

摘 要

随着城市轨道交通的快速发展，列车测速技术已经成为列车运行自动控制的重要技术之一，列车测速准确性直接影响列车的行车安全和运行效率。而实时、准确地获得列车速度信息是列车安全、高效运行的保障。因此本文对列车测速方法进行深入研究，对于提高列车测速的精确度和可靠性具有重要意义。

论文以轮轴测速传感器和多普勒雷达速度传感器为研究对象，由于轮轴测速传感器的测速方法存在轮对空转和滑行等问题，而多普勒雷达速度传感器在列车速度较低时，多普勒效应不明显，因此单一的速度传感器很难达到所要求的测速精度，但是将这两种传感器结合起来进行多传感器信息融合，发挥各个传感器的优势，就能使测速系统达到较高的精度和可靠性。本文通过对几种常见的信息融合结构的分析，选用了多级式融合结构对轮轴测速传感器和多普勒雷达速度传感器进行结构融合，建立测速系统的算法模型和状态方程，用Kalman滤波器进行滤波，最后获得最优状态的估计值。同时，完成了列车测速系统的硬件结构。

关键词:列车测速;轮轴测速传感器;多普勒雷达速度传感器;信息融合;Kalman 滤波

- I -

Abstract

With the rapid development of urban rail transit, the speed measurement technology has become an important technique of automatic control for train operation; the train speed directly affects the accuracy of the train traffic safety and operational efficiency. The real-time and

accurately access to train speed information is the protection of the safe and efficient operation of the trains. The speed measurement methods are studied to improve the accuracy of train speed and the reliability of the train operation.

Axle speed sensor and Doppler radar speed sensor are the study objects, because the axle

speed sensor wheel speed measurement method has problems in idling and taxiing, and when the train speed is low, the Doppler effect is obvious, so a single speed sensor is difficult to achieve the required speed accurately, But the two sensors are combined for multi-sensor data fusion can play all the advantages of the speed sensor system in achieving high accuracy and reliability. Based on the analysis of information fusion of several common structure, the choice of multi-stage structure on axle speed sensor fusion combined with the fusion Doppler radar velocity sensor structure, speed measurement system algorithm model is established and the Kalman filter is used to filter, and finally obtain the optimal state estimation value. Meanwhile, the train speed system hardware structure is completed.

Keywords: Train speed measurement, Wheel speed sensor, Doppler radar speed sensor,

Information fusion, Kalman filter

- II -

兰州交通大学毕业设计(论文)

目 录

摘要

..... I Abstract

..... II 目录

..... III 1 绪论

..... 1

1.1 选题的背景和研究意义

..... 1

1.2 列车测速的发展趋势

..... 1

1.3 论文主要研究的内容

..... 2 2

CBTC的基本原理及技术..... 3

..... 3

2.1CBTC的基本原理

..... 3

2.2CBTC的技术基础

..... 3 3 列车测速方法的研究

.....	
.....	5
3.1 轮轴脉冲速度传感器	
.....	
5	
3.1.1 测速原理	
.....	
.....	5
3.1.2 误差分析及补偿方法	
.....	5
3.2 多普勒雷达	
.....	
.....	6
3.2.1 测速原理	
.....	
.....	6
3.2.2 误差分析及补偿方法	
.....	7 4
基于多传感器信息融合测速方法研究	
.....	8
4.1 多传感器信息融合结构	
.....	8
4.2 测速系统的算法模型	
.....	
10	

4.2.1 列车运动模型的建立	10
4.2.2 状态方程的建立	12
4.2.3 测量方程的建立	13
4.3 Kalman滤波器的设计	
14 5 列车速度测定单元的设计	
16	
5.1 硬件的结构	16
5.2 测速板的接口设计	
. 17 结论	
18 致谢	
19 参考文献	
20	

1.1选题的背景和研究意义

城市轨道交通中的列车速度信息在ATC(Automatic Train Operation,列车自动控制)系统中具有重要的地位,列车的自动控制需要获取列车的速度信息,同时即时的计算出列车的速度,将速度信息送到控制中心以完成后面的工作。列车测速系统是列车运行控制系统重要的组成部分,将多种测速传感器进行组合,发挥各个测速传感器的优势,取长补短能够提供给测速系统更加精确的速度信息,当然还需要好的算法模型来填补列车测速系统,选用合理的滤波器共同来完成列车测速系统,本文研究的内容就是基于Kalman滤波多传感器信息融合列车测速方法。

列车运行控制系统的发展趋势从地面设备转移到车载设备,通过采用先进的车载设备,减少轨旁设备和维护工作量。以往的轨道电路传递信息的通信方式无法满足车地双向、大容量的通信需求,于是发展CBTC(Communications based Train

