



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107289951 B

(45)授权公告日 2020.05.12

(21)申请号 201710636739.5

CN 106940805 A,2017.07.11,

(22)申请日 2017.07.31

CN 106970371 A,2017.07.21,

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 104730498 A,2015.06.24,

申请公布号 CN 107289951 A

CN 102948150 A,2013.02.27,

US 2015285659 A1,2015.10.08,

(43)申请公布日 2017.10.24

CN 106443614 A,2017.02.22,

(73)专利权人 电子科技大学

Lee, P等.“Modeling laser-driven

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)

electron acceleration using WARP with

西源大道2006号

Fourier decomposition(Article)”.《Nuclear

(72)发明人 郭振昊 万虎 凌丹 郇圣辉

Instruments and Methods in Physics

(74)专利代理机构 成都虹盛汇泉专利代理有限

Research, Section A: Accelerators,

公司 51268

Spectrometers, Detectors and Associated

代理人 王伟

Equipment》.2016,第829卷358-362.

(51)Int.Cl.

邵伟等.“基于智能积分的改进增量式PID算

G01C 21/20(2006.01)

(续)

法”.《机电工程技术》.2010,第39卷(第11期),

46-48,79.

(续)

审查员 陈丹华

(56)对比文件

KR 101514790 B1,2015.04.23,全文.

CN 106123897 A,2016.11.16,

AU 2015215845 B2,2017.02.02,

CN 105758404 A,2016.07.13,

权利要求书1页 说明书6页 附图2页

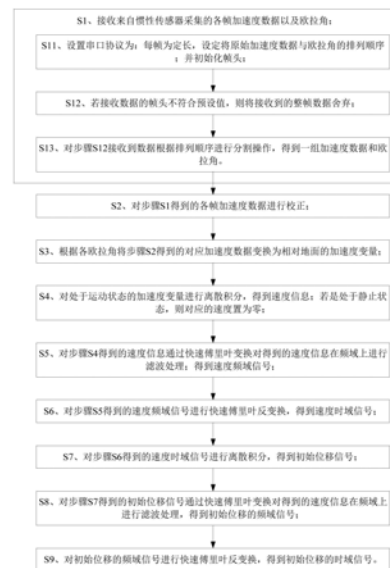
(54)发明名称

一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法

(57)摘要

本发明公开一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,应用于移动机器人领域;首先,通过对接收到的惯性导航传感器输出的原始加速度数据对传感器状态进行分类;并根据静止状态下的设定时间内各帧的加速度数据平均值作为零点漂移量,来对运动状态下的加速度数据进行校正;其次,选择了辛普森积分方法对加速度数据进行积分处理得到位移;再者,在时域分析的基础上添加了频域分析作为第二种减小误差的方法,通过在频域上处理和滤波,对于结果精度有很大提高,根本上解决了传统惯性导航积分算法的累积误差过大以至于影响到实际使用的问题。

CN 107289951 B



[转续页]

[接上页]

(51) Int.Cl.

G01C 21/16(2006.01)

(56)对比文件

刘箭言等.“基于傅里叶级数分解的示功图位移测量算法”.《北京理工大学学报》.2015,第35卷(第5期),506-511.

1. 一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,其特征在于,包括:

S1、接收来自惯性传感器采集的各帧加速度数据以及欧拉角;

S2、对步骤S1得到的各帧加速度数据进行校正;所述步骤S2具体为:

通过对步骤S1接收的各帧加速度数据进行分析,判断惯性传感器的状态;所述状态包括:静止状态和运动状态;

并将惯性传感器处于静止状态下,在设定时间采集到的若干帧加速度数据的平均值作为惯性传感器处于运动状态下对应加速度数据的零点漂移量,用加速度数据原始值减去零点漂移量值完成零点校正;

S3、根据各欧拉角将步骤S2得到的对应加速度数据变换为相对地面的加速度变量;步骤S3具体为:根据旋转矩阵通过下式将步骤S2得到加速度数据变换到地面参考坐标系中:

$$a_E = \cos\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_x + \sin\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_y$$

$$a_N = \sin\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_x - \cos\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_y$$

