

基于感应无线的高分辨率位置检测系统研究

Research on Position Detection System with High Resolution Based on Inductive Radio

程望斌¹ 陈进¹ 陈新²

(湖南理工学院信息与通信工程学院¹,湖南 岳阳 414006;岳阳千盟电子有限公司²,湖南 岳阳 414000)

摘要: 为了提高移动机车位置检测精度,提出了一种感应无线位置的检测方法。该方法采用一条独特的编码电缆,利用电磁感应原理,建立了发送线圈与编码电缆之间的信息传输系统,并通过检测感应电动势的相位和幅度,得到移动机车的位置。分析了感应无线检测的原理和方法,推导出了位置检测公式,并进行相关试验。试验结果表明,感应无线位置检测分辨率为 2 mm,检测精度达到了国际先进水平,可广泛应用于移动机车自动定位中。

关键词: 感应无线 位置检测 电磁感应 编码电缆 分辨率 机车

中图分类号: TM93 **文献标志码:** A

Abstract: In order to enhance the detection accuracy for the positions of the locomotives in motion, the position detecting method based on inductive radio is proposed. With this method, by using a unique encoded cable, and based on the principle of electromagnetic induction, the information transmission system between transmitting coil and encoded cable is setup. Through detecting the phase and amplitude of the inductive EMF, the position of the locomotive in motion can be detected. The principle and method of inductive radio are analyzed; the formula of position detection is derived; and related experiments are carried out. The result of experiments shows that the resolution of the detection is 2 mm, the detection accuracy reaches international advanced level. This can be widely used for automatic positioning of the locomotives in motion.

Keywords: Inductive radio Position detection Electromagnetic induction Encoded cable Resolution Locomotive

0 引言

在工业生产中,对大型移动机车进行精确定位是十分重要的。感应无线技术是 20 世纪 70 年代末在日本发展起来的一项新的工业应用技术,主要是针对工业生产中大型移动机车的自动化而研制的。国内较早研究感应无线技术的是岳阳市电子研究所,岳阳千盟电子有限公司在感应无线位置检测方面达到了国际先进水平^[1],目前最高应用水平已经达到了移动机车无人执守。

感应无线位置检测通过安装在移动机车天线箱中的感应线圈与敷设在地面轨道旁的编码电缆传输对线之间的电磁感应,得到移动机车的位置^[2]。检测方式分为地面检测位置和车上检测位置两种。地面检测位置是在地面中央控制室检测得到移动机车的位置;车上检测位置是在机车上检测得到自身的位置。与地面检测位置相比,感应无线车上检测位置更具优势,主要表现在:①车上控制系统得到自身位置更迅速^[3];②便于多机车共用一条编码电缆检测位置。

1 感应无线检测系统结构

在自动控制系统中,必须保证控制和受控双方可靠地数据通信以及移动机车所在位置的位置检测^[4-5]。感应无线技术构成的系统,将感应无线数据通信和位置检测融合在一个系统中^[6]。感应无线位置检测系统由位置信号发生器、编码电缆、感应天线和位置检测器组成。编码电缆部分由编码电缆、连接电缆和匹配阻抗构成;感应天线箱安装在移动机车上并随着机车移动,且始终与编码电缆保持距离 $z(z \approx 10 \text{ cm})$ ^[7]。感应无线位置检测系统结构如图 1 所示。

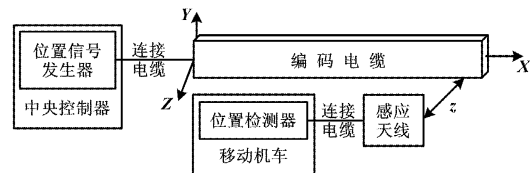


图 1 系统结构图

Fig. 1 Structure of the system

2 感应无线位置检测方法研究

2.1 绝对位置检测原理

绝对位置检测 (absolute position detection, APD) 原

修改稿收到日期:2010-10-15。

第一作者程望斌,男,1979年生,2006年毕业于华中科技大学光电子系,获硕士学位,讲师;主要从事光电子技术和感应无线技术的研究。

理为中控室地面局按一定的顺序,分时向编码电缆中各检测位置的传输对线发送载波信号,天线箱中感应线圈作为接收线圈,移动机车上的位置检测器检测接收线圈收到的载波信号,进而得到接收线圈的位置。图1中,移动机车上天线箱中的接收线圈由导线按交叉方式多匝绕制,可以看成是接收线圈0和接收线圈1。由于接收线圈0与接收线圈1交叉且面积相等,在工作现场两线圈所感应的干扰噪声电动势 e_0 和 e_1 大小相等、相位相反,即 $e_0 = -e_1$ 。此时,接收线圈提取的噪声电动势 $e = e_0 + e_1 = 0$,因而可起到接收时抑制干扰的作用^[8]。