Control,基于通信的列车控制),CBTC是不依赖于轨道电路的高精度列车定位、双向连续大容量的车地数据通信以及车载、地面的安全功能处理器,实现连续自动列车控制。随着列车控制系统对列车测速要求的提高,多传感器信息融合的测速方法成了目前及以后的研究方向。为了满足列车定位的连续性和实时性要求,国内外都在进行一些列车组合定位系统的开发,使用不同特性的速度传感器组合来达到这种要求。

随着城市轨道交通在各大城市的蓬勃发展,迫切需要能够确保轨道交通列车运行安全,技术先进、安全、可靠、高效的列车运行控制系统成为发展的方向。其中ATP(Automatic Train

Protection,列车自动防护)是整个列控系统车载设备的核心,它的主要任务是保证行车安全、防止列车进入前方列车占用区段和防止超速运行。而这一切的基础都离不开定位测速系统。测速系统是利用安装在车轮轮轴上的速度传感器测得列车的行驶速度。同时利用安装在轨旁或者车载的辅助设备来消除或者减小走行距离的误差。走行距离误差的产生除了速度传感器的精度和车轮的磨损外,最主要的就是列车行驶过程中空转和滑行的发生。因此研究空转、滑行对列车测速的影响对于列车运行控制系统有着十分重要的现实意义。

1.2 列车测速的发展趋势

随着科学技术进步,测速技术也不断完善和发展,从最初的机械式速度表、测速发电机型速度表,到磁感应式速度表,到脉冲式转速传感器测速系统、雷达测速、卫星定位等。

- 1 -

兰州交通大学毕业设计(论文)

目前,列车运行控制系统的发展趋势是由TBTC(Track Circuit Based Train Control,

基于轨道电路控制)向基于通信的列车运行控制系统CBTC发展。基于通信的列车运行控制系统采用车地双向通信,在基于轨道电路的列车运行控制系统是通过列车占用轨道电路进行一系列信息传递的,通过轨道电路向列车发送速度信息等,此时列车测速是通过安装在机车车轮上的速度传感器来获得列车当前速度的,在基于通信的列车运行控制系统中信息之间的通信是通过无线通信等完成的,地面控制中心与列车运行控制运行系统可以实现车地双向通信,地面、列车相互之间可以实时的获取速度位置等信息,在ETCS(European Train Control System,欧洲列车运行控制系统)标准的ETCS-3中采用的就是无线通信,因此未来的列车运行控制系统是以基于通信的

列车运行控制系统CBTC研究和发展，多传感器信息融合的列车速度方法也将是研究的重要部分。

1.3 论文主要研究的内容

本文主要是对城市轨道交通中列车测速系统进行研究，根据轮轴脉冲速度传感器和多普勒雷达两种测速方法的工作原理，分析器误差来源和现有的误差补偿方法存在的缺点，用Kalman滤波信息融合法将两种测速方法得到的速度值进行融合，得到精确的速度值，最后设计出列车速度测定单元。

本论文研究的主要内容安排如下：

(1)

首先介绍论文选题的背景和意义，并阐述国内外在列车测速速方面研究现状，对CBTC的基本原理和技术基础进行简要概述。

(2)对轮轴脉冲速度传感器和多普勒雷达的工作原理进行论述，分析了两种测速传感器的误差来源，并针对其误差来源给出误差的补偿方法。

(3)通过对比分析几种常用的融合结构，建立测速系统的算法模型和状态估计方程，并选用适合的Kalman滤波融合对速度信息进行滤波。

(4)设计列车速度测定单元，对其合理性进行简要的说明。

- 2 -

兰州交通大学毕业设计(论文)

2CBTC的基本原理及技术

2.1CBTC的基本原理

CBTC是基于通信的列车控制系统，通过移动闭塞技术来缩短运行间隔，从而提高
列车的运行效率和系统的灵活性。如图2.1在CBTC系统中，VOBC(Vehi
cle

OnboardController,车载控制器)主动地进行列车的测速和定位，将位置信息通过无线通信发送到轨旁ZC(ZoneController,区域控制器)。ZC负责进路上的列车发送MA(Movement

Authority,移动授权)形成移动闭塞,防止其他列车进入,保证列车运行安全。VOBC在接收到ZC的MA命令来控制列车的运行状态,确保在最不利情况下,保证列车不会超

[1]过目标距离和目标速度。

ATS道岔状态屏蔽门状态车站紧急停车按钮状态进防淹门状态路防护隔离状态计轴区间、信号机状态数据库存储单元

区域控制器

线路数据库线路信息移动授权列车位置数据库限制信息

移动授权限制列车位置

可能倒溜

位置偏差移动授权限制

图2.1 CBTC列车控制系统的基本原理图

2.2CBTC的技术基础

车地信息传输技术是CBTC系统的关键技术,主要的车地信息传输方式有:

(1)