其中, a_x 和 a_y 为加速度数据相对于车体坐标系的坐标; a_E 和 a_N 为加速度数据相对于地面坐标系的坐标;Euler为欧拉角;E、N为地面坐标系的两个轴向;

S4、对惯性传感器处于运动状态对应的加速度变量进行离散积分,得到速度信息;

S5、对步骤S4得到的速度信息通过快速傅里叶变换对得到的速度信息在频域上进行滤波处理;得到速度频域信号;

S6、对步骤S5得到的速度频域信号进行快速傅里叶反变换,得到速度时域信号;

S7、对步骤S6得到的速度时域信号进行离散积分,得到初始位移信号;

S8、对步骤S7得到的初始位移信号通过快速傅里叶变换对得到的速度信息在频域上进行滤波处理,得到初始位移的频域信号;

S9、对初始位移的频域信号进行快速傅里叶反变换,得到初始位移的时域信号;

所述离散积分采用辛普森积分。

2. 根据权利要求1所述的一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,其特征在于,所述步骤S1具体包括以下分步骤:

S11、设置串口协议为:每帧为定长,设定将原始加速度数据与欧拉角的排列顺序;并初始化帧头;

S12、若接收数据的帧头不符合预设值,则将接收到的整帧数据舍弃;

S13、对步骤S12接收到数据根据排列顺序进行分割操作,得到一组加速度数据和欧拉角。

3. 根据权利要求1所述的一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,其特征在于,所述静止状态或运动状态的判断过程为:若该设定时间内接收到各帧之间的加速度数据的差分满足固定的概率密度,则判断惯性传感器处于静止状态;否则惯性传感器处于运动状态。

4. 根据权利要求1所述的一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,其特征在于,所述步骤S4还包括:若是惯性传感器处于静止状态,则对应的速度置为零。

一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于移动机器人领域,特别涉及一种惯性导航室内移动机器人定位技术。

背景技术

[0002] 惯性导航是通过对速度积分得到位置并对总加速度积分得到速度的过程。总加速度是指由重力加速度和被施加的非重力产生的加速度(亦即比力加速度)之和。惯性导航系统(Inertial Navigation System,INS)包括:用于积分的导航计算机;用于给积分运算定时的精密时钟,测量比力加速度用的加速度计组台;用于作为所算位置的一个函数而进行的重力加速度计算而留于导航计算机中的重力模型软件,以及为了定义作为速度计算一部分的加速度计三元组的角度方向所用的姿态基准。在现代INS中,姿态基准是由驻留于INS计算机中的软件积分函数提供的,其输入来自一个有三轴的惯性角速度传感器。角速度传感器和加速度计三元组安装在一个公用的牢固构架上,该构架装在INS的底盘上,以保证每个惯性传感器之间的精确对准,这样的一种布置称之为捷联INS。因为惯性传感器牢固地固定在底盘内,所以也就牢固地固定于安装INS的移动机器人上。

[0003] 根据惯性导航理论,INS计算机中的基本函数有将角速率变换为姿态的积分函数(称之为姿态积分)。使用姿态数据将测得的加速度值转换到适当的导航坐标系中,再将它积分成矢量速度的函数(称之为矢量速度积分),还有将导航系矢量速度积分成位置的函数(称之为位置积分)。这样就有了三个积分函数,姿态函数、矢量速度函数及位置函数,每个函数的精度要求很高,以确保函数误差极小,符合惯性传感器精度的要求。在实际应用中,给定初始机器人的位姿,即可经由惯性导航理论得到移动机器人当前的位姿。

[0004] 为了达到在时域积分的功能,需要进行数值积分。数值积分的目的是,通过在有限个采样点上计算 $f(x)$ 的值来逼近 $f(x)$ 在区间 $[a,b]$ 上的定积分。设 $a = x_0 < x_1 < \dots < x_M = b$ 。称形如

$$[0005] \quad Q[f] = \sum_{k=0}^M w_k f(x_k) = w_0 f(x_0) + w_1 f(x_1) + \dots + w_M f(x_M)$$

