

# 基于蓝牙传输的智能车信号检测系统研究\*

缙新科,王能才,李冬冬

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院,甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 设计了基于蓝牙传输的电磁导航智能车磁场信号检测系统。采用工字型电感线圈作为传感器,通过 MATLAB 对电感线圈在磁场中的特性进行了仿真分析,优化了传感器的排布方案。系统下位机以 MC9S12XS128 单片机作为信号采集的核心控制器,选用蓝牙模块作为无线发送与接收设备,利用 LabVIEW 2012 图形化编程集成开发环境编写上位机程序,最终实现了单片机与 PC 的无线数据互传。实验结果表明,该系统能够实时检测出智能车与导航线的相对位置,并可方便快捷地进行导航路况判断与速度给定。

**关键词:** 电磁导航智能车;蓝牙传输;LabVIEW;信号检测

中图分类号: TP249

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)01-0063-04

## Study of intelligent vehicle signal detection system based on Bluetooth transmission

Gou Xinke, Wang Nengcai, Li Dongdong

(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** An electromagnetic navigation intelligent vehicle signal detection system based on bluetooth transmission is designed. Using inductance coil as sensors, the features of the inductance coil in the magnetic field is analyzed through MATLAB, sensors' arrangement scheme is optimized. System lower machine with MC9S12XS128 SCM as the core of signal acquisition controller, using Bluetooth module as wireless sending and receiving devices, using LabVIEW 2012 graphical programming integrated development environment to write upper machine program, and finally the wireless communication of the SCM and PC is realized. The experimental results show that the system can show the intelligent vehicle and the relative position of navigation line in real-time, and can be convenient to wireless program download, navigation conditions given judgment and speed.

**Key words:** electromagnetic navigation intelligent vehicle; Bluetooth transmission; LabVIEW; signal detection

电磁导航智能车辆,是一个集环境感知、信息处理和速度控制等功能于一体的综合系统,它集中运用了计算机、现代传感器、信息融合、通信及自动控制等技术,具有道路障碍自动识别、自动控制、自动保持安全距离和车速以及巡航控制等功能。以往的电磁导航智能车程序调试都采用 BDM 调试器有线调试,且智能车在行驶时导航线与车体的相对位置不能实时显示出来,智能车很难根据采集的路况信息进行速度分配,不便于寻找速度给定的最优解。本文设计了基于蓝牙传输的信号检测系统,可以通过 LabVIEW 编程实现 PC 与单片机无线通信,避免了程序调试员每改变一次参数都要进行智能车

与 PC 的有线连接,减少了参数整定的工作量,并可以将电磁传感器采集的信息实时显示出来,为路径磁场信号的检测与智能车速度的给定提出了一种更加便捷的方法。

### 1 系统整体方案设计

基于蓝牙传输的智能车信号检测系统由下位机系统和上位机系统构成,系统总体结构框图如图 1 所示。

图 1 的上半部分是系统的下位机结构框图,整个硬件系统使用模块化的设计思想。下位机系统以 Freescale 公司的 MC9S12XS128 单片机为核心控制器,系统由电源模块、电机驱动模块、起跑线检测模块、信号检测模块、测速模块、舵机控制模块、LED 状态显示模块、蓝牙发射模块 A 和蓝牙接收模块 B 9 大模块构成。图 1 的下半

\* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(51165024)

# 网络与通信 Network and Communication

部分是系统的上位机结构框图,也是数据的接收、分析、显示和发送终端,系统上位机应用 LabVIEW 2012 虚拟仪器设计软件开发系统上位机程序。

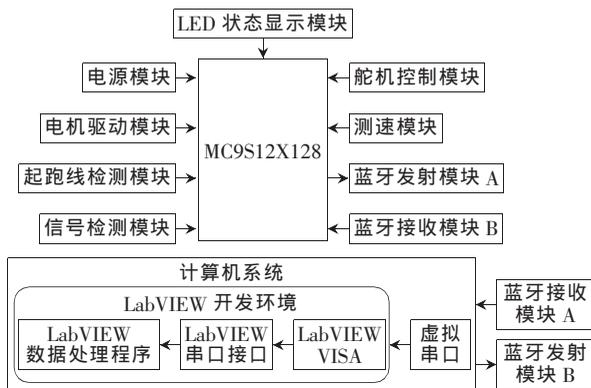


图1 系统整体结构框图

智能车首先通过蓝牙模块将程序烧写到单片机 MC9S12XS128 中,指导干簧管对起跑线进行检测。当小车开始起跑时,电磁传感器对赛道磁场信号进行采集,并将采集的信号经选频、放大、检波之后送入 MC9S12XS128 进行处理,提取小车和导线的位置关系后,计算出小车偏离导线的偏差,使用 PID 控制算法对舵机转向进行控制。用编码器反馈回来的脉冲数检测小车的速度,通过模糊 PID 控制与 Bang-Bang 控制相结合的控制思路对电机使用速度控制。在小车行驶过程中,下位机与上位机进行蓝牙通信,实现数据的无线互传,并在 LabVIEW 构建的数据检测平台中显示和存储,以及根据处理的结果对控制算法中的各参数进行实时调试。

