

证书号第 3858653 号



发明专利证书

发明名称：一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法

发明人：曾小清;袁腾飞;伍超扬;熊启鹏;贺俊翔

专利号：ZL 2019 1 0033285.1

专利申请日：2019 年 01 月 14 日

专利权人：同济大学

地址：200092 上海市杨浦区四平路 1239 号

授权公告日：2020 年 06 月 26 日

授权公告号：CN 109849977 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



证书号第 3858653 号



专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 01 月 14 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

同济大学

发明人：

曾小清；袁腾飞；伍超扬；熊启鹏；贺俊翔



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109849977 B

(45)授权公告日 2020.06.26

(21)申请号 201910033285.1

B61L 23/00(2006.01)

(22)申请日 2019.01.14

B61C 3/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 李雁

申请公布号 CN 109849977 A

(43)申请公布日 2019.06.07

(73)专利权人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 曾小清 袁腾飞 伍超扬 熊启鹏
贺俊翔

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 杨宏泰

(51)Int.Cl.

B61L 25/02(2006.01)

B61C 17/00(2006.01)

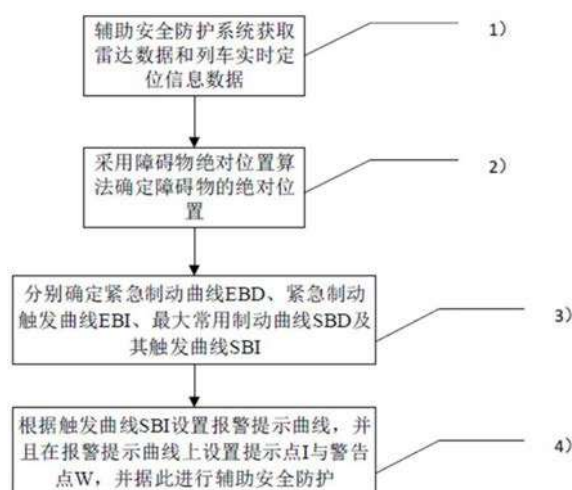
权利要求书4页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,包括以下步骤:1)辅助安全防护系统获取雷达数据和列车实时定位信息数据;2)采用障碍物绝对位置算法确定障碍物的绝对位置;3)分别确定紧急制动曲线EBD、紧急制动触发曲线EBI、最大常用制动曲线SBD及其触发曲线SBI;4)根据触发曲线SBI设置报警提示曲线,并且在报警提示曲线上设置提示点I与警告点W,并据此进行辅助安全防护。与现有技术相比,本发明具有考虑运营环境、考虑反应时间和定位测速误差、完善有效,可行性强等优点。



1. 一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 辅助安全防护系统获取雷达数据和列车实时定位信息数据,辅助安全防护系统通过运行线路建模获取列车实时定位信息数据,具体包括以下步骤:

11) 列车运行线路建模:对线路的每个区段采用字段表示为 $[n, x_1, y_1, s_1, x_2, y_2, s_2, r, x_o, y_o, d, i, c, s, m]$,其中, n 为区段编号, (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 为区段中心线起讫点坐标, s_1 、 s_2 为区段起讫点对应的里程数, r 为区段曲率半径, (x_o, y_o) 为曲线区段的圆心坐标, d 为列车该曲线区段运行方向,若为顺时针方向运行曲线线路,则 d 取0,若为逆时针方向运行线路,则 d 取1, i 为区段坡度值, c 为常数, s 为该区段里程数, m 为该区段内查询应答器个数,并且定义轨道限界范围 $W = w + 2\delta$, w 为车辆最大宽度, δ 为安全余量;

12) 获取列车实时定位信息数据 $[m_1, n_1, n_2, x, y, s_d, s, v_{cur}]$,其中, m_1 为上一个查询应答器编号, n_1 为上一个查询应答器所处区段的编号, n_2 为当前列车所处区段编号, (x, y) 为上一个查询应答器的地面坐标, s_d 为上一个查询应答器以线路起点作为里程0点开始计算所对应的里程, s 为上一个查询应答器到列车当前位置的累积里程, v_{cur} 为列车当前运行速度;

2) 采用障碍物绝对位置算法确定障碍物的绝对位置,具体包括以下步骤:

21) 实时获取有轨电车在当前区段 n_2 内的区段信息,并分别对直线区段与曲线区段计算列车当前位置坐标 (x_{tr}, y_{tr}) 以及行驶方向 β ,具体为:

对于直线区段:

列车当前位置坐标 (x_{tr}, y_{tr}) 的计算式为:

$$\begin{bmatrix} x_{tr} \\ y_{tr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_1^{n_2} + \lambda x_2^{n_2}}{1 + \lambda} \\ \frac{y_1^{n_2} + \lambda y_2^{n_2}}{1 + \lambda} \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \frac{s_d + s - s_1^{n_2}}{s_2^{n_2} - s_d - s}$$

