



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109211233 B

(45)授权公告日 2020.10.23

(21)申请号 201811112016.6

G01C 21/20(2006.01)

(22)申请日 2018.09.25

审查员 梁斯均

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109211233 A

(43)申请公布日 2019.01.15

(73)专利权人 常熟理工学院  
地址 215500 江苏省苏州市常熟市南三环  
路99号

(72)发明人 朱培逸 孙振 吕岗 徐本连  
施健 鲁明丽

(74)专利代理机构 常州佰业腾飞专利代理事务  
所(普通合伙) 32231

代理人 滕诣迪

(51)Int.Cl.

G01C 21/16(2006.01)

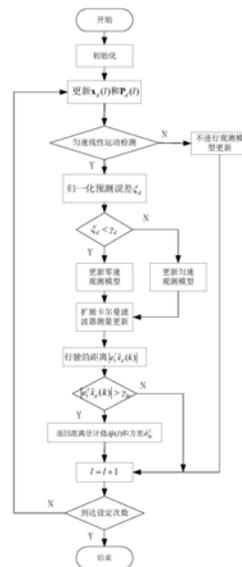
权利要求书4页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断,按照如下步骤进行:步骤1.电梯轿厢行驶距离估计,位于电梯轿厢上的三轴加速度传感器采集电梯的运动参数,通过扩展卡尔曼滤波算法,估计每一趟旅程中即两次停车之间电梯的行驶距离,返回电梯在一趟行驶过程中的位移估计值及方差;步骤2.电梯轿厢停层及故障判断,基于步骤1的位移估计值及方差结果,结合SLAM算法,在设置基准点的基础上估计出电梯轿厢的位置和楼层的高度;步骤3.通过位置估计判断电梯是否发生异常停车故障。本发明利用三轴加速度计实现对电梯运动状态的检测,利用扩展卡尔曼滤波方法对电梯状态进行估计,可以快速得到电梯轿厢的位移信息。



1. 一种基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法,其特征在于按照如下步骤进行:

步骤1. 电梯轿厢行驶距离估计

位于电梯轿厢上的三轴加速度传感器采集电梯的运动参数,通过扩展卡尔曼滤波算法,估计每一趟旅程中即两次停车之间电梯的行驶距离,返回电梯在一趟行驶过程中的位移估计值及方差;

步骤2. 电梯轿厢停层及故障判断

基于步骤1的位移估计值及方差结果,结合SLAM算法,在设置基准点的基础上估计出电梯轿厢的位置和楼层的高度;

步骤3. 通过位置估计判断电梯是否发生异常停车故障;所述的电梯轿厢行驶距离估计按照如下步骤进行:

11) 在电梯行驶距离估计中,电梯轿厢在连续两次停车  $(l-1, l)$  间移动距离为  $\delta p(l)$  和运动速度,通过横向和纵向速度为零的约束条件下辅助惯性导航即可估计得到,首先假设在  $t$  时刻,电梯的状态向量为  $\mathbf{x}_d(t)$ ,其定义为

$$\mathbf{x}_d(t) \triangleq [d(t) \quad s(t) \quad \delta u_z(t) \quad s(t-1)]^T$$

其中,  $d(t)$ ,  $s(t)$ ,  $\delta u_z(t)$  分别表示电梯最后一次停车后运动的距离、轿厢的速度和垂直加速度测量偏差,包括地球引力造成的偏移,  $s(t-1)$  为辅助状态变量;

12) 在一次运动中,根据零速辅助惯性导航系统,定义时刻  $t$  电梯轿厢的运动状态矢量为:

$$\mathbf{x}_d(t) = \mathbf{F}\mathbf{x}_d(t-1) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}_z(t) + \mathbf{G}\mathbf{w}(t)$$

其中

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$\mathbf{x}_d(t-1)$  是从上次停止开始行驶的距离,  $\tilde{\mathbf{u}}_z(t)$  是电梯轿厢测量的加速度,  $\Delta t$  为采样间隔,  $\mathbf{w}(t)$  过程噪声, 高斯白噪声, 其协方差  $\mathbf{Q} \triangleq \text{diag}(\sigma_{u_z}^2, \sigma_{\delta u_z}^2)$ , 其中  $\sigma_{u_z}^2$  表示加速度计噪声方差,  $\sigma_{\delta u_z}^2$  表示加速度计偏差模型的噪声方差;

13) 由于电梯轿厢的位置和运动状态只用加速度计来测量估计,因此无法为状态空间模型制定传统的量测更新方程;但是,电梯轿厢一般都是静止或者匀速运动,这两种状态都通过加速度计检测出来;假设已知电梯轿厢静止或者匀速运动的时间,那么状态空间的伪量测模型如下:

$$y_d(t) \triangleq 0 = \begin{cases} \mathbf{H}_d^{(c)} \mathbf{x}_d(t) + v_d^{(c)}(t) & \text{匀速运动时} \\ \mathbf{H}_d^{(z)} \mathbf{x}_d(t) + v_d^{(z)}(t) & \text{静止时} \end{cases}$$

其中  $\mathbf{H}_d^{(c)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ -1]$ ,  $\mathbf{H}_d^{(z)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ ;  $v_d^{(c)}(t)$  和  $v_d^{(z)}(t)$  分别是匀速运动和静止时的观

测噪声,即伪量测模型为电梯运动估计提供了两个不同的更新模型:零速更新模型和匀速更新模型;

14) 电梯轿厢只在有限范围内垂直方向移动,简化模型将电梯轿厢的运动均视为匀速直线运动,静止是一种特殊的匀速直线运动,同时三轴加速度传感器测量的加速度也取行程时间内的均值,并将电梯轿厢开始加速或减速的问题转化为电梯轿厢加速度均值局部变化的问题;

15) 根据状态空间矢量建立基于扩展卡尔曼滤波器的轿厢行驶距离估计和轿厢运动状态估计,将三轴加速度计测得平均加速度  $\tilde{u}_z(t)$  作为算法的输入;

16) 电梯处于均匀线性运动时,通过计算将零速度假设拟合到观测数据后获得归一化预测误差  $\xi_d$  的大小,判断电梯轿厢是静止还是匀速运动;设置阈值  $\gamma_d$ ,确定电梯轿厢的状态,对观测模型进行更新:如果  $\xi_d > \gamma_d$ ,选择匀速测量更新;如果  $\xi_d < \gamma_d$ ,选择零速度测量更新;

17) 当算法检测到电梯轿厢停止运动并且行驶的距离超过了阈值  $\gamma_{\delta p}$ ,就会输出电梯轿厢行驶的距离估计值  $\delta\hat{p}(l)$  和其方差估计值  $\hat{\sigma}_{\delta p}^2(l)$ ,并且对系统状态矢量进行更新,并返回更新值,在下次运动时重复15)-17)过程。

2. 根据权利要求1所述的基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法,其特征在于:步骤15)中

