人惯性定位系统的精度和稳定性,对于火场等复杂环境下人员定位具有十分重要的意义。

[0006] 本发明提出的一种基于环境约束的航向误差消除方法,主要包括以下步骤:

[0007] 1、从安装于足部的MEMS-IMU传感器中采集三维加速度和三维角速度数据,并进行捷联解算,如式(1)所示

$$[0008] \quad \begin{cases} \dot{C}_b^n = C_b^n \Omega^b \\ \dot{V}^n = C_b^n f^b + g^n(1) \\ \dot{P}^n = V^n \end{cases}$$

[0009] 其中,上标n和b分别表示导航坐标系和载体坐标系; $V^n$ 和 $\dot{V}^n$ 分别表示导航坐标系下的三维速度及其微分; $\dot{P}^n$ 表示导航坐标系下三维位置的微分; $C_b^n$ 和 $\dot{C}_b^n$ 分别表示由b系到

n系转换的姿态矩阵及其微分； $\Omega^b$ 表示由陀螺仪输出角速度构成的反对称矩阵； $f^b$ 表示载体坐标系下的比力； $g^n$ 表示地球重力场矢量；

[0010] 2、构造式(2)所示的统计值,进行零速更新检测(ZUPT),即对行走过程中传感器固定脚触地进行周期性检测,

$$[0011] \quad T(k) = \frac{1}{W} \sum_{l=k}^{k+W-1} \frac{1}{\sigma_a^2} \|a(l) - g \cdot \frac{\bar{a}}{\|\bar{a}\|}\|^2 + \frac{1}{\sigma_w^2} \|\omega(l)\|^2 \quad (2)$$

[0012] 其中,a表示加速度； $\omega$ 表示角速度；W表示窗长；k表示采样序号,取值为从W开始的整数；l依次取k-W+1到k的整数；g表示重力系数,为9.8； $\sigma_a^2$ 表示加速度的方差； $\sigma_w^2$ 表示角速度的方差； $\|\cdot\|$ 表示L-2范数； $\bar{a}$ 表示窗长W内的平均加速度,

[0013]  $\gamma$ 为ZUPT静止态的判定阈值,当T(k)小于 $\gamma$ 时,表示当前状态为ZUPT的静止态;反之,则为运动态,检测为静止态时,实际行走速度为零,而基于步骤一解算出来的三维速度不为零时,即可计算静止态的速度误差;

[0014] 3、基于步骤二所计算的速度误差作为观测量,采用扩展卡尔曼滤波(EKF)对步骤一中所求的定位结果三维速度、三维位置、姿态进行修正;

[0015] 定义EKF的15维误差状态向量如下:

$$[0016] \quad \delta x = [\delta P^n \delta V^n \nabla^b \delta \phi^n \varepsilon^b](3)$$

[0017] 其中, $\delta P^n$ 、 $\delta V^n$ 、 $\delta \phi^n$ 、 $\varepsilon^b$ 和 $\nabla^b$ 分别代表为三维位置误差向量、三维速度误差向量、三维姿态误差向量、三维陀螺漂移和三维加速度偏置,

[0018] EKF状态模型和观测模型分别如下所示:

$$[0019] \quad \delta x_{k+1} = F_k \delta x_k + w_k \quad (4)$$

$$[0020] \quad \delta z_k = H_k \delta x_k + v_k \quad (5)$$

[0021] 其中, $\delta x_k$ 是k时刻的系统状态; $\delta z_k$ 是k时刻的误差观测量; $F_k$ 是转移矩阵, $H_k$ 量测矩阵; $w_k$ 为过程噪声; $v_k$ 为量测噪声;

[0022] 4、根据步骤一至三所估计的水平位置,对当前及其之前连续m步的轨迹坐标进行直线拟合,所拟合的直线满足以下要求:

$$[0023] \quad \begin{cases} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_{fit}(i) - y(i)| < \alpha \\ \max_{1 \leq i \leq m} \{|y_{fit}(i) - y(i)|\} < \beta \end{cases} \quad (6)$$