行驶方向 β 的计算式为:

$$\beta = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{y_2^{n_2} - y_1^{n_2}}{x_2^{n_2} - x_1^{n_2}}, & x_2^{n_2} - x_1^{n_2} > 0 \\ \tan^{-1} \frac{y_2^{n_2} - y_1^{n_2}}{x_2^{n_2} - x_1^{n_2}} + \pi, & x_2^{n_2} - x_1^{n_2} < 0 \text{ 且 } y_2^{n_2} - y_1^{n_2} \geq 0 \\ \tan^{-1} \frac{y_2^{n_2} - y_1^{n_2}}{x_2^{n_2} - x_1^{n_2}} - \pi, & x_2^{n_2} - x_1^{n_2} < 0 \text{ 且 } y_2^{n_2} - y_1^{n_2} < 0 \\ \pi/2, & x_2^{n_2} - x_1^{n_2} = 0 \text{ 且 } y_2^{n_2} - y_1^{n_2} > 0 \\ -\pi/2, & x_2^{n_2} - x_1^{n_2} = 0 \text{ 且 } y_2^{n_2} - y_1^{n_2} < 0 \end{cases}$$

其中, n_2 为区段编号, $(x_1^{n_2}, y_1^{n_2})$ 、 $(x_2^{n_2}, y_2^{n_2})$ 为 n_2 区段中心线起讫点坐标, s_d 为上一个查询应答器以线路起点作为里程0点开始计算所对应的里程, s 为上一个查询应答器到列车当前位置的累积里程, $s_1^{n_2}$ 、 $s_2^{n_2}$ 为 n_2 区段起讫点所对应的里程数; (x_{tr}, y_{tr}) 为列车当前位

置坐标；

对于曲线区段：

列车当前位置坐标 (x_{tr}, y_{tr}) 的计算式为：

$$\begin{bmatrix} x_{tr} \\ y_{tr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_o^{n_2} + r^{n_2} \cdot \cos \sigma \\ y_o^{n_2} + r^{n_2} \cdot \sin \sigma \end{bmatrix}$$

行驶方向 β 的计算式为：

$$\beta = \begin{cases} \sigma + \frac{\pi}{2}, & d^{n_2} = 1 \\ \sigma - \frac{\pi}{2}, & d^{n_2} = 0 \end{cases}$$

其中, (x_{ob}, y_{ob}) 为障碍物在以毫米波雷达为原点建立的水平面坐标系里的坐标, $(x_o^{n_2+j+1}, y_o^{n_2+j+1})$ 为障碍物所属区段的坐标, n 为区段编号, m 为该区段内查询应答器个数, c 为常数, α 为目标障碍物俯仰角, n_2+j 表示从 n_2 区段到下面某个区段, r^{n_2+j+1} 为 n_2 曲线区段的曲率半径, s^{n_2+j} 为 n_2 曲线区段的讫点里程数, S_{ob} 为障碍物距离列车的轨内距离；

22) 计算障碍物等效行车许可终点, 具体为：

计算障碍物距离列车的轨内距离, 当障碍物在以毫米波雷达为原点建立的水平面坐标系里的坐标与最近的轨道区段中心线之间的距离小于 $W/2$ 时, 判定为轨内障碍物, 并将障碍物从雷达坐标系坐标转化为线路坐标系, 则有：

$$\begin{bmatrix} x_{OB} \\ y_{OB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{tr} + x_{ob} \cdot \cos \beta - y_{ob} \cdot \sin \beta \\ y_{tr} + x_{ob} \cdot \sin \beta + y_{ob} \cdot \cos \beta \end{bmatrix}$$

其中, (x_{ob}, y_{ob}) 为障碍物在以毫米波雷达为原点建立的水平面坐标系里的坐标； (x_{OB}, y_{OB}) 为障碍物在线路坐标系里的坐标；

所述的障碍物距离列车的轨内距离的计算式为：

对于直线区段：

$$S_{ob} = \sqrt{(x_{ob} - x_o^{n_2+j+1})^2 + (y_{ob} - y_o^{n_2+j+1})^2 - \left(\frac{|nx_{ob} + my_{ob} + c|}{\sqrt{n^2 + m^2}} \right)^2}$$

对于曲线区段：

$$S_{ob} = \alpha r^{n_2+j+1} + s^{n_2+j}$$

其中, (x_{ob}, y_{ob}) 为障碍物在以毫米波雷达为原点建立的水平面坐标系里的坐标, $(x_o^{n_2+j+1}, y_o^{n_2+j+1})$ 为障碍物所属区段的坐标, n 为区段编号, m 为该区段内查询应答器个数, c 为常数, α 为目标障碍物俯仰角, r^{n_2+j+1} 为 n_2 曲线区段的曲率半径, s^{n_2+j} 为 n_2 曲线区段的讫点里程数, S_{ob} 为障碍物距离列车的轨内距离；