首先,通过扩展卡尔曼滤波算法对状态矢量估计值  $\hat{\mathbf{x}}_d(t)$  和它的协方差矩阵  $\mathbf{P}_d(t) \triangleq \text{Cov}\{\hat{\mathbf{x}}_d(t)\}$  进行更新迭代,具体迭代步骤分为预测与更新:

①预测

$$\hat{\mathbf{x}}_d = \mathbf{F}\mathbf{x}_d(t-1) + \mathbf{B}\tilde{u}_z(t)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_d = \mathbf{F}\mathbf{P}_{d-1}\mathbf{F}^T + \mathbf{G}\mathbf{Q}_{d-1}\mathbf{G}^T$$

②更新

$$\mathbf{G}_d = \hat{\mathbf{P}}_d \mathbf{H}_d^T (\mathbf{H}_d \hat{\mathbf{P}}_d \mathbf{H}_d^T + \mathbf{R})^{-1}$$

$$\mathbf{x}_d = \hat{\mathbf{x}}_d + \mathbf{G}_d (\mathbf{y}_d - h(\hat{\mathbf{x}}_d))$$

$$\mathbf{P}_d = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_d \mathbf{H}_d) \hat{\mathbf{P}}_d$$

然后,通过均匀线性运动检测器判断电梯轿厢是否是均匀线性运动,如果是就继续执行迭代更新算法,如果不是就进行下一次行程的计算。

3. 根据权利要求1所述的基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法,其特征在于所述的步骤2电梯轿厢停层及故障判断按照如下步骤进行:

21) 通过步骤1获取轿厢行驶距离估计值  $\{\delta\hat{p}(i)\}_{i=0}^l$  和方差估计值  $\{\hat{\sigma}_{\delta p}^2(i)\}_{i=0}^l$ ,在此基础上,通过SLAM算法实现电梯轿厢位置和停靠楼层估计,同时通过估计的轿厢位置,检测电梯是否存在故障;

22) 引入新的状态矢量  $\mathbf{x}_s(l) \triangleq [p(l) \ m^{(1)} \ \dots \ m^{(M)}]^T$ ,其中,  $p(l)$  为电梯轿厢在第1趟行驶后的位置,  $\delta p(l)$  表示电梯轿厢在连续两次停车  $(l-1, l)$  间的移动距离;  $m^{(i)}$  为第  $i$  层楼的高

度,  $M$ 为楼层总数;由于每层楼的高度是恒定的,状态矢量描述为:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_s(l) &= \mathbf{x}_s(l-1) + \delta p(l)\mathbf{e}_1 \\ &= \mathbf{x}_s(l-1) + \delta \hat{p}(l)\mathbf{e}_1 + \omega_s(l)\mathbf{e}_1\end{aligned}$$

其中  $\mathbf{e}_1$  为单位阵,  $\omega_s(l) \triangleq \delta p(l) - \delta \hat{p}(l)$  是电梯轿厢行驶距离估计值的误差,假定误差  $\omega_s$

(1) 为零均值、不相关,且其方差为  $\sigma_{\delta p}^2(l)$ ;

23) 假设电梯轿厢第1次行驶所停的楼层  $i$  已知的,则对应的伪观测模型为:

$$y_s(l) \triangleq 0 = \mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{x}_s(l) + v_s(l)$$

其中  $\mathbf{H}_s^{(i)} = [1 - \mathbf{e}_i^T]$ ,  $v_s(l)$  是伪测量误差,由于电梯控制系统不完善该伪测量误差是电梯轿厢停靠点位置和楼层高度之间微小偏差,该伪测量误差假定为零均值、不相关,伪测量误差  $v_s(l)$  的方差为  $\sigma_s^2$ ;假如楼层和电梯轿厢停靠点是已知,则通过基于扩展卡尔曼滤波的SLAM跟踪电梯轿厢位置、估计楼层高度;

24) 在实际工作环境中,楼层总数  $M$  和电梯轿厢的行驶顺序是未知的;假如电梯轿厢初始状态估计  $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$  和相应的协方差矩阵  $\mathbf{P}_s(l) \triangleq Cov\{\hat{\mathbf{x}}_s(l)\}$  是有效的,则通过基于最大似然数的数据关联实现电梯轿厢位置与估计楼层高度间的关联,该数据关联选择使归一化预测误差最小的观测模型,故通过最小化函数即可获得电梯轿厢所处的楼层高度:

$$i(l) = \arg \min_j \left( \frac{(\mathbf{H}_s^{(j)} \hat{\mathbf{x}}_s(l))^2}{\mathbf{H}_s^{(j)} \mathbf{P}_s(l) (\mathbf{H}_s^{(j)})^T + \sigma_s^2} \right)$$

25) 要完成上述24) 中所说的步骤,必须要有理想的初始值;获取理想初始状态的方法,通过让电梯轿厢从底层依次运动到最高层,每层至少停留一次;

26) 基于扩展卡尔曼滤波器的SLAM算法,将第1阶段获得的电梯轿厢行驶的距离估计值  $\delta \hat{p}(l)$  和距离估计误差的方差估计值  $\hat{\sigma}_{\delta p}^2(l)$  作为输入,对状态向量  $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$  和状态协方差  $\mathbf{P}_s(k) \triangleq Cov\{\hat{\mathbf{x}}_s(k)\}$  进行更新迭代;

27) 计算归一化预测误差  $\xi_s = \frac{(\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{x}}_s)^2}{\mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{P}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^T + \sigma_s^2}$ ,并通过最小化函数求出电梯轿厢所处的

楼层  $i$ ;

28) 比较归一化误差  $\xi_s$  与假定阈值  $\gamma_s$  的大小,如果  $\xi_s > \gamma_s$ ,则表明估计误差过大,故电梯轿厢运行异常,此时状态向量不进行量测更新,并且报警提示电梯轿厢异常停靠故障;如果误差  $\xi_s < \gamma_s$ ,则证明电梯轿厢运行正常,对状态向量进行量测更新,并返回更新的值,进入下一轮行驶过程并重复步骤26) -28)。

4. 根据权利要求3所述的基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法,其特征在于所述的步骤26),具体迭代步骤分为预测与更新:

① 预测

$$\hat{\mathbf{x}}_s = \mathbf{x}_s(l-1) + \delta \hat{p}(l)\mathbf{e}_1$$

$$\hat{\mathbf{P}}_s = \mathbf{P}_s(l-1) + \hat{\sigma}_{\delta p}^2(l)\mathbf{e}_1\mathbf{e}_1^T$$

②更新

$$\mathbf{G}_s = \hat{\mathbf{P}}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^T (\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{P}}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^T + \sigma_s^2)^{-1}$$

$$\mathbf{x}_s = \hat{\mathbf{x}}_s + \mathbf{G}_s (\mathbf{y}_s - h(\hat{\mathbf{x}}_s))$$

$$\mathbf{P}_s = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_s \mathbf{H}_s^{(i)}) \hat{\mathbf{P}}_s。$$

5. 根据权利要求3所述的基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法,其特征在于:检测电梯是否存在故障,故障包括不平层、蹲底或冲顶。