编码电缆结构与检测原理如图2所示。

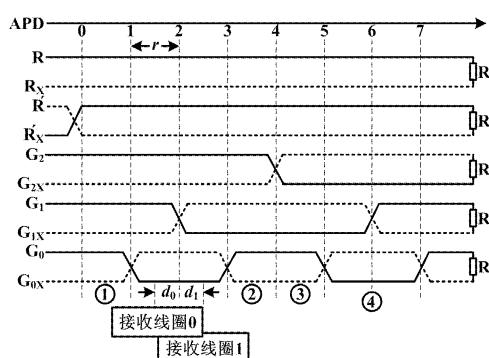


图2 编码电缆结构与检测原理示意图

Fig.2 Schematics of the structure of encoded cable and position detecting principle

在图2中,位置检测的传输对线有R线和G线两类。每对传输对线的终端均加一个匹配电阻R,如R和R'线通过匹配电阻R组成一对传输对线。其中,R对线作为APD地址检测的基准信号线,在一段内不交叉;R'对线在一段内仅有一次交叉,R'与R对线信号相位相反。各对G线按格雷码(gray code)规则交叉编制。由于格雷码从一个代码变为相邻的另一个代码时只有一位发生变化,因而在传输对线任何位置不存在两对G线同时交叉,从而避免了接收线圈处在G传输对线交叉点时可能造成的误差。

为了简洁清晰,G对线仅画出 G_2 、 G_1 、 G_0 ,且将各传输对线平铺(实际上是叠在一起的);格雷码 $G_2G_1G_0$ 可组成8个位置数据,分别对应APD的十进制位置序号0~7。 r 为 G_0 线圈横向宽度的一半, d_0 、 d_1 分别为接收线圈0和1的中心线偏离对线 G_0 两交叉中心的距离,接收线圈0和1相距 r 。

在车上位置检测方式中,中控室地面局按一定的顺序,分时向编码电缆中各检测位置的传输对线发送载波信号。具体到如图2所示的编码电缆来说,在 t_0 、

t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 时间段,分别向传输对线R、R'、 G_2 、 G_1 、 G_0 发送载波信号,在 t_5 时间段不发送。APD检测是从接收线圈0感应信号的相位中得到APD位置。在 t_0 时间段,线圈0感应的是R线发送的信号,称为R信号;在 t_1 时间段,线圈0感应的是R'信号,R'信号与R信号反相,记为 $R' = 1$,作为起始位;在 t_2 时间段,线圈0感应的是 G_2 线发送的信号, $G_2 = 0$ 或1,取决于接收线圈0的位置。

为方便讨论,假设接收线圈0的中线分别在①、②、③、④的位置,则接收线圈0的接收信号相位如图3所示(为了突出相位关系,信号的幅度画成一样大小或为0)。

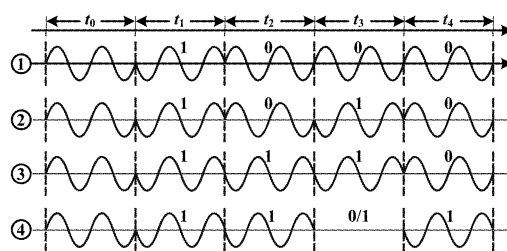


图3 接收信号相位示意图

Fig.3 Phase of the received signal

对图3中二进制绝对相移键控(2PSK)调制信号进行解调,并以 $R' = 1$ 作为起始位,得到在图2中的位置①时, $G_2G_1G_0 = 000, g = 0$;在位置②时, $G_2G_1G_0 = 010, g = 3$;在位置③时, $G_2G_1G_0 = 110, g = 4$;在位置④时, $G_2G_1G_0 = 111$ 或 $101, g = 5$ 或 6 。由此得到APD位置公式为^[9]:

$$APD = g \times r \quad (1)$$

2.2 高分辨率位置检测原理

高分辨率位置检测(high resolution position detection, HRPD)原理为位置信号发生器分别对传输对线 G_0 、 G'_0 发送载波,检测接收天线线圈1感应信号幅度,通过运算得到HRPD位置。