3) 分别确定紧急制动曲线EBD、紧急制动触发曲线EBI、最大常用制动曲线SBD及其触发曲线SBI；

4) 根据触发曲线SBI设置报警提示曲线, 并且在报警提示曲线上设置提示点I与警告点W, 并据此进行辅助安全防护。

2. 根据权利要求1所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,其特征在于,所述的步骤1)中,辅助安全防护系统通过设置在有轨电车上作为前向检测器的毫米波雷达获取雷达数据 $[\alpha, \theta, \rho]$,并对其进行极坐标变换剔除高度范围在车辆高度之外的目标获取目标障碍物的二维平面坐标 $\begin{bmatrix} x_{ob} \\ y_{ob} \end{bmatrix}$,则有:

$$\begin{bmatrix} x_{ob} \\ y_{ob} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cos \alpha \cos \theta \\ \rho \cos \alpha \sin \theta \end{bmatrix}$$

其中, α 为目标障碍物俯仰角, θ 为目标障碍物水平方向航向角, ρ 为目标障碍物到雷达的距离。

3. 根据权利要求1所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,其特征在于,所述的步骤3)中,选择轨内障碍物作为行车许可终点,即障碍物等效行车许可终点,获取紧急制动曲线EBD,则有:

$$S_{eb} = \frac{(v_{end}^2 - v_{org}^2)}{2a_{eby}}$$

其中, v_{org} 为从列车制动初始速度, v_{end} 为列车制动目标速度,对于以行车许可终点为障碍物目标的情况,取0, a_{eby} 为列车最大制动减速度, S_{eb} 为紧急制动状态距离。

4. 根据权利要求3所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,其特征在于,所述的步骤3)中,紧急制动触发曲线EBI通过紧急制动曲线计算,具体计算式为:

$$\Delta v = a_{tr\gamma} t_{tr} (1 + r_v)$$

$$\Delta s = \Delta v t_{tr} + S_{l0}$$

$$S_{EBI}(v_0) = S_{EBD}(v_0 + \Delta v) + \Delta s$$

其中, $a_{tr\gamma}$ 为列车最大牵引加速度, t_{tr} 为制动建立延时与驾驶员反应时间之和, r_v 为测速误差系数, Δs 为考虑最不利情况下的距离增量, S_{l0} 为列车在 t_{tr} 内按照 v_0 速度前进的距离, v_0 为列车正常行驶速度, $S_{EBD}(v_0 + \Delta v)$ 为列车行驶速度为 v_0 时紧急制动曲线距离, $S_{EBI}(v_0)$ 为列车行驶速度为 v_0 时紧急制动触发曲线距离。

5. 根据权利要求3所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,其特征在于,所述的步骤3)中,最大常用制动曲线SBD的计算式为:

$$S_{sb} = \frac{(v_{end}^2 - v_{org}^2)}{2a_{sby}}$$

对应的触发曲线SBI的计算式为:

$$S_{SBI1}(v_0) = S_{SBD}(v_0) + v_0 t'_{tr}$$

其中, v_{org} 为从列车制动初始速度, v_{end} 为列车制动目标速度,对于以行车许可终点为障碍物目标的情况,取0, a_{sby} 为最大常用制动速度, S_{sb} 为最大常用制动状态距离, v_0 为列车正常行驶速度, t'_{tr} 为制动建立延时与驾驶员反应时间之和, $S_{SBD}(v_0)$ 为列车行驶速度为 v_0 时最大常用制动曲线距离, $S_{SBI1}(v_0)$ 为列车行驶速度为 v_0 时最大常用制动触发曲线距离。

6. 根据权利要求3所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法,其特征在于,所述的步骤4)中,提示点I与警告点W的计算式为:

$$S_W(v_0) = S_{SBI}(v_0) + v_0 t_W$$

$$S_I(v_0) = S_{SBI}(v_0) + v_0 t_I$$

其中, v_0 为列车正常行驶速度, t_W 为警告点W和SBI曲线间的时间间隔, t_I 为提示点I和SBI曲线间的时间间隔, $S_{SBI}(v_0)$ 为列车行驶速度为 v_0 时最大常用制动触发曲线距离, $S_W(v_0)$ 为警告点W到行车许可终点距离, $S_I(v_0)$ 为提示点I到行车许可终点距离。

7. 根据权利要求6所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法, 其特征在于, 所述的步骤4) 中, 当列车超过提示点I后, 通过声音、灯光提示驾驶员进行减速操作, 如果超过警告点W则即将触及最大常用制动曲线, 若越过警告点W仍旧没有任何操作, 列车将在越过SBI曲线监督点时自动触发最大常用制动, 如果列车速度仍旧未降低到安全值, 超过了EBI曲线监督点, 则会触发紧急制动, 确保行车安全。

8. 根据权利要求7所述的一种基于异态检测的有轨电车辅助安全防护方法, 其特征在于, 所述的警告点W和SBI曲线间的时间间隔为10s, 所述的提示点I和SBI曲线间的时间间隔为5s。