## 基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电梯运动检测领域,更具体的涉及一种基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法。

### 背景技术

[0002] 电梯轿厢位置精确估计对于电梯正常运行具有极为重要的意义。当电梯异常停层时,电梯与楼层未能对准的情况下开门,会发生人员坠梯的危险。目前电梯轿厢准确停层检测方法,都是基于电梯与楼层信号相互呼应的原理。非常依赖信号的稳定和准确,并且需要安装大量检测信号发出和接收装置(每个楼层都需要安装),维护成本高,适用型差。当电梯由于急停、系统断电或者曳引绳与曳引轮之间发生滑移等情况导致电梯位置丢失,如果无法确认电梯轿厢位置,则电梯将无法正常工作。

[0003] 电梯异常位置停车检测的一个重要的方面就是确定电梯在哪个高度,并检测是否不平层、蹲底或冲顶。通常可以通过卫星定位系统(GPS)为用户提供高度(海拔)信息,但是这种高度判断在民用产品中误差较大,只适用于跨度较大的高度判断,不能用于室内跨度小的高度判断。另外,由于建筑外墙对卫星信号的屏蔽作用,在室内卫星定位系统的使用极为困难。

[0004] 本发明试图提供室内尤其是电梯井内的轿厢定位系统。该系统通过电梯运动检测系统,采集轿厢的运动状态等参数,来判断其所处的位置,并根据运动结果来确定电梯是否发生异常位置停车故障。运动检测系统中加速度计可以全方位感知物体的运动状态。通过检测加速度计各方向的受力,可以判断轿厢的运动方向,以及加速度的变化幅值和移动的距离(从静止开始),最终获得电梯轿厢位置精确估计。目前还没有基于加速度计的电梯异常停层故障的解决方案。

### 发明内容

[0005] 1、发明目的。

[0006] 本发明利用加速度计获取电梯的运动状态,将电梯在垂直方向上的加速度作为输入,通过扩展卡尔曼滤波估计每一趟旅程中(两次停车之间)电梯的行驶距离,再通过即时定位与地图构建(Simultaneous Localization and Mapping,SLAM)算法构建电梯行驶的轨迹,结合数据关联实现对电梯所处楼层的估计,并对电梯是否异常停层给出判断。

[0007] 2、本发明所采用的技术方案。

[0008] 本发明公开了一种基于加速度传感器的电梯运动检测及异常位置停车判断方法,按照如下步骤进行:

[0009] 步骤1. 电梯轿厢行驶距离估计

[0010] 位于电梯轿厢上的三轴加速度传感器采集电梯的运动参数,通过扩展卡尔曼滤波算法,估计每一趟旅程中即两次停车之间电梯的行驶距离,返回电梯在一趟行驶过程中的位移估计值及方差;

[0011] 步骤2.电梯轿厢停层及故障判断

[0012] 基于步骤1的位移估计值及方差结果,结合SLAM算法,在设置基准点的基础上估计出电梯轿厢的位置和楼层的高度;

[0013] 步骤3.通过位置估计判断电梯是否发生异常停车故障;所述的电梯轿厢行驶距离估计按照如下步骤进行:

[0014] 11) 在电梯行驶距离估计中,电梯轿厢在连续两次停车(1-1,1)间移动距离为 $\delta p$ (1)和运动速度,通过横向和纵向速度为零的约束条件下辅助惯性导航即可估计得到,首先假设在t时刻,电梯的状态向量为 $\mathbf{x}_d(t)$ ,其定义为

$$[0015] \quad \mathbf{x}_d(t) \triangleq [d(t) \quad s(t) \quad \delta u_z(t) \quad s(t-1)]^T$$

[0016] 其中, $d(t)$ , $s(t)$ , $\delta u_z(t)$ 分别表示电梯最后一次停车后运动的距离、轿厢的速度和垂直加速度测量偏差,包括地球引力造成的偏移, $s(t-1)$ 为辅助状态变量;

[0017] 12) 在一次运动中,根据零速辅助惯性导航系统,可以定义时刻t电梯轿厢的运动状态矢量为:

$$[0018] \quad \mathbf{x}_d(t) = \mathbf{F}\mathbf{x}_d(t-1) + \mathbf{B}\tilde{u}_z(t) + \mathbf{G}w(t)$$

[0019] 其中

$$[0020] \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0021]  $\mathbf{x}_d(t-1)$ 是从上次停止开始行驶的距离, $\tilde{u}_z(t)$ 是电梯轿厢测量的加速度, $\Delta t$ 为采样间隔, $w(t)$ 过程噪声,高斯白噪声,其协方差 $\mathbf{Q} \triangleq \text{diag}(\sigma_{u_z}^2, \sigma_{\delta u_z}^2)$ ,其中 $\sigma_{u_z}^2$ 表示加速度计噪声方差, $\sigma_{\delta u_z}^2$ 表示加速度计偏差模型的噪声方差;

[0022] 13) 由于电梯轿厢的位置和运动状态只用加速度计来测量估计,因此无法为状态空间模型制定传统的量测更新方程;但是,电梯轿厢一般都是静止或者匀速运动,这两种状态都可以通过加速度计检测出来;假设已知电梯轿厢静止或者匀速运动的时间,那么状态空间的伪量测模型如下:

$$[0023] \quad y_d(t) \triangleq 0 = \begin{cases} \mathbf{H}_d^{(c)} \mathbf{x}_d(t) + v_d^{(c)}(t) & \text{匀速运动时} \\ \mathbf{H}_d^{(z)} \mathbf{x}_d(t) + v_d^{(z)}(t) & \text{静止时} \end{cases}$$

[0024] 其中 $\mathbf{H}_d^{(c)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ -1]$ , $\mathbf{H}_d^{(z)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ ;  $v_d^{(c)}(t)$ 和 $v_d^{(z)}(t)$ 分别是匀速运动和静止时的观测噪声,即伪量测模型为电梯运动估计提供了两个不同的更新模型:零速更新模型和匀速更新模型;

[0025] 14) 电梯轿厢只在有限范围内垂直方向移动,简化模型将电梯轿厢的运动均视为匀速直线运动,静止是一种特殊的匀速直线运动,同时三轴加速度传感器测量的加速度也取行程时间内的均值,并将电梯轿厢开始加速或减速的问题转化为电梯轿厢加速度均值局部变化的问题;

[0026] 15) 根据状态空间矢量建立基于扩展卡尔曼滤波器的轿厢行驶距离估计和轿厢运

动状态估计,将三轴加速度计测得平均加速度 $\tilde{u}_z(t)$ 作为算法的输入;

[0027] 16) 电梯处于均匀线性运动时,通过计算将零速度假设拟合到观测数据后获得归一化预测误差 $\xi_d$ 的大小,判断电梯轿厢是静止还是匀速运动;设置阈值 $\gamma_d$ ,确定电梯轿厢的状态,对观测模型进行更新:如果 $\xi_d > \gamma_d$ ,选择匀速测量更新;如果 $\xi_d < \gamma_d$ ,选择零速度测量更新;