[0024] 其中,x(i)和y(i)为捷联解算的定位结果,分别表示m步中第i步的横坐标和纵坐标; $y_{fit}(i)$ 表示x(i)与拟合直线对应的拟合值; $\alpha$ 表示m步轨迹与拟合直线间的均值阈值; $\beta$ 表示m步的轨迹与拟合直线间的最大值阈值;

[0025] 5、在步骤四中拟合的直线具有如下所示:

$$[0026] \quad y = r(1)x + r(2) \quad (7)$$

[0027] 其中,r(1)和r(2)分别表示直线斜率和纵轴上的截距;

[0028] 6、在步骤五中,由于惯性定位短时精度高,累积误差小,当首次检测到直线时,认为是真实无偏差的,并以直线的倾角 $\Psi$ 为基准,再以方向差为 $\pi/2$ 为间隔,构建四基准方向 $\{\Psi, \Psi - \pi, \Psi - \pi/2, \Psi + \pi/2\}$ ,针对部分非常规建筑中八个基准方向的情况,在四基准方向的基础上等间隔再增加四个基准方向, $\pi$ 的取值为3.14。

[0029] 7、当步骤五中非首次检测到直线时,根据拟合直线的倾角计算行走方向yaw\_

fitline:

[0030]  $\text{yaw\_fitline} = \text{atan2}(y\_fit(m) - y\_fit(1), x(m) - x(1))$  (8)

[0031] 其中,  $\text{atan2}$ 函数的取值范围是 $[-\pi, \pi]$ ;  $(x(1), y\_fit(1))$ 和 $(x(m), y\_fit(m))$ 分别为拟合直线时的第一个和最后一个点的坐标;

[0032] 8、将步骤七中求得的行走方向与步骤六中的四个或八个楼向分别进行比较, 将绝对最小的差值记作 $\text{delta\_yaw}$ ,

[0033] 9、当步骤8中计算的 $\text{delta\_yaw}$ 小于阈值 $\gamma$ 时,  $\text{delta\_yaw}$ 被视为EKF的航向误差, 并构造EKF的量测矩阵H:

[0034] 
$$H = \begin{pmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & [001] & 0_{1 \times 3} \end{pmatrix} \quad (9)$$

[0035] 其中,  $0_{3 \times 3}$ 和 $I_{3 \times 3}$ 分别表示3行3列的零矩阵和单位矩阵;  $0_{1 \times 3}$ 表示取值均为零的三维行向量;  $[001]$ 表示行向量。

[0036] 10、将EKF估计出的误差对惯性定位结果进行修正。

[0037] 11、根据MEMS-IMU是否继续输出数据来判断定位是否结束, 如果是, 结束运行; 如果不是, 回转执行步骤2。

[0038] 现有技术相比, 本发明所述的一种基于环境约束的航向误差消除方法, 具有如下优点:

[0039] 本发明所提基于环境约束的航向误差消除方法, 不需要从航空影像图、建筑图纸等中来获取方向信息。

[0040] 本发明所提的方法利用了室内行走轨迹受建筑物楼向约束的特点来消除航向误差。

[0041] 本发明所提算法复杂度低, 易于工程实现。

## 附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案, 下面将对实施例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一些实施例, 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, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0043] 图1为本申请系统总体框图。

[0044] 图2为基于环境约束的航向误差消除方法流程图。

[0045] 图3为识别示例。

## 具体实施方式

[0046] 以下描述中, 为了说明而不是为了限定, 提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节, 以便透彻理解本发明实施例。然而, 本领域的技术人员应当清楚, 在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中, 省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明, 以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0047] 应当理解, 当在本说明书和所附权利要求书中使用时, 术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在, 但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、

操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0048] 还应当理解,在此本发明说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本发明。如在本发明说明书和所附权利要求书中所使用的那样,除非上下文清楚地指明其它情况,否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

[0049] 还应当进一步理解,在本发明说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合,并且包括这些组合。

