

# 基于加速度计的室内定位算法研究

何杰

河海大学, 控制理论与控制工程系, 南京 (210098)

E-mail: [hejie4210288@sina.com](mailto:hejie4210288@sina.com)

**摘 要:** 由于生产生活安全和方便的需要, 室内定位的需求日益增大。受定位时间、定位精度以及复杂室内环境等条件的限制, 相对完善的定位技术目前还不成熟。本文针对以上问题, 提出采用加速度计进行主动定位, 研究了加速度计室内定位算法, 通过实验在一定时间和距离内定位误差限制在 6% 以内, 证明了文章算法的有效性。

**关键词:** 室内定位; 加速度计; 定位算法

**中图分类号:** TP202+.2

## 1 引言

随着数据业务和多媒体业务的快速发展, 人们对定位与导航的需求日益增大, 尤其在复杂的室内环境, 如机场大厅、展厅、仓库、超市、图书馆、地下停车场、矿井等环境中, 常常需要确定移动终端或其持有者、设施与物品在室内的位置信息。尽管专家学者提出了许多室内定位技术解决方案, 如 A-GPS 定位技术、超声波定位技术、射频识别技术、无线局域网等等。但是受定位时间、定位精度以及复杂室内环境等条件的限制, 相对完善的定位技术目前还无法很好地利用<sup>[1]</sup>。相比以上的被动定位技术, 加速度计是一种主动定位技术, 通过对载体运动加速度的采集和计算来确定载体的位置<sup>[2]</sup>。本文研究了加速度计定位算法, 并且通过定位实验证明了本文所采用算法的有效性和可靠性。

## 2 加速度计原理

### 2.1 MEMS 加速度计

随着应用领域对低成本加速度传感器需求的增长, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems, 微电子机械系统) 传感器得到了快速的发展。MEMS 传感器技术直接采用了集成电路产业中的化学刻蚀和批处理加工技术, 在集成电路产业基础上开发的硅机械加工技术已用于基于硅材料或石英材料的微小机械结构的制作, 使得 MEMS 传感器成本低、体积小、功耗低、重量轻、可靠性高、结构牢固, 克服了传统传感器成本高、体积大、功耗高等不足。

文章主要介绍常用的电容式 MEMS 加速度计原理<sup>[7]</sup>, 如图 2.1。电容式 MEMS 加速度计由两块芯片组成, 一块是 MEMS 传感器, 另一块是集成的数字信号处理芯片<sup>[3]</sup>。

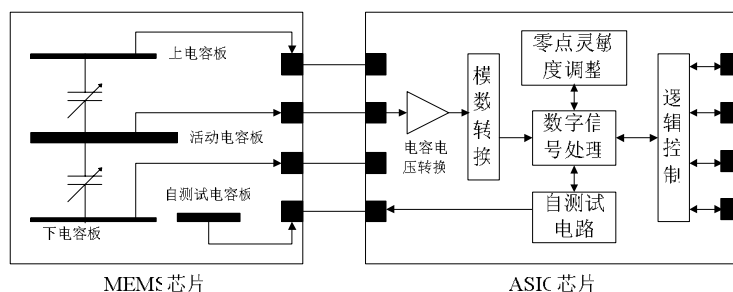


图 2.1 电容式 MEMS 加速度计原理图

电容式 MEMS 加速度计的工作原理就是靠 MEMS 芯片中可移动电容板的惯性。当载体速度或者加速度变化足够大时, 电容板所受到的惯性力超过支撑它的力, 它就会移动。可移

动电容板跟上下电容板之间的距离就会产生变化,上下电容随之变化,电容的变化跟加速度成正比。电容的变化会被集成电路芯片转换成电压信号。模拟的电压信号经过模-数转换后经过一个数字信号处理器的处理,经过零点校正和灵敏度校正后输出。MEMS 加速度计还有一个自测试功能,测试加速度计工作的正常性和精确性。

## 2.2 ADXL345 加速度计

ADXL345 加速度计<sup>[4]</sup>是美国模拟器件公司生产的一款超低功耗小巧纤薄的 3 轴加速计,可以对高达 $\pm 16g$  的加速度进行高分辨率(13 位)测量。以下为 ADXL345 的一些特性:

超低电压:在  $V_s=2.5V$  (典型值) 时,测量模式最低 40 $\mu A$ ,待机模式最低 0.1 $\mu A$ ;

功耗随带宽自动调整;

用户在所有重力加速度范围内可选配 10 位分辨率或者 4mg/LSB 的标度,在 $\pm 16g$  时分辨率高达 13 位;