[0028] 17) 当算法检测到电梯轿厢停止运动并且行驶的距离超过了阈值 $\gamma_{\delta p}$ ,就会输出电梯轿厢行驶的距离估计值 $\delta\hat{p}(l)$ 和其方差估计值 $\sigma_{\delta p}^2(l)$ ,并且对系统状态矢量进行更新,并返回更新值,在下一次运动时重复15)-17)过程。

[0029] 更进一步,步骤15)中

[0030] 首先,通过扩展卡尔曼滤波算法对状态矢量估计值 $\hat{\mathbf{x}}_d(t)$ 和它的协方差矩阵 $\mathbf{P}_d(t) \triangleq Cov\{\hat{\mathbf{x}}_d(t)\}$ 进行更新迭代,具体迭代步骤分为预测与更新:

[0031] ①预测

$$[0032] \quad \hat{\mathbf{x}}_d = \mathbf{F}\mathbf{x}_d(t-1) + \mathbf{B}\tilde{u}_z(t)$$

$$[0033] \quad \hat{\mathbf{P}}_d = \mathbf{F}\mathbf{P}_{d-1}\mathbf{F}^T + \mathbf{G}\mathbf{Q}_{d-1}\mathbf{G}^T$$

[0034] ②更新

$$[0035] \quad \mathbf{G}_d = \hat{\mathbf{P}}_d \mathbf{H}_d^T (\mathbf{H}_d \hat{\mathbf{P}}_d \mathbf{H}_d^T + \mathbf{R})^{-1}$$

$$[0036] \quad \mathbf{x}_d = \hat{\mathbf{x}}_d + \mathbf{G}_d (\mathbf{y}_d - h(\hat{\mathbf{x}}_d))$$

$$[0037] \quad \mathbf{P}_d = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_d \mathbf{H}_d) \hat{\mathbf{P}}_d$$

[0038] 然后,通过均匀线性运动检测器判断电梯轿厢是否是均匀线性运动,如果是就继续执行迭代更新算法,如果不是就进行下一次行程的计算。

[0039] 更进一步,所述的步骤2电梯轿厢停层及故障判断按照如下步骤进行:

[0040] 21) 通过步骤1获取轿厢行驶距离估计值 $\{\delta\hat{p}(i)\}_{i=0}^l$ 和方差估计值 $\{\sigma_{\delta p}^2(i)\}_{i=0}^l$ ,在此基础上,通过SLAM算法可以实现电梯轿厢位置和停靠楼层估计,同时通过估计的轿厢位置,检测电梯是否存在故障;

[0041] 22) 引入新的状态矢量 $\mathbf{x}_s(l) \triangleq [p(l) \ m^{(1)} \ \dots \ m^{(M)}]^T$ ,其中, $p(l)$ 为电梯轿厢在第 $l$ 趟行驶后的位置, $\delta p(l)$ 表示电梯轿厢在连续两次停车 $(l-1, l)$ 间的移动距离; $m^{(i)}$ 为第 $i$ 层楼的高度, $M$ 为楼层总数;由于每层楼的高度是恒定的,状态矢量描述为:

$$[0042] \quad \begin{aligned} \mathbf{x}_s(l) &= \mathbf{x}_s(l-1) + \delta p(l) \mathbf{e}_1 \\ &= \mathbf{x}_s(l-1) + \delta\hat{p}(l) \mathbf{e}_1 + \omega_s(l) \mathbf{e}_1 \end{aligned}$$

[0043] 其中 $\mathbf{e}_1$ 为单位阵, $\omega_s(l) \triangleq \delta p(l) - \delta\hat{p}(l)$ 是电梯轿厢行驶距离估计值的误差,假定误差 $\omega_s(l)$ 为零均值、不相关,且其方差为 $\sigma_{\delta p}^2(l)$ ;

[0044] 23) 假设电梯轿厢第 $l$ 次行驶所停的楼层 $i$ 已知的,则对应的伪观测模型为:

$$[0045] \quad y_s(l) \triangleq 0 = \mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{x}_s(l) + v_s(l)$$

[0046] 其中  $\mathbf{H}_s^{(i)} = [1 - \mathbf{e}_i^T]$ ,  $v_s(1)$  是伪测量误差, 由于电梯控制系统不完善该伪测量误差是电梯轿厢停靠点位置和楼层高度之间微小偏差, 该伪测量误差假定为零均值、不相关, 伪测量误差  $v_s(1)$  的方差为  $\sigma_s^2$ ; 假如楼层和电梯轿厢停靠点是已知, 则通过基于扩展卡尔曼滤波的SLAM跟踪电梯轿厢位置、估计楼层高度;

[0047] 24) 在实际工作环境中, 楼层总数  $M$  和电梯轿厢的行驶顺序是未知的; 假如电梯轿厢初始状态估计  $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$  和相应的协方差矩阵  $\mathbf{P}_s(l) \triangleq \text{Cov}\{\hat{\mathbf{x}}_s(l)\}$  是有效的, 则通过基于最大似然数的数据关联实现电梯轿厢位置与估计楼层高度间的关联, 该数据关联选择使归一化预测误差最小的观测模型, 故通过最小化函数即可获得电梯轿厢所处的楼层高度:

$$[0048] \quad i(l) = \arg \min_j \left( \frac{(\mathbf{H}_s^{(j)} \hat{\mathbf{x}}_s(l))^2}{\mathbf{H}_s^{(j)} \mathbf{P}_s(l) (\mathbf{H}_s^{(j)})^T + \sigma_s^2} \right)$$

[0049] 25) 要完成上述24) 中所说的步骤, 必须要有理想的初始值; 获取理想初始状态的方法, 通过让电梯轿厢从底层依次运动到最高层, 每层至少停留一次;

[0050] 26) 基于扩展卡尔曼滤波器的SLAM算法, 将第1阶段获得的电梯轿厢行驶的距离估计值  $\delta \hat{p}(l)$  和距离估计误差的方差估计值  $\hat{\sigma}_{\delta p}^2(l)$  作为输入, 对状态向量  $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$  和状态协方差  $\mathbf{P}_s(k) \triangleq \text{Cov}\{\hat{\mathbf{x}}_s(k)\}$  进行更新迭代;

[0051] 27) 计算归一化预测误差  $\xi_s = \frac{(\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{x}}_s)^2}{\mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{P}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^T + \sigma_s^2}$ , 并通过最小化函数求出电梯轿厢

所处的楼层  $i$ ;

[0052] 28) 比较归一化误差  $\xi_s$  与假定阈值  $\gamma_s$  的大小, 如果  $\xi_s > \gamma_s$ , 则表明估计误差过大, 故电梯轿厢运行异常, 此时状态向量不进行量测更新, 并且报警提示电梯轿厢异常停靠故障; 如果误差  $\xi_s < \gamma_s$ , 则证明电梯轿厢运行正常, 对状态向量进行量测更新, 并返回更新的值, 进入下一轮行驶过程并重复步骤26) -28)。