[0050] 本发明旨在利用行走时,将学习到的建筑物的楼向信息用于抑制惯性定位系统的航向误差,以提高水平定位精度。下面通过具体实施例对本发明作进一步详述,以下实施例只是描述性的,不是限定性的,不能以此限定本发明的保护范围。

[0051] 本发明中的MEMS-IMU嵌入鞋跟位置,基于IEZ(Inertial Navigation System-Extended Kalman Filter-Zero Velocity Update,INS-EKF-ZUPT),对传感器输出到的加速度和角速度信息进行惯性解算。在此基础上,结合行人步行的周期性特点,利用当前及过去连续多个步周期静止态下的坐标,检测直线行走轨迹。当首次检测到直线轨迹时,基于该直线的倾角构造建筑物的楼向。建筑物楼向此后将被用于估计具有直线特征轨迹的航向误差,并进行EKF滤波修正,从而消除航向漂移,提高水平定位精度。系统总体框图如图1所示。

[0052] 一种基于环境约束的航向误差消除方法流程图如图2所示,可通过以下具体步骤实现:

[0053] 1、从安装于足部的MEMS-IMU传感器中采集三维加速度和三维角速度数据,并进行捷联解算,如式(1)所示

$$[0054] \quad \begin{cases} \dot{C}_b^n = C_b^n \Omega^b \\ \dot{V}^n = C_b^n f^b + g^n(1) \\ \dot{P}^n = V^n \end{cases}$$

[0055] 其中,上标m和b分别表示导航坐标系和载体坐标系; $V^n$ 和 $\dot{V}^n$ 分别表示导航坐标系下的三维速度及其微分; $\dot{P}^n$ 表示导航坐标系下三维位置的微分; $C_b^n$ 和 $\dot{C}_b^n$ 分别表示由b系到n系转换的姿态矩阵及其微分; $\Omega^b$ 表示由陀螺仪输出角速度构成的反对称矩阵; $f^b$ 表示载体坐标系下的比力; $g^n$ 表示地球重力场矢量;

[0056] 2、构造式(2)所示的统计值,进行零速更新检测(ZUPT),即对行走过程中传感器固定脚触地进行周期性检测,

$$[0057] \quad T(k) = \frac{1}{W} \sum_{l=k}^{k+W-1} \frac{1}{\sigma_a^2} \|a(l) - g \cdot \frac{\bar{a}}{\|\bar{a}\|}\|^2 + \frac{1}{\sigma_w^2} \|\omega(l)\|^2 \quad (2)$$

[0058] 其中,a表示加速度; $\omega$ 表示角速度;W表示窗长;k表示采样序号,取值为从W开始的整数;l依次取k-W+1到k的整数;g表示重力系数,为9.8; $\sigma_a^2$ 表示加速度的方差; $\sigma_w^2$ 表示角速度的方差; $\|\cdot\|$ 表示L-2范数; $\bar{a}$ 表示窗长W内的平均加速度,

[0059]  $\gamma$ 为ZUPT静止态的判定阈值,当T(k)小于 $\gamma$ 时,表示当前状态为ZUPT的静止态;反之,则为运动态,检测为静止态时,实际行走速度为零,而基于步骤一解算出来的三维速度不为零时,即可计算静止态的速度误差;

[0060] 3、基于步骤二所计算的速度误差作为观测量,采用扩展卡尔曼滤波(EKF)对步骤一中所求的定位结果三维速度、三维位置、姿态进行修正;

[0061] 定义EKF的15维误差状态向量如下：

$$[0062] \quad \delta x = [\delta P^n \delta V^n \nabla^b \delta \phi^n \varepsilon^b](3)$$

[0063] 其中,  $\delta P^n$ 、 $\delta V^n$ 、 $\delta \phi^n$ 、 $\varepsilon^b$ 和 $\nabla^b$ 分别代表为三维位置误差向量、三维速度误差向量、三维姿态误差向量、三维陀螺漂移和三维加速度偏置,