HRPD位置检测示意图如图4所示。

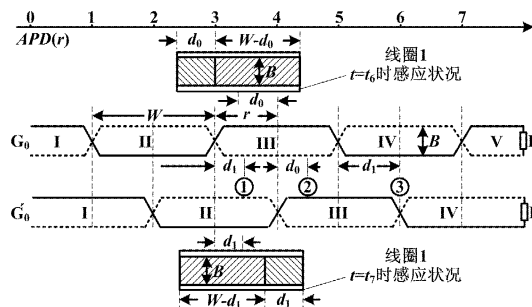


图4 HRPD检测示意图

Fig.4 Diagram of HRPD detection

为了方便分析,将接收天线线圈 1 与编码电缆中的传输对线 G, G'_0 平铺开,并将线圈 1 画成两个平铺图,分别表示在 $t = t_0, t = t_1$ 时的感应信号状况。以线圈 1 中心线为移动机车的位置 x ,传输对线两交叉间的区域称为 K 区域($K = I, II, III, \dots$);线圈 1 中心线偏离 G_0, G'_0 传输对线所在区域中心线距离分别为 d_0, d_1 ,显然 $d_0 + d_1 = r$;接收天线线圈、对线 G_0 和 G'_0 线圈的横向宽度均为 $W = 2r = 20$ cm,纵向宽度均为 B 。

在 t_0 时间段,位置信号发生器对传输对线 G_0 发送载波时, G_0 的 III 区域对线圈 1 的感应面积为 $S = (W - d_0) \times B$, G_0 的 II 区域对线圈 1 的感应面积为 $S = d_0 \times B$ 。由于 II、III 区域对线圈 1 产生的感应信号相位相反,所以线圈 1 有效感应面积 $S = (W - d_0) \times B - d_0 \times B = 2(r - d_0) \times B$ 。

设线圈 1 最大感应面积 $S_{max} = W \times B = 2r \times B$,对应感应信号最大幅度为 $A_{max}(y, z)$,则有:

$$\frac{A(G_0)}{A_{max}(y, z)} = \frac{r - d_0}{r} \quad (2)$$

在 t_1 时间段,位置信号发生器对 G'_0 传输对线发送载波时,对线圈 1 感应信号作相同的分析,得:

$$A(G_0) = A_{max}(y, z) \times \left(\frac{r - d_0}{r}\right) \quad (3)$$

$$A(G'_0) = A_{max}(y, z) \times \left(\frac{r - d_1}{r}\right) \quad (4)$$

令:

$$P_0 = \frac{A(G_0)}{A(G_0) + A(G'_0)} = \frac{r - d_0}{r} = \frac{d_1}{r} \quad (5)$$

$$P_1 = \frac{A(G'_0)}{A(G_0) + A(G'_0)} = \frac{r - d_1}{r} = \frac{d_0}{r} \quad (6)$$

此外,需要说明的是:① 线圈 1 的中心位于 G_0 两交叉间左半部(图 4 的位置①),此处检测出来的 APD 位置数据 g 为奇数,则 $HRPD = d_1 = P_0 \times r$;② 发送线圈的中心位于 G'_0 两交叉间左半部(图 4 的位置②),此处检测出来的 APD 位置数据 g 为偶数,则 $HRPD = d_0 = P_1 \times r$ 。

因此,可得高分辨率位置 HRPD 和综合位置 ADD 分别为^[10]:

$$HRPD = \begin{cases} d_0 = P_1 \times r & g \text{ 为偶数} \\ d_1 = P_0 \times r & g \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (7)$$

$$ADD = APD + HRPD \quad (8)$$

2.3 感应无线位置检测实例

假定 $r = 10$ cm,将天线箱线圈 1 分别处于图 4 中的位置①、②、③处,且为了分析方便,只写 3 对 G 传输线。

当线圈 1 处于位置①时,测得 $G_2 G_1 G_0 = 010$,则 $APD = g \times r = 30$ cm;测得传输对线 G_0, G'_0 的幅度为: $A(G_0) = 0.42A_{max}, A(G'_0) = 0.58A_{max}$,则由式(5) ~ (8)得 $P_0 = 0.42, P_1 = 0.58, HRPD = P_0 \times r = 4.2$ cm; $ADD = APD + HRPD = 34.2$ cm。