[0053] 更进一步, 所述的步骤26), 具体迭代步骤分为预测与更新:

[0054] ①预测

$$[0055] \quad \hat{\mathbf{x}}_s = \mathbf{x}_s(l-1) + \delta \hat{p}(l) \mathbf{e}_1$$

$$[0056] \quad \hat{\mathbf{P}}_s = \mathbf{P}_s(l-1) + \hat{\sigma}_{\delta p}^2(l) \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_1^T$$

[0057] ②更新

$$[0058] \quad \mathbf{G}_s = \hat{\mathbf{P}}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^T (\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{P}}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^T + \sigma_s^2)^{-1}$$

$$[0059] \quad \mathbf{x}_s = \hat{\mathbf{x}}_s + \mathbf{G}_s (\mathbf{y}_s - h(\hat{\mathbf{x}}_s))$$

$$[0060] \quad \mathbf{P}_s = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_s \mathbf{H}_s^{(i)}) \hat{\mathbf{P}}_s$$

[0061] 更进一步, 检测电梯是否存在故障, 故障包括不平层、蹲底或冲顶。

[0062] 3、本发明所产生的技术效果。

[0063] (1) 本发明利用三轴加速度计实现对电梯运动状态的检测, 利用扩展卡尔曼滤波方法对电梯状态进行估计, 可以快速得到电梯轿厢的位移信息。

[0064] (2) 本发明利用三轴加速度计实现电梯楼层定位,无需电梯与楼层进行信息交互,成本低,适用型高。

[0065] (3) 本发明利用扩展卡尔曼滤波和SLAM方法,相比其他的方法,只需要让电梯遍历一次获取楼层、楼层层高等数据,即可进行后期电梯运动状态估计和停层异常检测,工作效率大大提高。

## 附图说明

[0066] 图1为本发明电梯轿厢行驶距离估计流程图。

[0067] 图2为本发明电梯轿厢停层及故障判断流程图。

[0068] 图3为具体实施方案中对电梯楼层定位估计图。

## 具体实施方式

[0069] 实施例

[0070] 本发明提出一种基于三轴加速度传感器的电梯运动检测方法,包括三轴加速度传感器、数据线、上位机,将三轴加速度传感器放置于电梯轿厢上,在电梯运行时采集电梯的运动参数,如电梯运动方向、速度、加速度,将加速度计采集到的参数作为输入,通过扩展卡尔曼滤波算法,估计每一趟旅程中(两次停车之间)电梯的行驶距离。并返回电梯在一趟行驶过程中的位移估计值及方差。再结合SLAM算法,估计出电梯轿厢的位置和楼层的高度(在设置基准点的基础上)。最后通过位置估计判断电梯是否发生异常停车故障。

[0071] 本发明提出的一种基于三轴加速度传感器的电梯运动状态估计和停层异常检测方法,其步骤如下:

[0072] 1. 电梯轿厢行驶距离估计

[0073] 11) 在电梯行驶距离估计中,电梯轿厢在连续两次停车(1-1, 1)间的移动距离 $\delta p$ (1)和运动速度,通过横向和纵向速度为零的约束条件下辅助惯性导航即可估计得到。首先假设在t时刻,电梯的状态向量为 $x_d(t)$ ,其定义为

$$[0074] \quad \mathbf{x}_d(t) \triangleq [d(t) \quad s(t) \quad \delta u_z(t) \quad s(t-1)]^T \quad (1)$$

[0075] 其中, $d(t)$ ,  $s(t)$ ,  $\delta u_z(t)$ 分别表示电梯最后一次停车后运动的距离、轿厢的速度和垂直加速度测量偏差(包括地球引力造成的偏移), $s(t-1)$ 为辅助状态变量。

[0076] 12) 在一次运动中,根据零速辅助惯性导航系统,可以定义时刻t电梯轿厢的运动状态矢量为:

$$[0077] \quad \mathbf{x}_d(t) = \mathbf{F}\mathbf{x}_d(t-1) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}_z(t) + \mathbf{G}\mathbf{w}(t) \quad (2)$$

[0078] 其中

$$[0079] \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0080]  $x_d(t-1)$ 是从上次停止开始行驶的距离, $\tilde{\mathbf{u}}_z(t)$ 是电梯轿厢测量的加速度, $\Delta t$ 为采

样间隔,  $w(t)$  过程噪声(高斯白噪声, 其协方差  $\mathbf{Q} \triangleq \text{diag}(\sigma_{u_z}^2, \sigma_{\delta u_z}^2)$ ), 其中  $\sigma_{u_z}^2$  表示加速度计噪声方差,  $\sigma_{\delta u_z}^2$  表示加速度计偏差模型的噪声方差。

[0081] 13) 由于电梯轿厢的位置和运动状态只用加速度计来测量估计, 因此无法为状态空间模型制定传统的量测更新方程。但是, 电梯轿厢一般都是静止或者匀速运动, 这两种状态都可以通过加速度计检测出来。假设已知电梯轿厢静止或者匀速运动的时间, 那么就可以建立状态空间的伪量测模型:

$$[0082] \quad y_d(t) \triangleq 0 = \begin{cases} \mathbf{H}_d^{(c)} \mathbf{x}_d(t) + v_d^{(c)}(t) & \text{匀速运动时} \\ \mathbf{H}_d^{(z)} \mathbf{x}_d(t) + v_d^{(z)}(t) & \text{静止时} \end{cases} \quad (3)$$

[0083] 其中  $\mathbf{H}_d^{(c)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ -1]$ ,  $\mathbf{H}_d^{(z)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ 。  $v_d^{(c)}(t)$  和  $v_d^{(z)}(t)$  分别是匀速运动和静止时的观测噪声, 即伪量测模型为电梯运动估计提供了两个不同的更新模型: 零速更新模型和匀速更新模型。

[0084] 14) 众所周知, 电梯轿厢只是在有限范围内垂直方向移动。为了简化模型, 方便计算, 本发明将电梯轿厢的运动均视为匀速直线运动(静止是一种特殊的匀速直线运动), 同时三轴加速度传感器测量的加速度也取行程时间内的均值, 并将电梯轿厢开始加速或减速的问题转化为电梯轿厢加速度均值局部变化的问题。

[0085] 15) 根据状态空间矢量建立基于扩展卡尔曼滤波器的轿厢行驶距离估计和轿厢运动状态估计, 将三轴加速度计测得平均加速度(或为负)  $\tilde{u}_z(t)$  作为算法的输入。首先, 通过扩展卡尔曼滤波算法对状态矢量估计值  $\hat{\mathbf{x}}_d(t)$  和它的协方差矩阵  $\mathbf{P}_d(t) \triangleq \text{Cov}\{\hat{\mathbf{x}}_d(t)\}$  进行更新迭代, 具体迭代步骤分为预测与更新:

