

文章编号:1671-251X(2015)05-0087-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.05.021  
王郑合.基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法[J].工矿自动化,2015,41(5):87-90.

# 基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法

王郑合

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:**针对传统的手机惯性导航技术存在无法精确计步和计算步长的问题,提出了一种基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法。该算法根据智能手机上三轴加速度传感器捕捉的人走路时产生的三轴加速度,利用基于 Mealy 状态机的计步算法计算人所走过的步数,并获得每一步的起止时间戳;根据三轴陀螺仪所获取的数据及每一步的起止时间戳,结合指南针读数,计算人走过的每一步所发生的方向变化;根据不同步长的人行走时所产生的不同加速度,基于最小二乘法估计人的步长;根据路径起点的坐标,结合步长及方向变化,计算人走过的每一步相对于路径起点的坐标,得到人的运动轨迹。仿真结果表明该算法能够达到较高的惯性导航精度。

**关键词:**惯性导航;导航轨迹;智能手机;三轴陀螺仪

中图分类号:TD67/655 文献标志码:A 网络出版时间:2015-04-30 08:51

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150430.0851.021.html>

Trajectory generation algorithm of inertial navigation based on smart phone

WANG Zhenghe

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of  
Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:**In view of problem that traditional inertial navigation technology of mobile phone is unable to calculate steps or step length accurately, a trajectory generation algorithm of inertial navigation based on smart phone was put forward. The walking steps of people are calculated by use of step counting algorithm based on Mealy state machine according to three-axis accelerations of walking people captured by three-axis acceleration sensor of smart phone, and start-stop timestamp of each step is gotten. Direction change of each step is calculated according to data of three-axis gyroscope and the start-stop timestamp of each step combined with compass reading. Step length is estimated based on the least square method considering different acceleration of walking people with different step length. Coordinate relative to starting point of each step is calculated on the basis of coordinate of the starting point, step length and direction change, so as to get movement trajectory of people. The simulation result shows that the algorithm can achieve high accuracy of inertial navigation.

**Key words:**inertial navigation; navigation trajectory; smart phone; three-axis gyroscope

## 0 引言

随着矿用本质安全型智能手机的发展与普及,当煤矿井下发生突发性事故导致通信中断时,利用惯性导航技术,通过以下步骤即可按照避灾路线迅

速撤出矿井:① 运行程序,显示预先保存的煤矿井下巷道平面图和避灾路线图,并设置平面图上对应的当前位置为起点;② 通过智能手机的传感器采集人员的运动数据,并根据算法生成人员的运动轨迹<sup>[1]</sup>;③ 将生成的运动轨迹显示在平面图上,从而

得到人员的当前位置信息;④ 对比人员的位置和避灾路线,找出正确的前进方向,从而引导人员迅速撤出矿井。

但传统的手机惯性导航技术存在以下问题:

(1) 无法精确计步。手机上加速度传感器的采样频率不高,加上人类动作的复杂性,造成加速度传感器的读数误差较大。传统的惯性导航算法利用固定阈值,对加速度传感器读数的波峰或波谷进行分析,判断人员的行走状态,从而完成计步工作。但此种计步方法的精度不高。

(2) 无法准确计算步长。步长是计算人员位移的重要参数,但步长的计算有着很大的不确定性。传统算法根据自然科学规律,直接利用人员的身高、体重估算一个确定的步长,在实际应用中会带来巨大的误差。

鉴于此,本文提出了一种基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法,该算法通过智能手机的传感器采集人体运动参数,能够准确计算人员的步数、步长及方向变化,模拟出人的运动轨迹,从而得到人员的位置信息。

## 1 基于 Mealy 状态机的计步算法

### 1.1 获取加速度数据

智能手机的加速度传感器有 3 个返回值,分别代表手机在  $X, Y, Z$  轴 3 个方向上的加速度。传感器坐标系统与屏幕坐标系统不同,传感器坐标系统的  $X$  轴沿屏幕向左,  $Y$  轴沿屏幕向上,  $Z$  轴垂直于屏幕向里<sup>[2]</sup>。

煤矿井下环境复杂,需对获得的加速度数据进行降噪处理。假设在记录轨迹过程中,手机保持水平且屏幕朝上,则人员步行时,  $X, Y$  轴方向的加速度只有很小的变化,  $Z$  轴方向的加速度变化较大。将沿  $Z$  轴方向的加速度记作  $A = \{a_{z1}, a_{z2}, \dots, a_{zn}\}$ , 其中  $a_{zj}$  为第  $j$  步  $Z$  轴方向的加速度 ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), 然后进行数据叠加处理来降低噪声,并消除加速度数据受到的重力加速度  $g$  的影响,得到处理后的加速度:

$$a'_{zj} = \alpha a_{zj} + (1 - \alpha) a_{zj-1} - g \quad (1)$$

式中:  $\alpha$  为待定系数。

### 1.2 判断行走状态

人在进行水平的步行运动时,垂直和前进 2 个方向的加速度呈现周期性变化。人处于步行状态时,在收腿动作中由于重心向上并且单脚着地,此时手机在垂直方向的加速度呈现正向增加的趋势;之