当线圈 1 处于位置②时,测得 $G_2 G_1 G_0 = 011$,则 $APD = g \times r = 40$ cm;测得传输对线 G_0, G'_0 的幅度为 $A(G_0) = A(G'_0) = 0.5A_{max}$,同理可得 $P_0 = P_1 = 0.5, HRPD = P_1 \times r = 0.5 \times 10 = 5$ cm; $ADD = APD + HRPD = 45$ cm。

当线圈 1 处于位置③时, $A(G_0) = A_{max}, A(G'_0) = 0$,可得 $P_0 = 1, P_1 = 0$ 。由于 $A(G_0) = 0, G_1$ 感应信号与基准信号比较,相位相同(为 0)或相反(为 1),所以, $G_2 G_1 G_0 = 111$ 或 $G_2 G_1 G_0 = 101$,即 $g = 5$ 或 6。

若取 $g = 5$,则:

$$APD = g \times r = 5 \times 10 = 50 \text{ cm},$$

$$HRPD = P_0 \times r = 1 \times 10 = 10 \text{ cm},$$

$$ADD = APD + HRPD = 50 + 10 = 60 \text{ cm};$$

若取 $g = 6$,则:

$$APD = g \times r = 6 \times 10 = 60 \text{ cm},$$

$$HRPD = P_1 \times r = 0 \times 10 = 0 \text{ cm},$$

$$ADD = APD + HRPD = 60 + 0 = 60 \text{ cm}。$$

因此,均有 $ADD = 60$ cm。

3 感应无线位置检测电路

感应无线车上位置检测器电路如图 5 所示。

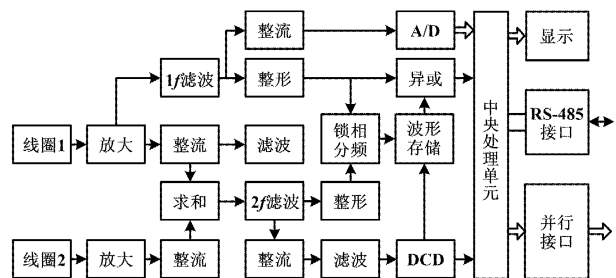


图 5 车上位置检测器电路框图

Fig. 5 Block diagram of the position detector on vehicle

天线箱中的主、副线圈(设为接收线圈 1 和 2)感应的信号分别经过放大、整流后进行求和,然后经过 $2f$ 带通滤波器滤波得到 2 倍频载波(即 $2f$ 载波), $2f$ 载波经过整流、滤波,得到载波检测信号(data carrier detect, DCD)。

由于主、副线圈相距 r ,当中控室位置信号发生器对任一传输对线发送载波信号时,不管接收天线处于哪个位置,均有 $DCD = 1$ 。位置信号发生器在停止发送一段时间后,将开始新一轮 t_0 时间段发送。由于电

路中具有延时环节,在开始 t_0 发送约2 ms后产生DCD的上升沿,CPU检测到DCD的上升沿,就开始新一轮地址检测。

图5中,2f载波经过整形和锁相分频后,在DCD的上升沿到来时,储存当前的1f载波。由于处于 t_0 时间段,所以储存的是R传输对线发送载波时的基准相位信号。储存的基准相位信号与1f载波整形后的方波通过异或门进行相位比较。CPU第一次检测到相位比较结果等于1时,表示 t_1 时间段开始,以此为时间基准,依次在 t_2 、 t_3 、 t_4 时间段得到 G_2 、 G_1 、 G_0 信号相位,即得到一组反映APD位置的格雷码 $G_2G_1G_0$ 。这个过程相当于二进制绝对相移键控解调。CPU对检测到的格雷码 $G_2G_1G_0$ 进行运算得到APD位置数据 g ,然后由式(1)计算得到APD。主线圈接收信号经过整流、滤波得到信号幅度直流电平,通过CPU处理后,可直接显示 $A(G_0)$ 和 $A(G'_0)$ 数值,将各数据代入式(5)~(8),最后可得到移动机车位置ADD。