[0006] 且具有性质 $\int_a^b f(x)dx = Q[f] + E[f]$ 的公式为数值积分或面积公式。项 $E[f]$ 称为积分的截断误差,值 $\{x_k\}_{k=0}^M$ 称为面积节点, $\{w_k\}_{k=0}^M$ 称为权。通过 $M+1$ 个等距点存在唯一的次数小于等于 M 的多项式 $P_M(x)$ 。当用该多项式来近似 $[a,b]$ 上的 $f(x)$ 时, $P_M(x)$ 的积分就近似等于 $f(x)$ 的积分,这类公式称为牛顿-科特斯公式。当使用采样点 $x_0 = a$ 和 $x_M = b$ 时,称为闭型牛顿-科特斯公式。

[0007] 设 $x_k = x_0 + kh$ 为等距节点,且 $f_k = f(x_k)$,辛普森积分公式为:

$$\int_{x_0}^{x_2} f(x)dx \approx \frac{h}{3}(f_0 + 4f_1 + f_2), \text{ 辛普森公式的精度为 } n = 3, \text{ 如果 } f \in C^4[a, b], \text{ 则}$$

$$\int_{x_0}^{x_2} f(x)dx = \frac{h}{3}(f_0 + 4f_1 + f_2) - \frac{h^5}{90} f^{(4)}(\xi)。$$

[0008] 对于惯性导航而言,其缺点在于以下几点:在从惯性传感器采集加速度信息的同时,不可避免的会收到噪声的干扰,噪声不光来自于传感器本身的量化操作和电路噪声也来自于在传输过程中受到外界条件的干扰;若对噪音不加控制抑或是惯性模块本身就具有的零点漂移特性都必定会影响到接下来积分操作的精确度,此时噪声就变成了趋势项,在一次积分到速度信息时表现为一个随时间增大的速度误差,在二次积分后此误差会再次放大,这就是所谓的累积误差。对于惯性导航而言,累积误差是影响其精度的最主要因素。

[0009] 针对这些干扰,适当的修正和处理就变得很有必要。要消除噪声信号,需先观察分析信号的特性,在时域无法观察到噪声信号的特点,这就涉及到对加速度信号在频域上进行分析。快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform)是信号处理与数据分析领域里最重要的算法之一。FFT(快速傅里叶变换)本身就是离散傅里叶变换(Discrete Fourier Transform)的快速算法,使算法复杂度由原本的 $O(N^2)$ 变为 $O(N\log N)$,离散傅里叶变换DFT,如同更为人们熟悉的连续傅里叶变换,有如下的正、逆定义形式:

[0010] Forward Discrete Fourier Transform(DFT):

$$[0011] \quad X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i2\pi kn/N}$$

[0012] Inverse Discrete Fourier Transform(IDFT):

$$[0013] \quad x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{i2\pi kn/N}$$

[0014] x_n 到 X_k 的转化就是时域到频域的转换,这个转换有助于研究信号的功率谱,和使某些问题的计算更有效率。对信号进行快速傅里叶变换后,就可以得到噪声与干扰大概分布的频率。同时结合该惯性传感器实际使用的场合,确定有效信号所在频率,根据奈奎斯特采样定理,即采样频率需大于两倍频带以上,确定所用低通滤波器的通频带宽度,即可完成对原始信号进行有效的消噪处理。

发明内容

[0015] 本发明为解决上述技术问题,提出了一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,选用辛普森积分法,实现在不增加计算量的前提下,显著提到精度;并且在频域上处理及滤波,解决了传统惯性导航积分算法的累积误差过大以至于影响到实际使用的问题。

[0016] 本发明采用的技术方案是:一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,包括:

[0017] S1、接收来自惯性传感器采集的各帧加速度数据以及欧拉角;

[0018] S2、对步骤S1得到的各帧加速度数据进行校正;

[0019] S3、根据各欧拉角将步骤S2得到的对应加速度数据变换为相对地面的加速度变量;

[0020] S4、对惯性传感器处于运动状态对应的加速度变量进行离散积分,得到速度信息;

[0021] S5、对步骤S4得到的速度信息通过快速傅里叶变换对得到的速度信息在频域上进行滤波处理;得到速度频域信号;

[0022] S6、对步骤S5得到的速度频域信号进行快速傅里叶反变换,得到速度时域信号;