[0064] EKF状态模型和观测模型分别如下所示：

$$[0065] \quad \delta x_{k+1} = F_k \delta x_k + w_k \quad (4)$$

$$[0066] \quad \delta z_k = H_k \delta x_k + v_k \quad (5)$$

[0067] 其中,  $\delta x_k$ 是k时刻的系统状态;  $\delta z_k$ 是k时刻的误差观测量;  $F_k$ 是转移矩阵,  $H_k$ 量测矩阵;  $w_k$ 为过程噪声;  $v_k$ 为量测噪声;

[0068] 4、根据步骤一至三所估计的水平位置,对当前及其之前连续m步的轨迹坐标进行直线拟合,所拟合的直线满足以下要求：

$$[0069] \quad \begin{cases} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y\_fit(i) - y(i)| < \alpha \\ \max_{1 \leq i \leq m} \{|y\_fit(i) - y(i)|\} < \beta \end{cases} \quad (6)$$

[0070] 其中,  $x(i)$ 和 $y(i)$ 为捷联解算的定位结果,分别表示m步中第i步的横坐标和纵坐标;  $y\_fit(i)$ 表示 $x(i)$ 与拟合直线对应的拟合值;  $\alpha$ 表示m步轨迹与拟合直线间的均值阈值;  $\beta$ 表示m步的轨迹与拟合直线间的最大值阈值;

[0071] 5、在步骤四中拟合的直线具有如下所示：

$$[0072] \quad y = r(1)x + r(2) \quad (7)$$

[0073] 其中,  $r(1)$ 和 $r(2)$ 分别表示直线斜率和纵轴上的截距;

[0074] 6、在步骤五中,由于惯性定位短时精度高,累积误差小,当首次检测到直线时,认为是真实无偏差的,并以直线的倾角 $\Psi$ 为基准,再以方向差为 $\pi/2$ 为间隔,构建四基准方向 $\{\Psi, \Psi - \pi, \Psi - \pi/2, \Psi + \pi/2\}$ ,针对部分非常规建筑中八个基准方向的情况,在四基准方向的基础上等间隔再增加四个基准方向,  $\pi$ 的取值为3.14。

[0075] 7、当步骤五中非首次检测到直线时,根据拟合直线的倾角计算行走方向yaw\_fitline:

$$[0076] \quad yaw\_fitline = \text{atan2}(y\_fit(m) - y\_fit(1), x(m) - x(1)) \quad (8)$$

[0077] 其中,  $\text{atan2}$ 函数的取值范围是 $[-\pi, \pi]$ ;  $(x(1), y\_fit(1))$ 和 $(x(m), y\_fit(m))$ 分别为拟合直线时的第一个和最后一个点的坐标;

[0078] 8、将步骤七中求得的行走方向与步骤六中的四个或八个楼向分别进行比较,将绝对最小的差值记作delta\_yaw,

[0079] 9、当步骤八中计算的delta\_yaw小于阈值 $\gamma$ 时, delta\_yaw被视为EKF的航向误差,并构造EKF的量测矩阵H:

$$[0080] \quad H = \begin{pmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & [001] & 0_{1 \times 3} \end{pmatrix} \quad (9)$$

[0081] 其中,  $0_{3 \times 3}$ 和 $I_{3 \times 3}$ 分别表示3行3列的零矩阵和单位矩阵;  $0_{1 \times 3}$ 表示取值均为零的三维行向量;  $[001]$ 表示行向量。

[0082] 10、将EKF估计出的误差对惯性定位结果进行修正。

[0083] 11、根据MEMS-IMU是否继续输出数据来判断定位是否结束,如果是,结束运行;如



果不是,回转执行步骤2。

[0084] 一种基于环境约束的航向误差消除方法平面定位示例如图3所示。实验场景为:测试者绕室内长方形走廊行走一圈后回到起点,传感器采样频率为200Hz,总的行走路程为155.53米。如图3所示,实线是基于传统IEZ方法得到定位结果,由于传统IEZ框架下,航向漂移对零速检测具有弱观测,导致航向误差发散。IEZ方法得到的轨迹中,起点与终点的绝对误差为3.73米,平面运动轨迹闭合误差(起点与终点的绝对误差/总的行走距离)为2.40%;虚线代表采用本发明所提供的方法估计的定位结果,起点与终点的绝对误差为1.04米,平面运动轨迹闭合误差(起点与终点的绝对误差/总的行走距离)为0.67%。该实验表明:本发明方法在无外部地图与网络布设的前提下,有效地消除了航向误差,显著提高了平面定位精度。