[0086] ①预测

$$[0087] \quad \hat{\mathbf{x}}_d \leftarrow \mathbf{F} \hat{\mathbf{x}}_d(t-1) + \mathbf{B} \tilde{u}_z(t) \quad (4)$$

$$[0088] \quad \hat{\mathbf{P}}_d = \mathbf{F} \mathbf{P}_{d-1} \mathbf{F}^T + \mathbf{G} \mathbf{Q}_{d-1} \mathbf{G}^T \quad (5)$$

[0089] ②更新

$$[0090] \quad \mathbf{G}_d = \hat{\mathbf{P}}_d \mathbf{H}_d^T (\mathbf{H}_d \hat{\mathbf{P}}_d \mathbf{H}_d^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (6)$$

$$[0091] \quad \mathbf{x}_d = \hat{\mathbf{x}}_d + \mathbf{G}_d (y_d - h(\hat{\mathbf{x}}_d)) \quad (7)$$

$$[0092] \quad \mathbf{P}_d = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_d \mathbf{H}_d) \hat{\mathbf{P}}_d \quad (8)$$

[0093] 然后, 通过均匀线性运动检测器判断电梯轿厢是否是均匀线性运动, 如果是就继续执行迭代更新算法, 如果不是就进行下一次行程的计算。

[0094] 16) 电梯处于均匀线性运动时, 通过计算将零速度假设拟合到观测数据后获得归一化预测误差  $\xi_d$  的大小, 判断电梯轿厢是静止还是匀速运动。设置阈值  $\gamma_d$ , 以便比较。确定电梯轿厢的状态, 对观测模型进行更新: 如果  $\xi_d > \gamma_d$ , 选择匀速测量更新; 如果  $\xi_d < \gamma_d$ , 选择零速度测量更新。

[0095] 17) 当算法检测到电梯轿厢停止运动并且行驶的距离超过了阈值  $\gamma_{\delta p}$ , 就会输出电梯轿厢行驶的距离估计值  $\delta \hat{p}(l)$  和其方差估计值  $\hat{\sigma}_{\delta p}^2(l)$ , 并且对系统状态矢量进行更新, 并

返回更新值,在下一次运动时重复15)-17)过程。

[0096] 2. 电梯轿厢停层及故障判断

[0097] 21) 通过第1阶段可以获取一系列的轿厢行驶距离估计值 $\{\delta\hat{p}(i)\}_{i=0}^l$ 和方差估计值 $\{\hat{\sigma}_{\delta p}^2(i)\}_{i=0}^l$ 。在此基础上,本发明通过SLAM算法可以实现电梯轿厢位置和停靠楼层估计,同时通过估计的轿厢位置,检测电梯是否不平层、蹲底或冲顶等故障。

[0098] 22) 引入新的状态矢量 $\mathbf{x}_s(l) \triangleq [p(l) \ m^{(1)} \ \dots \ m^{(M)}]^\top$ ,其中, $p(l)$ 为电梯轿厢在第1趟行驶后的位置, $m^{(i)}$ 为第*i*层楼的高度, $M$ 为楼层总数。由于每层楼的高度是恒定的,状态矢量可以描述为:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_s(l) &= \mathbf{x}_s(l-1) + \delta p(l) \mathbf{e}_1 \\ &= \mathbf{x}_s(l-1) + \delta\hat{p}(l) \mathbf{e}_1 + \omega_s(l) \mathbf{e}_1 \end{aligned} \quad (9)$$

[0100] 其中 $\mathbf{e}_1$ 为单位阵, $\omega_s(l) \triangleq \delta p(l) - \delta\hat{p}(l)$ 是电梯轿厢行驶距离估计值的误差,该误差假定为零均值、不相关且其方差为 $\sigma_{\delta p}^2(l)$ 。

[0101] 23) 假设电梯轿厢第1次行驶所停的楼层*i*已知的,则对应的伪观测模型为:

$$y_s(l) \triangleq 0 = \mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{x}_s(l) + v_s(l) \quad (10)$$

[0103] 其中 $\mathbf{H}_s^{(i)} = [1 - \mathbf{e}_i^T]$ , $v_s(l)$ 是伪测量误差,该测量误差是电梯轿厢停靠点位置和楼层高度之间微小偏差,主要是由于电梯控制系统不完善而导致的。该误差假定为零均值、不相关且其方差为 $\sigma_s^2$ 。假如楼层和电梯轿厢停靠点是已知,则可以通过基于扩展卡尔曼滤波的SLAM跟踪电梯轿厢位置、估计楼层高度。

[0104] 24) 在实际工作环境中,楼层总数*M*和电梯轿厢的行驶顺序是未知的。假如电梯轿厢初始状态估计 $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$ 和相应的协方差矩阵 $\mathbf{P}_s(l) \triangleq Cov\{\hat{\mathbf{x}}_s(l)\}$ 是有效的,则可以通过基于最大似然数的数据关联实现电梯轿厢位置与估计楼层高度间的关联,该数据关联选择使归一化预测误差最小的观测模型,故通过最小化函数即可获得电梯轿厢所处的楼层高度:

$$i(l) = \arg \min_j \left( \frac{(\mathbf{H}_s^{(j)} \hat{\mathbf{x}}_s(l))^2}{\mathbf{H}_s^{(j)} \mathbf{P}_s(l) (\mathbf{H}_s^{(j)})^\top + \sigma_s^2} \right) \quad (11)$$

[0106] 25) 要完成24中所说的步骤,必须要有理想的初始值。获取理想初始状态的方法,可以通过让电梯轿厢从底层依次运动到最高层,每层至少停留一次。

[0107] 26) 基于扩展卡尔曼滤波器的SLAM算法,将第1阶段获得的电梯轿厢行驶的距离估计值 $\delta\hat{p}(l)$ 和距离估计误差的方差估计值 $\hat{\sigma}_{\delta p}^2(l)$ 作为输入,对状态向量 $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$ 和状态协方差 $\mathbf{P}_s(k) \triangleq Cov\{\hat{\mathbf{x}}_s(k)\}$ 进行更新迭代,具体迭代步骤分为预测与更新:

[0108] ①预测

$$\hat{\mathbf{x}}_s = \mathbf{x}_s(l-1) + \delta\hat{p}(l) \mathbf{e}_1 \quad (12)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_s = \mathbf{P}_s(l-1) + \hat{\sigma}_{\delta p}^2(l) \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_1^T \quad (13)$$

[0111] ②更新

$$[0112] \quad \mathbf{G}_s = \hat{\mathbf{P}}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^\top (\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{P}}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^\top + \sigma_s^2)^{-1} \quad (14)$$

$$[0113] \quad \mathbf{x}_s = \hat{\mathbf{x}}_s + \mathbf{G}_s (\mathbf{y}_s - h(\hat{\mathbf{x}}_s)) \quad (15)$$

$$[0114] \quad \mathbf{P}_s = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_s \mathbf{H}_s^{(i)}) \hat{\mathbf{P}}_s \quad (16);$$

[0115] 27) 计算归一化预测误差  $\zeta_s = \frac{(\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{x}}_s)^2}{\mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{P}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^\top + \sigma_s^2}$ , 并通过最小化函数求出电梯轿厢所处的楼层  $i$ 。