[0023] S7、对步骤S6得到的速度时域信号进行离散积分,得到初始位移信号;

[0024] S8、对步骤S7得到的初始位移信号通过快速傅里叶变换对得到的速度信息在频域

上进行滤波处理,得到初始位移的频域信号;

[0025] S9、对初始位移的频域信号进行快速傅里叶反变换,得到初始位移的时域信号。

[0026] 进一步地,所述步骤S1具体包括以下分步骤:

[0027] S11、设置串口协议为:每帧为定长,设定将原始加速度数据与欧拉角的排列顺序;并初始化帧头;

[0028] S12、若接收数据的帧头不符合预设值,则将接收到的整帧数据舍弃;

[0029] S13、对步骤S12接收到数据根据排列顺序进行分割操作,得到一组加速度数据和欧拉角。

[0030] 进一步地,所述步骤S2具体为:

[0031] 通过对步骤S1接收的各帧加速度数据进行分析,判断惯性传感器的状态;所述状态包括:静止状态和运动状态;

[0032] 并将惯性传感器处于静止状态下,在设定时间采集到的若干帧加速度数据的平均值作为惯性传感器处于运动状态下对应加速度数据的零点漂移量,用加速度数据原始值减去零点漂移量值完成零点校正。

[0033] 更进一步地,所述静止状态或运动状态的判断过程为:若该设定时间内接收到各帧之间的加速度数据的差分满足固定的概率密度,则判断惯性传感器处于静止状态;否则惯性传感器处于运动状态。

[0034] 进一步地,步骤S3具体为:根据旋转矩阵通过下式将步骤S2得到加速度数据变换到地面参考坐标系中:

$$[0035] \quad a_E = \cos\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_x + \sin\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_y$$

$$[0036] \quad a_N = \sin\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_x - \cos\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_y$$

[0037] 其中, a_x 和 a_y 为加速度数据相对于车体坐标系的坐标; a_E 和 a_N 为加速度数据相对于地面坐标系的坐标;Euler为欧拉角;E、N为地面坐标系的两个轴向。

[0038] 进一步地,所述离散积分采用辛普森积分。

[0039] 进一步地,所述步骤S4还包括:若是惯性传感器处于静止状态,则对应的速度置为零。

[0040] 本发明的有益效果:本发明的一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,首先,通过对接收到的惯性导航传感器输出的原始加速度数据进行状态分类;并根据静止状态下的设定时间内各帧的加速度数据平均值作为零点漂移量,来对运动状态下的加速度数据进行校正,有效减小由加速度计本身特性带来的静态漂移以及零点漂移对积分算法精度的影响,显著减小了累积误差;其次,选择了辛普森积分方法这样一种兼顾精度与计算量的方法,相对于被广泛使用的梯形积分方法,在没有增大多少计算量的前提下,显著提高了精度;再者,在时域分析的基础上添加了频域分析作为第二种减小误差的方法,通过在频域上处理和滤波,对于结果精度有很大提高,根本上解决了传统惯性导航积分算法的累积误差过大以至于影响到实际使用的问题。

附图说明

[0041] 图1是本发明的方法的主流程图。

[0042] 图2是本发明涉及到的坐标转换示意图。

具体实施方式

[0043] 为便于本领域技术人员理解本发明的技术内容,下面结合附图对本发明内容进一步阐释。

[0044] 如图1所示为本发明的方案流程图,本发明的技术方案为:一种基于惯性导航的室内移动机器人定位方法,包括:

[0045] S1、接收来自惯性传感器采集的加速度数据以及欧拉角;

[0046] 惯性传感器采集的加速度数据,具体过程如下:

[0047] 1)、在传感器端设置数据输出格式,通过如下设置可使每帧加速度数据等长,方便接下来的数据分割与处理。

[0048] 第一位:初始位,帧头,设置为符号“!”