[0085] 本发明实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(Read-Only Memory, ROM)、随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括是电载波信号和电信信号。

[0086] 以上所述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,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各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各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本发明的保护范围之内。

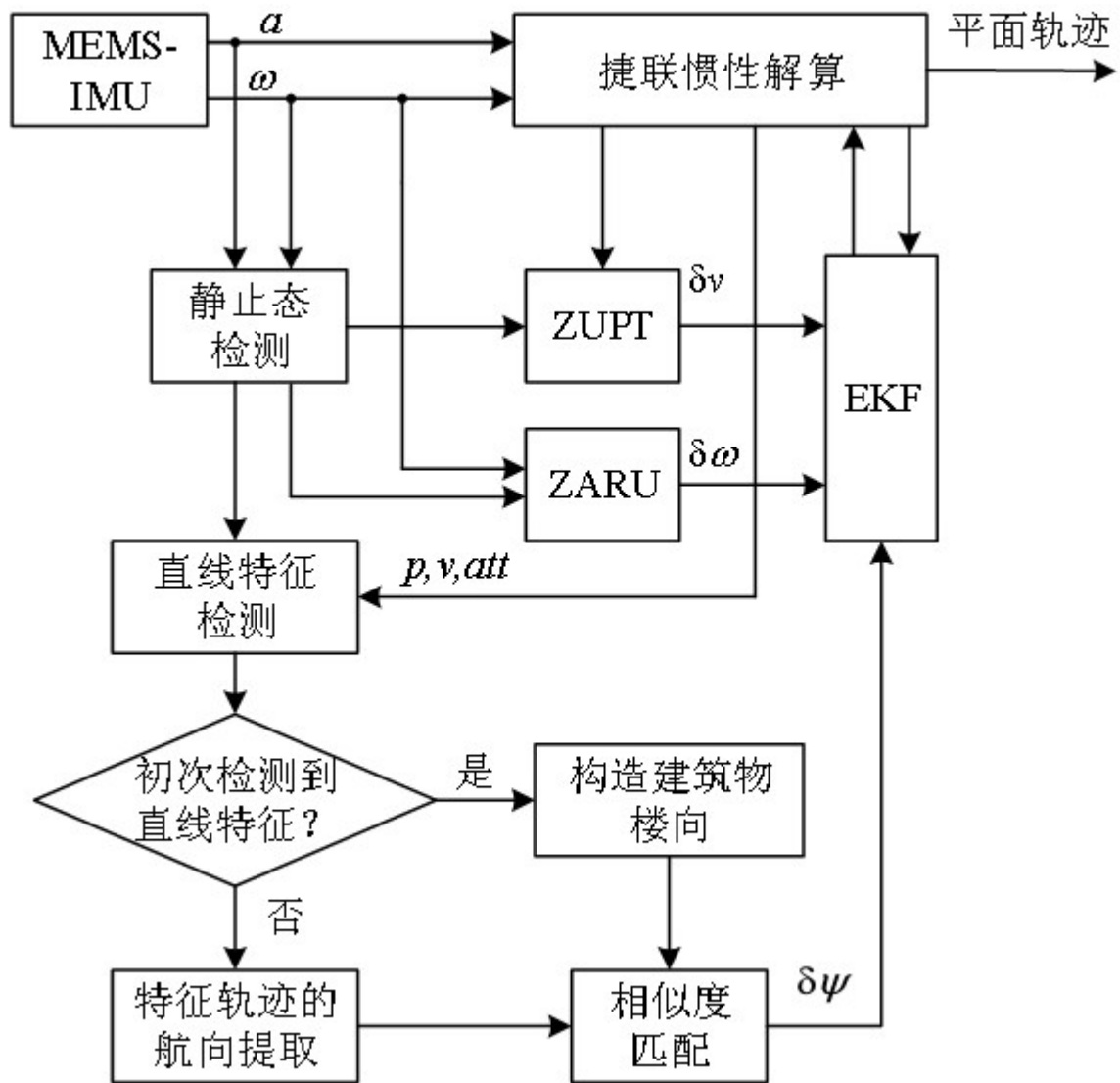


图1

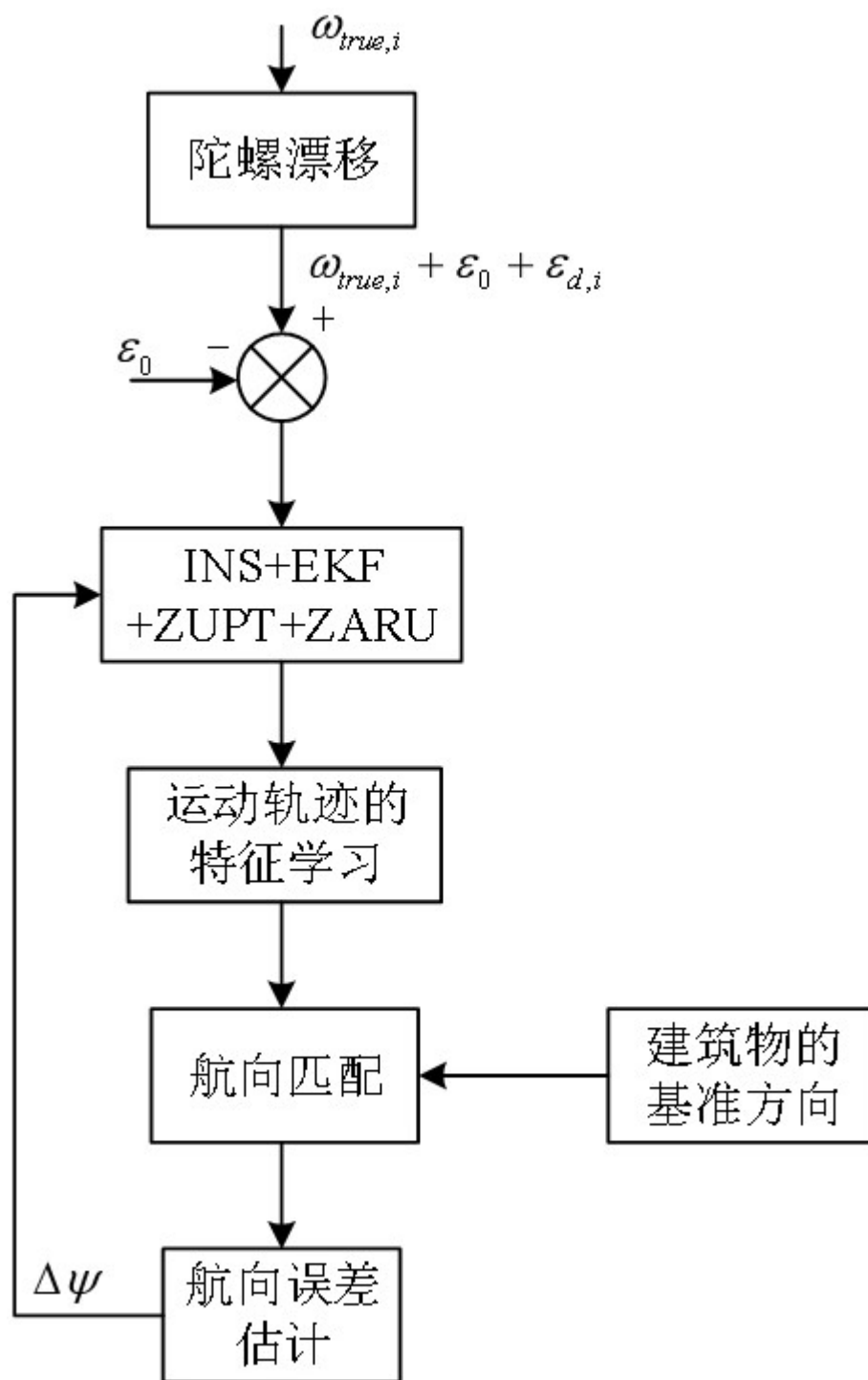


图2

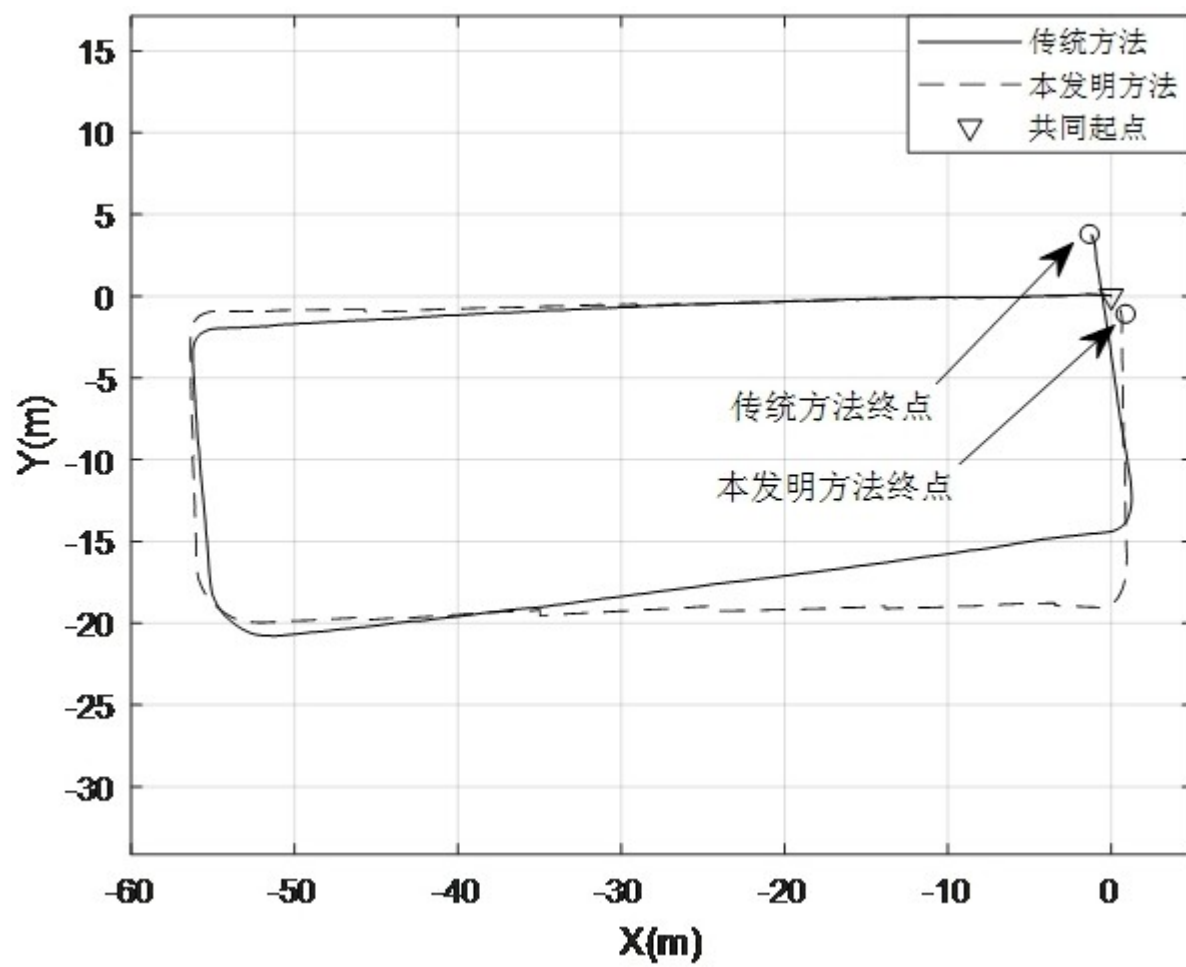


图3