嵌入式,32 级输出数据的 FIFO 技术最小化了主处理器的负载;

内置运动检测功能、单击/双击检测、动态/静态检测、自由落体检测;

电源和 I/O 电压范围:1.8V-3.6V;

SPI (3 线或 4 线) 和 I<sup>2</sup>C 数字接口;

灵活的中断模式——任何中断都可映射到任意一个中断引脚上;

通过串口命令可选择测量范围和带宽;

宽工作温度范围 (-40°C- +85°C);

能够承受 10000g 的加速度。

ADXL345 含有一个三轴的加速度计,相比其他单轴 MEMS 加速度计,它具有明显的功能和体积优势。因此,加速度计 ADXL345 适合用于室内定位。

## 3 室内定位算法

### 3.1 数字滤波

在加速度计采集信号过程中,经常会受到工作环境以及硬件自身的干扰,实际采集到的加速度数据与真实值之间有一定的偏差,通常而言,高斯白噪声和脉冲噪声是加速度计产生误差的根源。一般地,在采集数据后都会有硬件系统的滤波,但是只采用硬件系统的滤波不能较好地消除这些误差,因此,还需进行软件系统的数字滤波:

#### (1) 算术平均值滤波法

算术平均值滤波是典型的线性滤波算法。它的方法是连续取  $n$  个采样值进行算术平均运算,公式为:  $aver = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n$ 。

算术平均值滤波适用于对一般具有随机干扰的信号进行滤波,这样信号的特点是有一个平均值,信号在某一数值范围附近上下波动。

#### (2) 中位值平均滤波法

中位值平均滤波法相当于“中位值滤波法”+“算术平均滤波法”,连续采样  $n$  个数据,去掉一个最大值和一个最小值然后计算  $n-2$  个数据的算术平均值。它对于偶然出现的脉冲性干扰,可消除由于脉冲干扰所引起的采样值偏差。

#### (3) 加权递推平均滤波法

加权递推平均滤波法是对递推平均滤波法的改进,即不同时刻的数据乘以不同的权值。

公式为： $aver = (a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n) / n$ 。其中  $a$  为权值。通常是，越接近现时刻的数据，权  $a_n$  取得越大。加权递推平均滤波法适用于采样周期较短的系统。

### 3.2 普通定位算法

加速度计信号经过数字滤波和其他补偿后，需要通过二次积分运算来得到载体的运动信息<sup>[5]</sup>，分别是对加速度的积分和对速度的积分： $v = \int_{t_0}^{t_n} a_t dt$  和  $s = \int_{t_0}^{t_n} v_t dt$ 。

如图 3.1 为载体速度与时间关系的示意图：

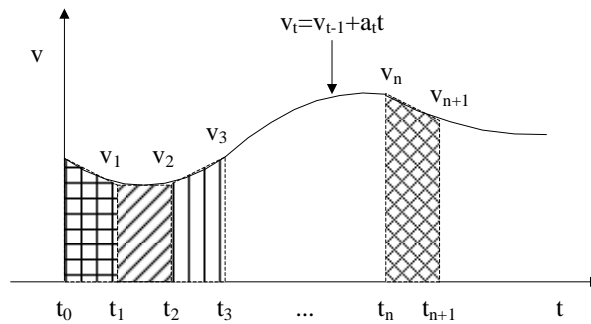


图 3.1 梯形法求解位移示意图

其中，面积的大小可根据梯形法求出：

$$v_1 = v_0 + a_1 * \Delta t$$

...

$$v_n = v_{n-1} + a_n * \Delta t = v_0 + (a_1 + \dots + a_n) * \Delta t$$

$$s_1 = \int_{t_0}^{t_1} v_1 dt = (v_1 + v_2) * \Delta t / 2$$

...

$$s = \int_{t_0}^{t_n} v_n dt = \left( \frac{v_0 + v_1}{2} + \frac{v_1 + v_2}{2} + \dots + \frac{v_{n-1} + v_n}{2} \right) * \Delta t$$

在利用这种方法进行位移的积分时，是直接用加速度计采集到的加速度数据来进行积分，其中包含了加速度计的漂移信号、环境的干扰等等，这时所采集到的加速度数据并不能非常真实地反映出物体的运动情况，因此通过计算机积分得到的位移与实际上物体移动的距离相差较多，为此应当避免直接用采集到的带干扰和漂移的加速度数据来进行积分，而应当进行一系列的处理来减小信号的漂移和环境的干扰所带来的影响。