后继续前进,由于重心下移,两脚触地,加速度逐渐变为反向。另外,水平方向的加速度会在收脚时减小,在迈步时增加<sup>[3]</sup>。基于 Mealy 状态机的计步算法包括的状态如图 1 所示。

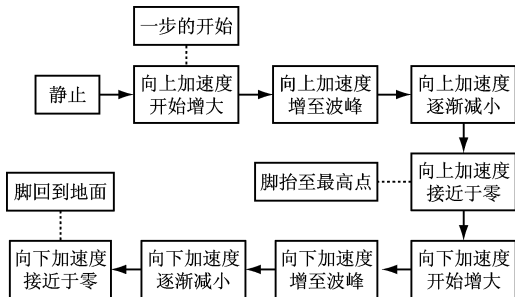


图 1 基于 Mealy 状态机的计步算法的状态转移

在步行运动时,垂直方向和前进方向所产生的加速度与时间的关系大致上是一条正弦曲线,而且在某个点会有一个峰值,其中垂直方向的加速度变化最大。通过对加速度的峰值进行检测和计算,并将加速度的值与阈值进行比较和决策,就可以实时判断工作人员的步行状态。

### 1.3 计算步数

由于人员在运动中既可能会水平手持智能手机,也可能将手机放在口袋或包等物品中,导致无法轻易确定手机的放置方向。为解决该问题,首先通过计算得出 3 个加速度的大小和方向,从而获得一条步行运动的正弦曲线轨迹。然后进行峰值检测,通过和上一次记录的加速度大小比较得到加速度大小的变化,可以判断目前加速度的方向,并和上一次保存的加速度方向进行比较,如果方向相反,表示刚过峰值状态,则进入计步逻辑进行计步,反之舍弃数据。通过累加峰值的次数,便可得到人员行走的步数。在计算步数过程中可能会出现一些干扰情况,比如手持手机会有一些低幅度和快速的抽动状态,可通过给峰值检测加上阈值和步频判断来过滤干扰数据。

最后,通过读取手机系统的程序运行时间,获得人员每一步的起止时间戳  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} = \{(t_1^s, t_1^e), (t_2^s, t_2^e), \dots, (t_n^s, t_n^e)\}$ , 其中  $t_j$  为第  $j$  步的起止时间戳,  $t_j^s, t_j^e$  分别为第  $j$  步的起止时间。

## 2 计算方向变化

利用手机的方向传感器可获得方向数据,方向传感器返回的 3 个角度分别表示手机顶部的朝向与正北方向之间的夹角、手机的顶部或尾部翘起的角度和手机的左侧或右侧翘起的角度,利用这 3 个角

度即可确定手机的摆放状态。

三轴陀螺仪可以捕捉十分微小的运动轨迹变化,因此经常被用来做高分辨率和快速反应的旋转检测,但其不能测量物体当前运动的方向。另外,当三轴陀螺仪运转一段时间后,由于外部环境的干扰和三轴陀螺仪捕捉数据时产生的噪声,导致三轴陀螺仪捕捉的加速度产生偏差,此时三轴陀螺仪需借助其他传感器进行校正<sup>[4]</sup>。三轴陀螺仪的 $r_X, r_Y, r_Z$ 分别为手机绕 $X, Y, Z$ 轴旋转的角速度,逆时针方向旋转时, $r_X, r_Y, r_Z$ 的值为正。

计算方向变化包括以下步骤:

(1) 记录人在行走过程中水平手持智能手机时三轴陀螺仪所产生的数据,并利用数据叠加去除高频噪声,由此得到人在行走过程中所产生的水平方向的角速度变化,记作 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ ,其中 $r_j$ 为第 $j$ 步水平方向的角速度。

(2) 计算人行走每一步过程中所发生的方向变化,则第 $j$ 步过程中的方向变化为

$$\gamma_j = \int_{t_j^s}^{t_j^e} r_j dt \tag{2}$$

(3) 在人行走过程的同时记录手机指南针的读数,记作 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ ,对所记录的指南针的读数进行平滑处理;获取指南针所指示的第 $j$ 步与第 $j+k$ 步之间的方向变化 $\gamma_{j,j+k}^c$ ,获取通过三轴陀螺仪捕捉到的数据计算得到的第 $j$ 步与第 $j+k$ 步之间的方向变化 $\gamma_{j,j+k}^r$ ;设置 $||\gamma_{j,j+k}^c - \gamma_{j,j+k}^r||$ 的角度阈值,当 $||\gamma_{j,j+k}^c - \gamma_{j,j+k}^r||$ 超过该角度阈值时,利用指南针第 $j+k$ 步指示的方向对通过三轴陀螺仪读数计算得到的第 $j+k$ 步的方向变化进行修正,并将修正后的数据作为人在第 $j+k$ 步的方向。

3 基于最小二乘法计算步长

在智能手机惯性导航算法中,运动的距离由步数与步长相乘所得,因此,每步步长的准确度对智能手机惯性导航系统的精度有很大影响。由基于Mealy状态机的计步算法中对人步行时所产生的加速度特征分析可知,人行走时步长可由行走时所产生的加速度估算出来。