基于环线传输的CBTC系统。即在两轨间敷设交叉型感应环线,环线每隔25m或50m交叉1次。它既可以用于列车定位,也可作为列车与地面之间的双向数据通信媒体。

(2)基于波导管传输的CBTC系统。漏泄波导管是沿轨道线路铺设的,它的可靠性很高。当地面控制中心发射出的电磁波沿波导管传输时,在波导管内传输的电磁波从波导管槽孔辐射到周围空间,在其外部产生漏泄电场,列车从中获取信息能量,从而实现与

- 3 -

兰州交通大学毕业设计(论文)

地面的通信。同样,列车发出的电磁波,在波导管外部产生漏泄电场,也会耦合到波导管中,实现与控制中心通信。

(3)基于无线自由波传输的CBTC系统。目前在CBTC系统中,完全采用无线传输的方式有两种:一种是采用移动通信作为车地信息传输的媒介;另一种是采用标准的WLAN(Wireless Local Area Networks,无线网络)作为车地信息传输的媒介。

- 4 -

兰州交通大学毕业设计(论文)

3 列车测速方法的研究

在城市轨道交通中,要保证列车运行安全和高效,测速系统就必须能够为列车运行控制系统提供实时、准确的速度信息,这就需要测速方法要有很高的实时性和精确度。 3.1 轮轴脉冲速度传感器

3.1.1 测速原理

目前在轨道交通中,基于轮轴脉冲速度传感器的列车测速定位方法是较为常用的方法。轮轴脉冲速度传感器通过测量测速轮对的转速脉冲来计算列车的速度。列车运行过程中对车轮旋转计数,车轮每转一周,发生器输出一定数量的脉冲信号,测出脉冲频率即可得出列车运行速度。设机车轮径为 D ,脉冲速度传感器车轮每旋转一周计脉冲数为 n ,传感器输出脉冲频率为 f ,则列车的速度(km/h)。虽然实现较简单,但 $v = fn \cdot \frac{\pi D}{60}$

是这种方法存在缺陷,下面分析了轮轴脉冲速度传感器测速的主要误差来源。 3.1.2 误差分析及补偿方法

基于轮轴脉冲速度传感器的列车测速系统的误差主要是测速轮对的空转、滑行和轮径磨耗。同时还有测量脉冲时的一些随机误差,但这种误差一般可以忽略。

误差分析:

(1) 空转和滑行

列车在运行过程中速度和加速度总是连续变化的，这种情况下，车轮与钢轨接触面的点切线速度和加速度与列车的速度和加速度是相等的。列车在启动或突然加速时，角加速度很大，该力大于了车轮与钢轨之间的摩擦力，车轮就会空转。当机车制动时，车轮与钢轨之间的摩擦力不足，会使得车轮在钢轨上滑行，这些都会产生较大的测量误差。

(2) 轮径磨耗

由于列车在实际运行中应用中，测速轮对会不断的磨耗，轮径就不断减小，因此不能初始测得的轮径来进行速度计算。当然时间的累计误差还会增大测量误差，严重影响测速定位的精度，所以在一段时间之后要对名义轮径进行修正，来减小误差。

误差来源：

(1) 空转和滑行误差的补偿

对于空转和滑行的检测通常使用门限法，门限法是根据列车在牵引和制动时可能出现的最大的加速度和减速度的变化量为依据，用加速度标准差的门限值判断是否发生空转或滑行。

- 5 -

兰州交通大学毕业设计(论文)

(2) 轮径磨耗误差补偿

对于轮径磨耗误差补偿问题，可以根据近一段时间内在不同区间测得的大量统计数据，依概率分布进行名义轮径的修正，通过不断地修正测速轮对的名义轮径来减小轮径磨耗带来的误差。

3.2 多普勒雷达

3.2.1 测速原理

多普勒雷达的工作原理是无线电波在行进的过程中碰到物体时，无线电波会反弹，而且反弹回来的波其频率及振幅会随着碰撞物体的运动状态而变化。若远离波源运动时，接收到的频率就会比实际频率低，当靠近波源时，接收到的频率就会比实际频率高。设发射频率为 f ，速度为光速 c ，运动物体的速度为 v ，则运动物体实际接收到的频率为 f_1

[2]。

$$f_1 = f \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

同理，电磁波从运动物体反射回来的频率为：

$$f_2 = f_1 \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

所以，从运动物体反射回来所接收到的电磁波频率为：

$$f_2 = f \left(1 - \frac{v}{c} \right) \left(1 + \frac{v}{c} \right) = f \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

发射频率与接收频率之间的频率差为：

$$\Delta f = f - f_2 = f \left(1 - \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \right) = f \frac{v^2}{c^2}$$

多普勒频率 Δf 为发射频率与接收频率之间的频率差，即 $\Delta f = f \frac{v^2}{c^2}$

$$\Delta f = f \frac{v^2}{c^2} \quad (3.1)$$

由式3.1分析可知，多普勒频率与相对移动物体的径向速度 v 成正比，只要能测出 Δf ，就可以求出 v ，这就是多普勒雷达测速的基本原理。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/746020014102010141>