[0116] 28) 比较归一化误差  $\xi_s$  与假定阈值  $\gamma_s$  的大小; 如果  $\xi_s > \gamma_s$ , 则表明估计误差过大, 故电梯轿厢运行异常, 此时状态向量不进行量测更新, 并且报警提示电梯轿厢异常停靠故障; 如果误差  $\xi_s < \gamma_s$ , 则证明电梯轿厢运行正常, 对状态向量进行量测更新, 并返回更新的值, 进入下一轮行驶过程并重复步骤26)-28)。

[0117] 1) 下面结合图1和图2进行说明。以一座七层楼电梯为例, 该电梯一侧安装有10个 MPU-9150 三轴加速度传感器的检测模块, 用以获取电梯的三个方向加速度。将采集到的电梯垂直方向上的加速度作为输入, 构建电梯的系统状态矢量  $\mathbf{x}_d$ 。并根据扩展卡尔曼滤波进行状态矢量矩阵及协方差矩阵进行预测更新。

[0118] 2) 扩展卡尔曼滤波更新后, 判断电梯轿厢是否处于平稳线性运动。本发明简化电梯的加速过程, 将电梯轿厢在加速或者减速过程中的加速度大小通过取均值的方式确定, 并将电梯轿厢何时加速或减速的检测表述为检测加速度计测量的平均值中的局部变化的问题。平稳线性运动判断器判断如果电梯处于匀速线性运动, 则判断这是一次有效的运动, 反之就结束进程。

[0119] 3) 将平稳线性运动分为静止和匀速运动, 通过计算将零速度假设拟合到观测数据时获得的归一化预测误差的大小  $\zeta_s \leftarrow \frac{(\mathbf{H}_s^{(i)} \hat{\mathbf{x}}_s)^2}{\mathbf{H}_s^{(i)} \mathbf{P}_s (\mathbf{H}_s^{(i)})^\top + \sigma_s^2}$ 。如果超过设定值, 就判断电梯轿

厢速度不为零, 处于匀速运动, 并采用匀速观测模型  $H = H_d^{(c)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ -1]$ ; 否则就判断电梯速度为零, 处于静止状态, 并采用零速观测模型  $H = H_d^{(z)} \triangleq [0 \ 1 \ 0 \ 0]$ 。

[0120] 4) 在新的观测模型下对电梯状态矢量矩阵、增益矩阵和协方差矩阵进行扩展卡尔曼滤波更新。

[0121] 5) 当电梯轿厢停止运动时, 检查行驶距离  $|\mathbf{e}_1^\top \hat{\mathbf{x}}_d(k)|$  是否大于阈值  $\gamma_s$ , 如果都满足条件, 则输出电梯轿厢的行驶距离估计值  $\delta \hat{p}(l) = \mathbf{e}_1^\top \hat{\mathbf{x}}_d$  和它的估计方差  $\sigma_{\delta p}^2(l) = \mathbf{e}_1^\top \mathbf{P}_d \mathbf{e}_1$ 。并对电梯系统状态矢量矩阵和其协方差矩阵进行更新, 并返回其更新值。

[0122] 6) 获得电梯行程参数  $\delta \hat{p}(l)$  和  $\sigma_{\delta p}^2(l)$  后, 结合SLAM算法完成电梯正常停层位置的学习。首先定义新的电梯状态矢量  $\mathbf{x}_s(l)$ 。将第1阶段获得的电梯轿厢行驶的距离估计值  $\delta \hat{p}(l)$  和距离估计误差的方差估计值  $\sigma_{\delta p}^2(l)$  作为输入, 根据基于扩展卡尔曼滤波器的SLAM算法对状态向量  $\hat{\mathbf{x}}_s(l)$  和状态协方差  $\mathbf{P}_s(k) \triangleq \text{Cov}\{\hat{\mathbf{x}}_s(k)\}$  进行更新迭代, 获得  $\hat{\mathbf{x}}_s$  和其协方差矩阵  $\mathbf{P}_s$ 。

[0123] 7) 本发明采用基于最大似然数的数据关联, 可以获得使归一化预测误差最小化的

观测模型:  $\zeta_s = \frac{(\mathbf{H}_s^{(j)} \hat{\mathbf{x}}_s)^2}{\mathbf{H}_s^{(j)} \mathbf{P}_s (\mathbf{H}_s^{(j)})^T + \sigma_s^2}$ , 并通过最小化函数计算得到估计的电梯楼层高度和所在楼层*i*。

[0124] 8) 如果预测误差的大小低于异常值阈值, 则对新的状态矢量估计值  $\hat{\mathbf{x}}_s$ 、增益矩阵和协方差矩阵进行更新, 否则调用异常停止程序, 显示电梯异常位置停车。采用SLAM算法, 电梯只需要完成一次正常运行(跑完所有的楼层), 系统就可以自主学习到全部正确的楼层位置。整个学习过程实现了与安装电梯大厦的楼层高度、楼层数, 以及电梯品牌的无关性。

[0125] 9) 如图3所示, 电梯轿厢在安装三轴加速度传感器之后, 所有传感器获取数据后通过扩展卡尔曼滤波估计得到的电梯位置估计值均为  $3\sigma$  置信区间内, 说明滤波器估计合理且是一致估计。此外, 经过开始的训练序列之后, 基于SLAM的估计有效限制了位置误差增长, 从滤波估计中很容易得到电梯行驶的具体楼层, 而且当基于SLAM的估计检测到电梯轿厢停留在了两个楼层直接位置时, 就会发出电梯轿厢异常停层的信号, 说明本发明提出的方法不能能够构建电梯行驶的轨迹, 还可以通过数据关联实现对电梯所处楼层的估计, 并对电梯是否异常停层给出判断。

[0126] 上述实施例为本发明较佳的实施方式, 但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制, 其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化, 均应为等效的置换方式, 都包含在本发明的保护范围之内。