[0049] 第二至第七位:X方向原始加速度,若没有6位则补足6位;

[0050] 第八位:空格,用来间隔;

[0051] 第九至第十四位:Y方向原始加速度,若没有6位则补足6位;

[0052] 第十五位:空格,用来间隔;

[0053] 第十六位至第二十一位:Euler角,不足6位补足6位;

[0054] 第二十二、二十三位:换行回车键。

[0055] 本申请采用的是如上所述的每帧23位定长的串口协议,采用此种协议更易保持数据完整性,也方便处理。但是在实际的处理过程中,串口协议的固定要求是每帧数据定长,具体每帧的长度根据实际情况决定。

[0056] 2)、串口接收数据:通过预先设置波特率等串口属性,完成串口数据的接收。在其中根据1)中设置的串口协议对每帧的帧头以及帧长进行判断,防止由于串口单次传输数据不完整造成的数据丢失和错误。若帧头不符合预设值,则将接收到的整帧数据舍弃。比如本申请中设定的每帧长度为23位,若接收到的数据未满23位,则等待直到接收到的数据大于23位,从中将前23位提取出来作为完整的数据帧。

[0057] 具体的,本申请中设定的每帧长度为23位,第一位是帧头,设置为符号“!”;第二至第七位是X方向原始加速度,若没有6位则补足6位;第八位是空格,用来间隔;第九至第十四位是Y方向原始加速度,若没有6位则补足6位;第十五位是空格,用来间隔;第十六位至第二十一位是Euler角,不足6位补足6位;第二十二、二十三位:换行回车键。

[0058] 3)、数据分割:对步骤2接收到的整帧数据进行分割操作,从中提取出本专利需要的X方向线加速度,Y方向线加速度和Euler角(欧拉角)信息。

[0059] 具体为:串口接收到每帧原始数据后;将该帧数据中的所有空格替换为逗号(即“,”),以逗号作为分割的几段有效数据则分别为X方向线加速度,Y方向线加速度和Euler角。

[0060] S2、对步骤S1得到的各帧加速度数据进行校正;具体为:对接收到的原始数据进行初步处理。

[0061] 首先,进行的是状态划分;对步骤S1接收到的各帧加速度数据进行状态判断;状态包括:静止状态与运动状态;

[0062] 然后,对步骤S1接收到的各帧加速度数据进行概率分析,通过实验发现不论是初始静止还是运动后静置,加速度帧与帧之间的差分满足固定的概率密度:即在一定时间采集到的数据中95%都小于0.035。根据以上发现,可以通过对1S内收集到的100个数据进行分析,若满足条件则判定在此时传感器模块也即是机器人平台处于静止状态;将此时的运动状态记录为静止状态,以待之后使用;否则记录为运动状态。

[0063] 其次,考虑到惯性模块存在零点漂移现象,在判断传感器当前处于静止状态时,记录静止状态下一定时间内采集到的加速度数据的平均值作为接下来运动状态加速度的零点漂移量;

[0064] 最后,在输出运动状态加速度时,用加速度原始值减去得到的零点漂移量值完成零点校正。

[0065] S3、根据欧拉角将步骤S2得到的加速度数据变换为相对地面的加速度变量;如图2所示。对于二维导航系统;N,E为地面参考系的两轴, φ 为车体相对于N轴的顺时针偏转角度,本申请中通过将车体初始位置对准N轴,然后用步骤S1得到的Euler角(欧拉角)来代替 φ 角来进行接下来的运算。

[0066] 根据旋转矩阵通过以下转换可将相对于车体坐标系的 a_x 和 a_y 变换到地面参考坐标系中,便于进行进一步的定位与导航操作:

$$[0067] \quad a_E = \cos\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_x + \sin\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_y$$

$$[0068] \quad a_N = \sin\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_x - \cos\left(\frac{2\pi Euler}{360}\right)a_y$$

[0069] 按照上式求出相对于地面参考系的E,N方向加速度 m_E 和 m_N 基础上,在上位机端进行迭加操作即可求出移动机器人相对于地面参考系初始位置的E,N方向速度。

[0070] S4、对处于运动状态的加速度变量进行离散积分,得到速度信息;若是处于静止状态,则对应的速度置为零;在判定当前处于运动状态时才进行此模块的计算,尽可能减少由传感器误差积分后造成的累积误差。在比较了梯形积分,辛普森积分后选择了辛普森积分作为此专利的积分方法。其优势体现在计算量相对于梯形积分并没有多出太多的前提下,计算精度高了两个级数。