基于最小二乘法计算步长包括以下步骤:

(1) 采集 $m$ 组不同步长的人员以规定步长行走时所产生的加速度,每组记录 $M$ 个加速度,记作 $A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_M\} (i = 1, 2, \dots, m)$ ,第 $i$ 组加速度对应步长 $l_i$ ,记作 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ 。

(2) 计算每组加速度的方差 $s_i$ ,记作 $S = \{s_1,$

$$s_2, \dots, s_m\}。$$
$$s_i^2 = [(a_1 - \bar{a})^2 + (a_2 - \bar{a})^2 + \dots + (a_M - \bar{a})^2] \tag{3}$$

式中: $\bar{a}$ 为平均加速度。

(3) 利用最小二乘法对 $S$ 和 $L$ 作最佳线性拟合,得到 $s_i$ 和 $l_i$ 之间的对应关系: $l_i = (s_i - q)/p$ ,其中 $p$ 和 $q$ 为最佳线性拟合系数, $p = \overline{l_i} - q \overline{s_i}, q = \frac{\overline{s_i l_i} - \overline{s_i} \overline{l_i}}{\overline{s_i^2} - \overline{s_i}^2}, \overline{s_i}$ 为均方差, $\overline{l_i}$ 为平均步长。

4 生成轨迹

惯性导航轨迹生成算法根据人的步数、步长和行走方向来计算人的位置。以路径起点坐标 $(0, 0)$ 为原点,第 $j-1$ 步的坐标为 $(x_{j-1}, y_{j-1})$ ,则第 $j$ 步的坐标为

$$(x_j, y_j) = (x_{j-1} + l_j \cos(\gamma_{\Sigma j-1} + \gamma_j), y_{j-1} + l_j \sin(\gamma_{\Sigma j-1} + \gamma_j)) \tag{4}$$

式中: $l_j$ 为第 $j$ 步所对应的步长; $\gamma_{\Sigma j-1}$ 为前 $j-1$ 步内所发生的方向变化之和, $\gamma_{\Sigma j-1} = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_{j-1}$ 。

5 仿真测试与分析

为验证本文算法的可行性,编写测试代码并使用AVD(Android Virtual Device, Android运行的虚拟设备)和SensorSimulator对算法进行仿真测试。人员在匀速状态下,用100步走过约50 m距离,多次测试的计算结果见表1。

表1 测试结果

| 项目   | 序号   |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
|      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 步数   | 99   | 100  | 98   | 99   | 99   |
| 距离/m | 49.7 | 49.9 | 49.4 | 49.6 | 49.8 |

由表1可知,本文算法计算得出的结果与实际数据之间仍存在一定误差,这主要是由于算法在记录并生成人员运动轨迹的过程中,对行走步数可能有漏计情况,导致计算得出的运动距离与实际距离之间出现误差。但算法的误差本身相对比较稳定,并且误差率不高,表明算法的可靠性较高。

模拟平面上的轨迹生成如图2所示,图中的点为经过轨迹生成算法计算得到的坐标,坐标 $(0, 0)$ 为人员开始运动的起点,虚线为实际路径,实线为经过计算后生成的路径。

由图2可知,经本文算法运算后得到的轨迹与

人员的实际运动轨迹相比误差很小,可作为人员的实际运动轨迹进行导航。

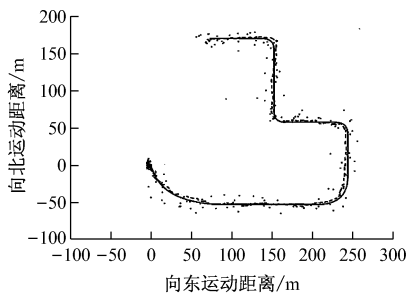


图 2 平面轨迹生成模拟

6 结语

提出了一种基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法。该算法根据智能手机三轴加速度传感器捕捉到的人员在走路时所产生的三轴加速度,采用基于 Mealy 状态机的计步算法计算人员走过的步数,并通过智能手机系统得到每一步的起止时间戳;利用智能手机的三轴陀螺仪捕捉到的数据,计算人员所走过的每一步所发生的方向变化;通过观察不同步

长的人员行走时所产生的不同加速度和步长的特征,分析加速度和步长之间的关系,计算人员的步长;根据人员所走路线的起点坐标,再结合上述计算所得的人员步数、步长以及方向变化,得到不同时刻人员相对于路线起点的坐标;最后对这些坐标数据进行误差修正和数据离散,得出人员的运动轨迹。该算法仅需利用智能手机中集成的传感器来实现惯性导航,具有较高的准确度。

参考文献:

[1] 魏崇. 基于信息融合的多传感器轨迹测量[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010:1-10.

[2] 梁韵基,周兴社,於志文,等. 普适环境室内定位系统研究[J]. 计算机科学,2010,37(3):112-116.

[3] 段丙涛. 基于惯性传感器的机器人运动轨迹研究及实现[D]. 成都:电子科技大学,2012:17-20.

[4] 苏亚光,吴亚峰,索依娜. Android 平台下传感器技术开发计步器应用[J]. 电脑编程技巧与维护,2010(23): 40-46.