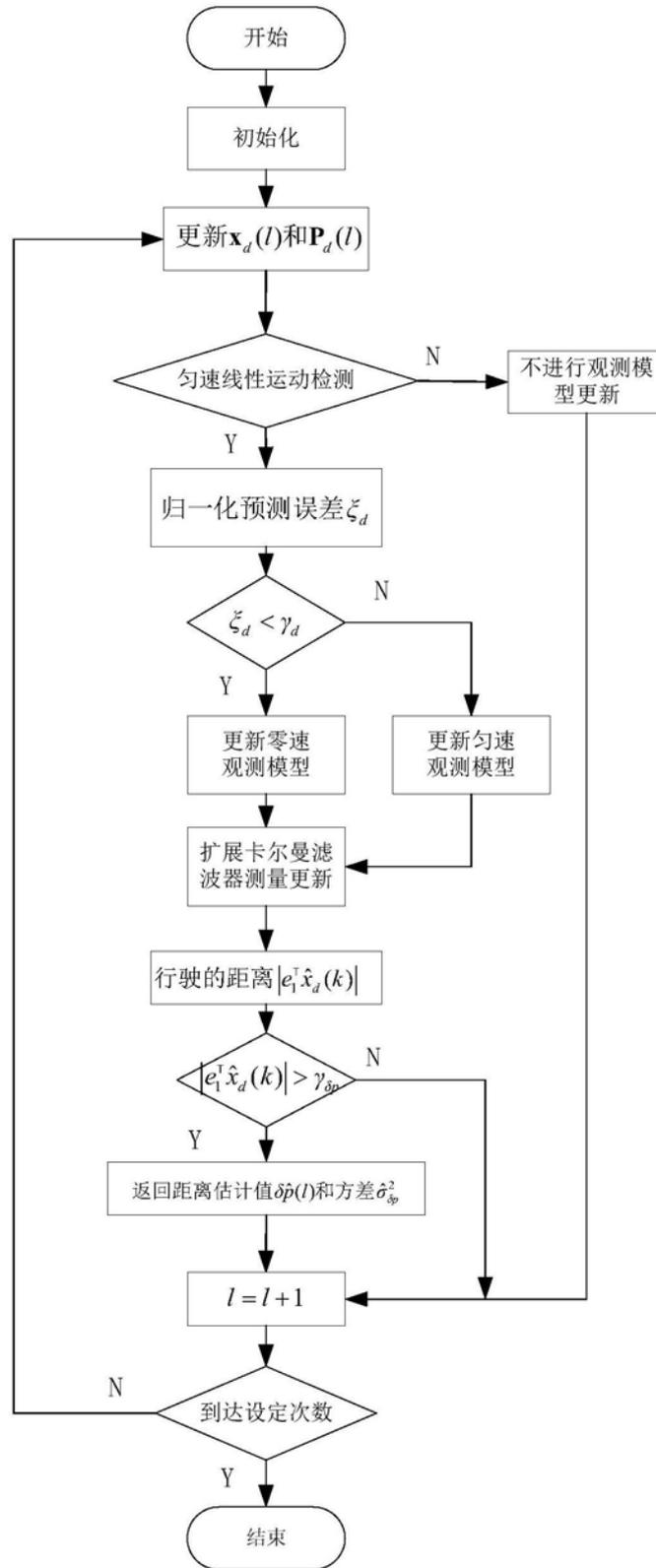


图1

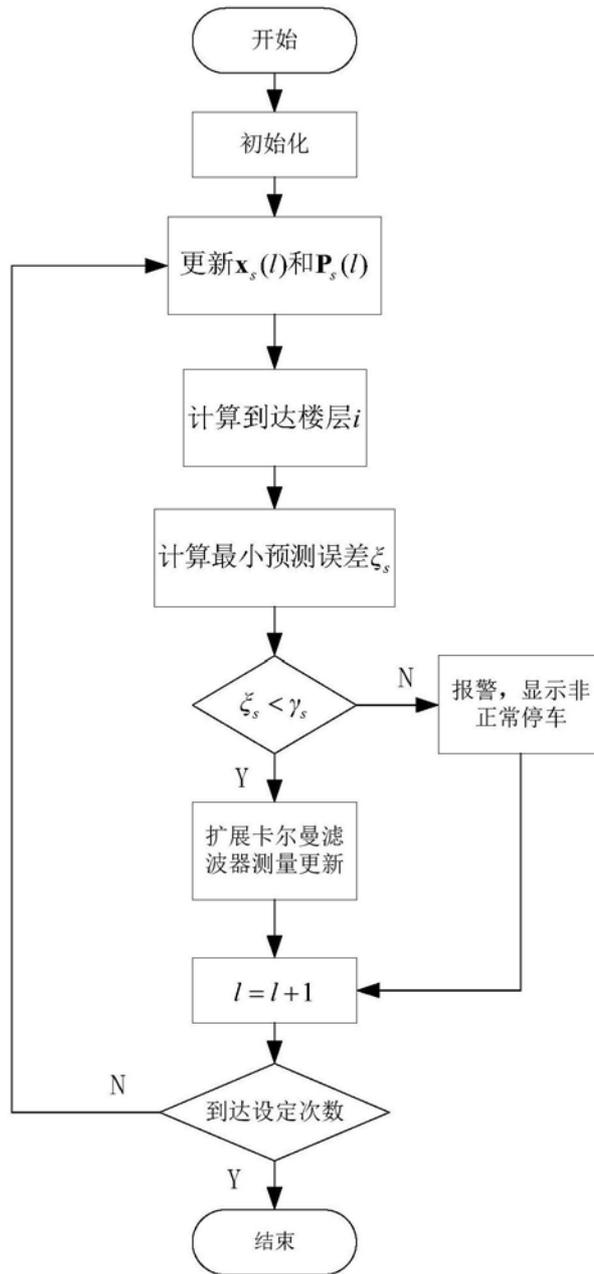


图2

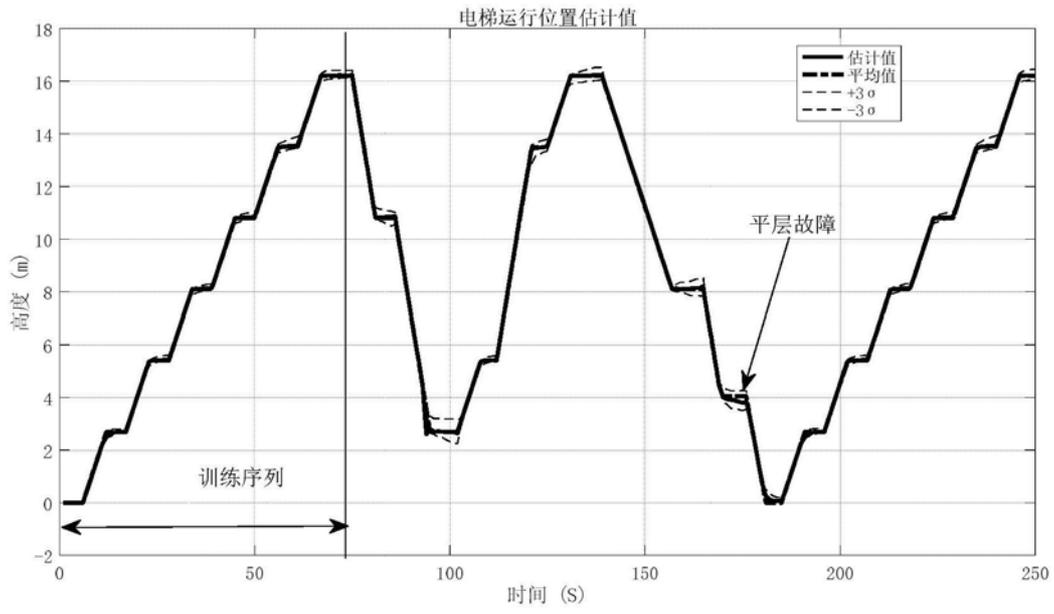


图3