[0071] 对运动状态下的加速度信息进行一次积分得到速度信号,将速度信息储存为全局变量以备之后的轨迹跟踪及运动控制环节使用。与此同时还需对之前数据处理步骤记录的运动状态进行判断,若记录为静止状态则速度直接输出为零,跳过积分操作。

[0072] S5、对步骤S4得到的速度信息通过快速傅里叶变换(FFT)对得到的速度信息在频域上进行滤波处理;得到速度频域信号;

[0073] S6、对步骤S5得到的速度频域信号进行快速傅里叶反变换,得到速度时域信号;

[0074] 对一次积分后的速度信息进行快速傅里叶变换。采用的算法为一维频率抽取的基2FFT算法。选用快速傅里叶方法可以显著地减少运算次数,提高运算速度。

[0075] 首先,对得到的速度频域信号进行快速傅里叶变换,由实际机器人平台运行的状态可知,有效的信号的频率大概存在于10Hz左右,因此根据奈奎斯特采样定律,将频域分析

的通频带定在20Hz,选取合适的滤波器类型,在频域上对信号进行滤波,消除高频噪声。

[0076] 然后,对得到的频域信号进行傅里叶反变换,重新得到时域上的信号。

[0077] S7、对步骤S6得到的速度时域信号进行离散积分,得到初始位移信号;

[0078] 使用一次积分得到的并经过滤波处理的速度信息,在此基础上再进行一次时域积分得到位移信息。同时已知初始坐标的情况下,位移信息就可等效为机器人平台当前的坐标值。

[0079] S8、对步骤S7得到的初始位移信号通过快速傅里叶变换(FFT)对得到的速度信息在频域上进行滤波处理,得到初始位移的频域信号;