### 3.3 改进的定位算法

按理论上来讲，当载体停止运动之后，加速度计输出信号应该为其静态输出值，但实际情况是：载体停止运动后，加速度计还能持续采集到代表加速度的电压信号，加速度并不归零，而是在零点附近漂移；计算所得的速度也跟随加速度的振荡而发生漂移；同时位移的漂移表现得更加明显，达到了不可忽略的程度，如果不加处理，那么将造成很大的误差。

产生上述现象的主要原因与加速度计的输出有关系。当载体运动后，加速度计敏感轴的水平位置发生了改变，因此其输出也发生了变化。载体运动停止后，加速度计输出与初始时

设定的输出值有一定的偏差，而这个偏差在所设定允许的偏差之外的，导致了载体停止运动后，采集到偏移电压使程序误判还有一个加速度，计算得到的速度和位移有较大的偏差。只有在运动过程中不断地调整加速度计的输出值才能解决上述的问题。

对载体运动状态的判断和调整以及积分算法的改进基于以下几点：

(1) 对于载体加速度修正的分析：如果加速度在一定时间内没有发生很大变化或者变化在所设定范围之内，根据牛顿第二定律，可以认定在这个时候载体作匀加速运动或运动的加速度接近于 0。在这两种假设条件下，由于加速度计本身所具有的漂移都会使得载体运动的加速度在一个值附近进行来回的振荡，因此对加速度变化设置一个阈值，当变化的绝对值超过这个阈值则根据以下推导的公式来计算物体的速度和位移。

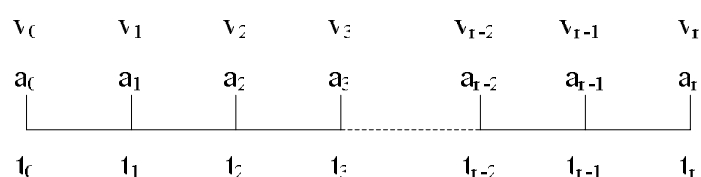


图 3-2 加速度变化示意图

假设  $\Delta t$  为采样间隔， $a_{n,n-1}$  为第  $n$  点加速度与第  $n-1$  点加速度之差， $a_0 = 0$ ， $v_0 = 0$ 。

$$v_1 = a_1 * \Delta t$$

$$a_2 = a_1 + \Delta a_{2,1}$$

$$v_2 = v_1 + a_2 * \Delta t$$

$$v_2 = 2 * v_1 - v_0 + \Delta a_{2,1} * \Delta t$$

...

$$a_n = a_{n-1} + \Delta a_{n,n-1}$$

$$v_n = v_{n-1} + a_n * \Delta t$$

$$v_n = 2 * v_{n-1} - v_{n-2} + \Delta a_{n,n-1} * \Delta t$$

物体做变加速运动速度与加速度变化量之间的关系式： $v_n = 2 * v_{n-1} - v_{n-2} + \Delta a_{n,n-1} * \Delta t$

(2) 对于载体运动速度修正的分析：如果只根据条件 1，还无法判断载体在做匀变速运动还是加速度在 0 附近振荡，因此还必须通过判断载体的速度来进一步判断。因此在满足条件(1)的前提下，若载体运动速度也随着加速度在一定时间内没有发生很大变化或者在所设定变化范围之内，那么就可以认为载体的运动速度维持在一个数值不变。这时载体可能在做匀速运动也可能保持静止。

(3) 对于载体运动位移修正的分析：若载体速度在所设定范围内变化，则认为载体的运动速度保持不变。同时进一步判断载体加速度的变化范围，如果加速度的变化范围也在所设定范围内，那么载体在这段时间内的运动是按照前一次的速度进行匀速运动，反之是在做加速运动，应该按照所推导的积分方法进行位移的计算。

综合来说，通过上面分析进行如下改进：

(1) 动态调整静态输出值，在运动过程中不断调整加速度计的静态输出值；

(2) 用加速度的变化量来计算位移以减小加速度计自身的漂移和环境干扰所带来的误差。

4 定位实验及分析

定位实验在平整光滑的地板上进行，采用固定方向的推车作为运动载体，MEMS 加速度计 ADXL345 水平安置在推车上，其中 X 轴、Y 轴和 Z 轴分别与推车运动方向平行、垂直和指向天顶。推车沿 ADXL345 X 轴方向运动 10m，重复实验 10 次。