4 车上检测位置实验数据与分析

车上检测位置技术的关键在于检测分辨率。为检测车上检测位置装置的分辨率和应用情况,本文模拟应用现场进行了试验。

试验中连接3段102.4 m编码电缆,即检测位置范围为307.2 m,采用120 m连接电缆将编码电缆连接到地面载波发生器。缓慢拖动编码电缆从固定的感应天线箱下经过,保持感应天线箱与编码电缆之间距离为100~150 mm,采用计算机对检测的位置数据记录,位置数据每发生一次变化就记录一个数据。

检测距离为307.2 m,每隔2 mm记录1个位置数据,则应有153 600个位置数据。如实际记录的一段检测数据为62.190、62.192、62.194、62.196、62.198、62.202、62.204……。

实际中,由于检测误差,会出现2个检测数据间隔为大于2 mm的情况,如上述62.198、62.202的间隔为4 mm。在所有检测数据中,间隔为6 mm的共有3处,约占五分之一;间隔为4 mm的共有284处,约占0.18%。

通过分析检测数据发现,出现检测误差都是在分米的交界处,如62.198和62.202,即62.1 m与62.2 m的交界处,这是主线圈的中心位于 G_0 或 G'_0 传输对线交叉点处。理论上此处 $A(G_0)$ 或 $A(G'_0)$ 为0,而实际中,由于噪声干扰、编码电缆传输对线之间的相互影响等原因,造成此处 $A(G_0)$ 或 $A(G'_0)$ 不为0,从而降低了分辨率。

如主线圈处于图4中的位置③,主线圈中心正对

着 G_0 和 G'_0 的交叉, $g=5$, $APD=50$ cm或 $g=6$, $APD=60$ cm。当 $A(G'_0)=0$,则计算得到 $P_0=1$ 、 $P_1=0$,则有 $g=5$ 或6,此时均有 $ADD=60$ cm(已验证);当 $A(G'_0)\neq 0$,假定计算得到 $P_0=0.98$ 、 $P_1=0.02$,则当 $g=5$ 时,有 $HRPD=P_0\times r=9.8$ cm、 $ADD=59.8$ cm,当 $g=6$ 时,有 $HRPD=P_1\times r=0.2$ cm、 $ADD=60.2$ cm。

这表明主线圈处于同一位置时,检测的地址或为0.598 m,或为0.602 m,并来回跳动,从而得不到0.6 m的位置。

试验结果说明了两点:① 实测位置与理论上对应位置偏差较小;② 位置检测精度高,分辨率为2 mm。为减小误差,实际应用中将多次试验数据制成表格,计算出HRPD,并进行修正。

5 结束语

文中介绍的感应无线位置检测系统是利用编码电缆中传输对线和天线箱线圈的电磁感应来实现移动机车位置检测的,采用的是非接触式的绝对位置检测方式,克服了传统有线和无线位置检测的缺陷,可满足移动机车精确定位的要求。感应无线位置检测技术具有检测精度高、抗干扰能力强等优点,因此在工业生产中得到了广泛应用。

目前,感应无线位置检测技术已被应用到焦炉工业移动机车位置检测中,用于对推焦车、熄焦车、装煤车和除尘车的自动控制,实际应用效果良好,基本实现了自动化。

参考文献

- [1] 陈进,周晓辉.工业有轨作业机车自动定位控制[J].电气应用,2006,25(5):65-68.
- [2] 陈进.感应无线地面检测位置原理与实现[J].电子测量与仪器学报,2009,23(1):58-63.
- [3] 祝天龙.基于无线感应的焦炉三车控制系统设计[J].河南机电高等专科学校学报,2008,16(3):85-86.
- [4] 李徽.感应无线通信专用接收天线的设计[J].湖南理工学院学报:自然科学版,2008,21(2):49-51.
- [5] 路红,费树岷,郑建勇.一种自适应运动目标检测方法[J].电子测量与仪器学报,2008,22(4):7-11.
- [6] 刘改贵,刘清泉.感应无线技术在焦炉车辆上的应用[J].燃料与化工,2002,33(4):176-177.
- [7] 陈进,程望斌,陈新.感应无线数据通信技术研究[J].湖南理工学院学报:自然科学版,2010,23(2):30-33.
- [8] 陈进.感应无线数据通信中同频干扰抑制[J].现代电子技术,2006,29(7):96-98.
- [9] 陈进.感应无线技术在工业移动机车自动化中的应用[J].自动化技术与应用,2006,25(4):33-36.
- [10] 程望斌,陈进,陈新.新型无线感应技术在位置检测中的应用[J].电子测量与仪器学报,2010,24(4):379-384.