[0080] 对二次积分后的位移信息进行快速傅里叶变换。采用的算法为一维频率抽取的基2FFT算法。与之前对速度信息的处理类似,进行频域滤波处理。

[0081] S9、对初始位移的频域信号进行快速傅里叶反变换,得到初始位移的时域信号。

[0082] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的权利要求范围之内。

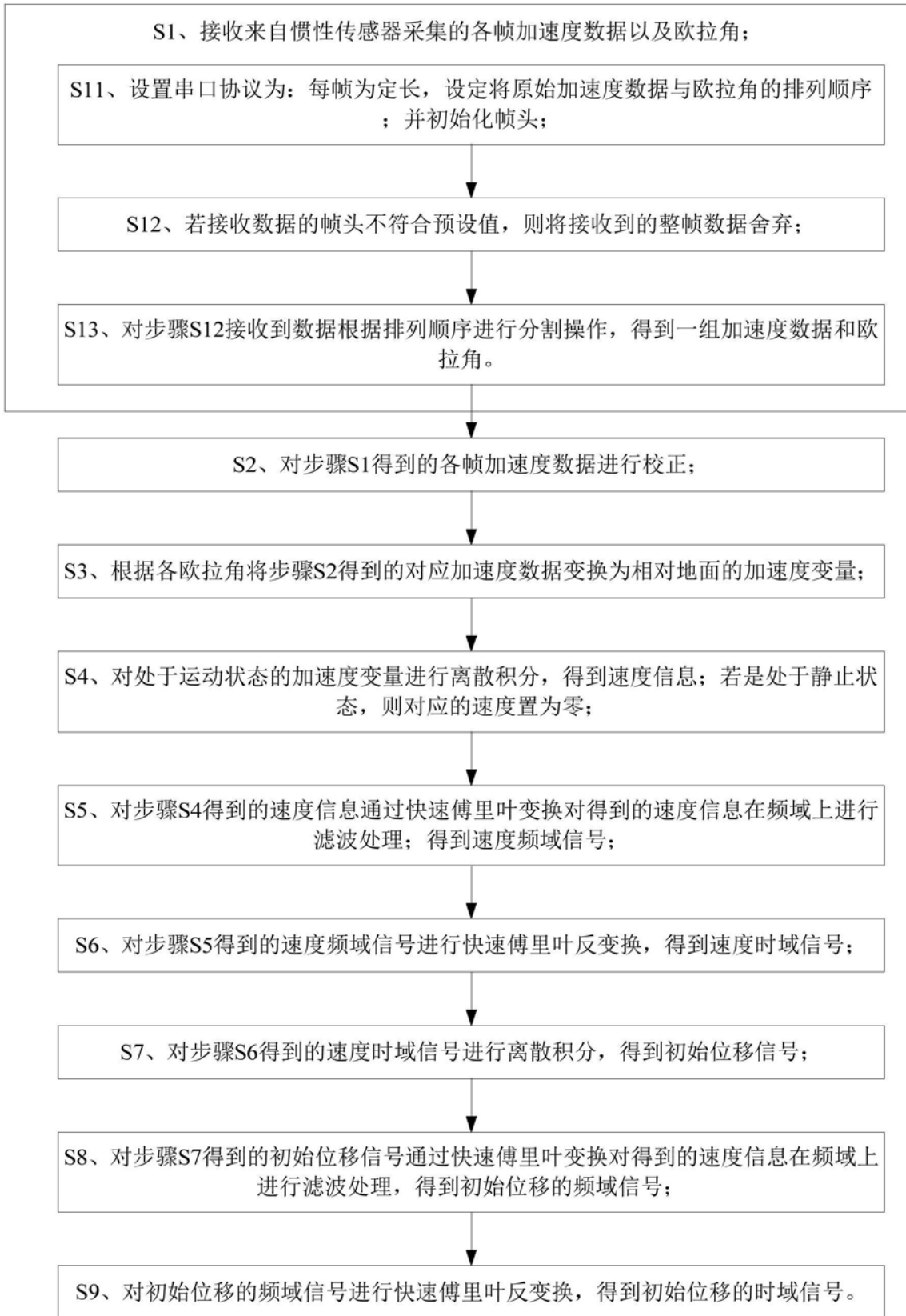


图1

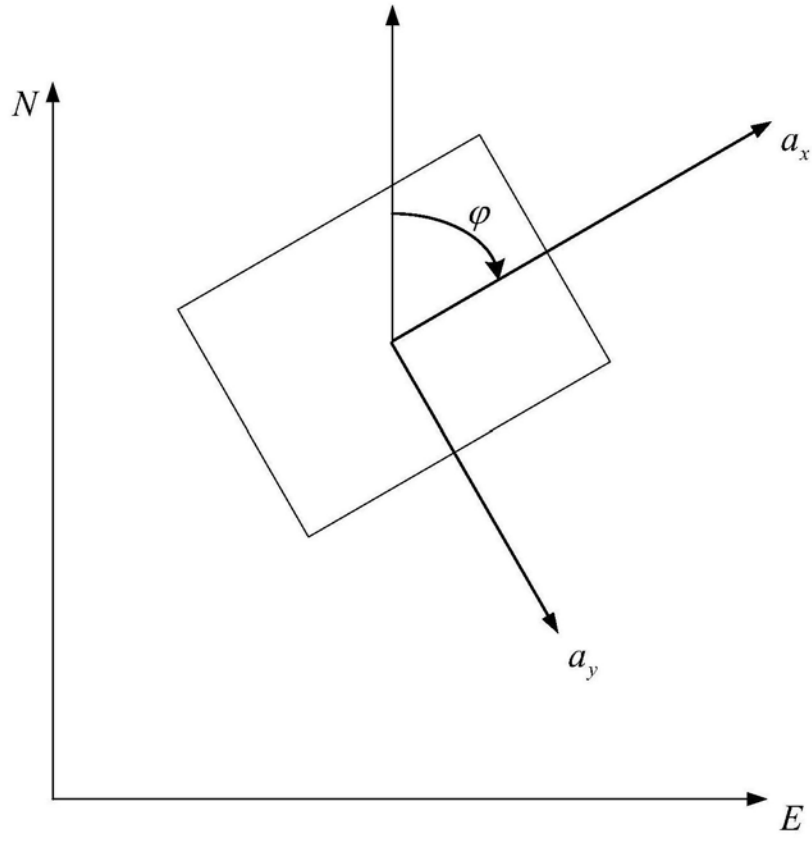


图2