实验采集的加速度数据和计算所得的载体速度和位移如图 4.1~4.4 所示<sup>[6]</sup>：

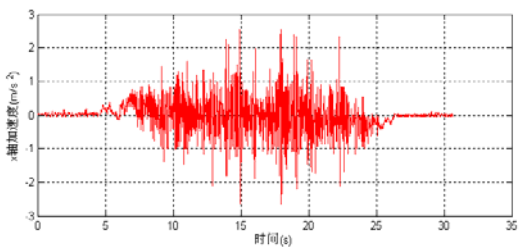


图 4.1 原始加速度数据

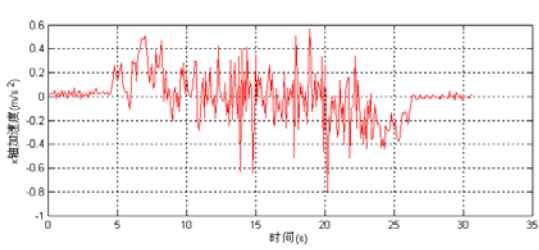


图 4.2 经过滤波后的加速度数据

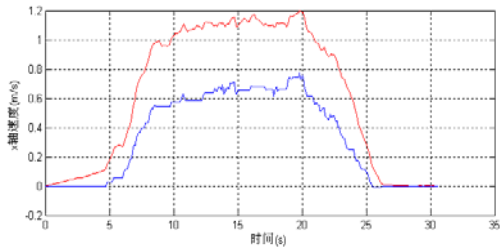


图 4.3 计算所得的速度

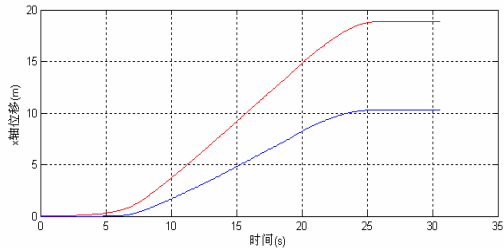


图 4.4 计算所得的位移

其中，红色曲线代表普通定位算法，蓝色曲线代表改进的定位算法。

10 次实验计算所得的载体位移及误差如下表：

表 4.1 定位实验数据表			
实验序号	X 轴运动距离	X 轴计算位移	误差
1	10m	10.279	2.79%
2	10m	10.363	3.63%
3	10m	10.542	5.42%
4	10m	10.331	3.31%
5	10m	10.633	6.33%
6	10m	10.714	7.14%
7	10m	10.591	5.91%
8	10m	10.575	5.75%
9	10m	10.477	4.77%
10	10m	10.611	6.11%
平均	10m	10.512	5.12%

通过以上加速度计定位实验和对加速度数据计算可知，相比普通定位算法，文章所采用的改进定位算法能够更有效精确地计算出载体的位移，并且经过 10 次实验得到在 30s 左右定位误差控制在 6% 以内，能够满足普通室内定位需要。

5 结论

采用动态调整加速度计静态输出值和用加速度的变化量来计算位移的改进定位算法，相比普通定位算法，对载体定位精度更高。通过利用 MEMS 加速度计 ADXL 对载体运动加速度的采集和数据处理，得到了在 30s 时间和 10m 距离内定位精度达到 6%。因此，采用改进定位算法能够有效提高加速度计室内定位精度。

### 参考文献

- [1] 张立立, 钟耳顺, 无线室内定位技术, 中国地理信息系统协会第八届年会, 2004
- [2] 室内定位技术简介, <http://www.400700512.com/article-258.html>
- [3] 王壬林, 加速度计, 国防工业出版社, 北京, 1982
- [4] ADXL345, <http://www.analog.com/zh/mems/low-g-accelemeters/adxl345/products/protuct.html>
- [5] 陈义华, 基于加速度传感器的定位系统研究, 厦门大学硕士学位论文, 2006.8
- [6] 张志涌, 精通 MATLAB6.5 版, 北京航空航天大学出版社, 2003.3
- [7] 姜岩峰, 微电子机械系统, 化工工业出版社, 2006.1

## Algorithm of indoor position based on accelerator

He Jie

Electric School, Hohai University, NanJing (210098)

### Abstract

The requirement of indoor position increases owing to the safety and convenience of manufacture and life. Perfect position technology is not mature due to the limitation of position time, accuracy and indoor environments. This paper has proposed the position method with accelerator, researched the algorithm of position. Position deviation is controlled in 6% in a certain time and distance by experiments. The results prove that the algorithm is valid.

**Key words:**Indoor Position;Accelerator;Position Algorithm