## 2 智能车信号检测的原理与方法

### 2.1 路径导航信号的建立<sup>[1]</sup>

根据麦克斯韦电磁场理论,交变电流会在其周围产生交变的电磁场,智能车导航的信息源就是赛道中心线位置处通有 100 mA 交变电流的铜导线,交流电流的频率是 20 kHz,其产生的电磁波的频率是 20 kHz,波长为 15 km。

由毕奥-萨法尔定律知,对于无线长直导线来说,距离导线  $r$  处  $P$  点的磁感应强度为:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

根据法拉第定律,电磁感应线圈的内部感应电压  $E$  与磁场  $B(t)$ 、线圈的圈数  $N$ 、横截面积  $A$  的关系为:

$$E = (NA) \times (\mu_0 \mu_r) \frac{dB(t)}{dt} = - \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (2)$$

感应电动势的方向可以用楞次定律来确定。

令电磁感应线圈中心到铜导线的距离为  $r$ ,认为小范围内磁场分布是均匀的,则电磁感应线圈中的感应电动势可近似为:

$$E = - \frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{k}{r} \frac{dI}{dt} = \frac{K}{r} \quad (3)$$

即电磁感应线圈中感应电动势的大小正比于电流的变化率,反比于电磁感应线圈中心到铜导线的距离。其中,常量  $K$  为与电磁感应线圈摆放方法、电磁感应线圈面积有关的一个量,具体感应电动势常量须实际测定来确定。

### 2.2 传感器的选择

由于电感线圈测量范围广,理论上只要加上合适的谐振电容和放大电路,不但能够筛选出特定频段进行放大,而且有较强的抗干扰能力,因此选取工字型电感传感器。它具有价格便宜、原理简单、频率响应快、体积小和电路实现简单等特点<sup>[2]</sup>,并且能在 100 mA 直导线电流旁检测到峰峰值为 40 mV 的电压值,能够满足磁场信号检测的要求。

### 2.3 信号调理电路的设计

从检测原理可以知道,测量磁场核心是检测线圈的感应电动势的幅值,本设计从感应线圈、信号选频放大和检波 3 个方面对电路进行设计。实际电路原理图如图 2 所示。

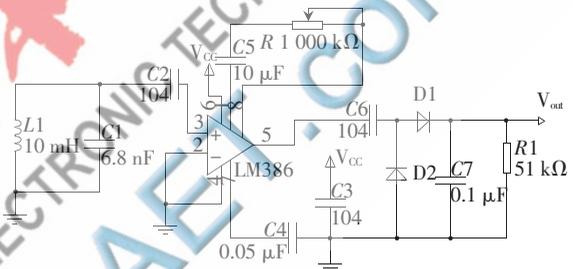


图2 信号调理电路原理图

本设计电路选频方式使用 RLC 并联谐振回路进行选频,由  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  可计算出谐振电容的容量为 6.33 nF。

信号的放大使用 LM386 运算放大器,LM386 具有静态功耗低、工作范围宽等优点,且在 1 脚和 8 脚之间增加一只外接电阻和电容,可将电压增益在 20~200 之间任意调节。检波电路的作用是将放大后的电磁信号转换为正比于交流电压信号峰峰值的直流信号,最后送入 MC9S12XS128 的 A/D 口,由于锗二极管的开启电压为 0.2 V,小于硅二极管的开启电压 0.7 V,为了增加输出信号的动态范围和整体电路的灵敏度,检波电路中的二极管选用锗二极管。

### 2.4 电磁感应线圈在磁场中的特性

通电铜导线周围的磁场是一个矢量场,约定智能车前进的方向为  $Y$  轴正方向,顺着  $Y$  轴的右手边为  $X$  轴正方向, $Z$  轴指向小车的正上方,场的分布如图 3 所示。

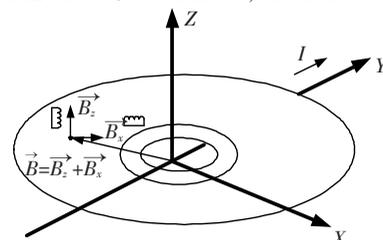


图3 铜导线周围的电磁场

## 网络与通信 Network and Communication

水平线圈是指电感线圈的轴线平行于  $Z$  轴, 垂直线圈是指电感线圈的轴线平行于  $X$  轴, 则这两个线圈可以感应磁场向量的两个垂直分量, 进而可以获得磁场的强度与方向。显然, 垂直线圈感应的是  $\vec{B}_x$  变化率, 水平线圈感应的是  $\vec{B}_z$  变化率。

由式(1)可以推出:

$$\vec{B}_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \times \frac{h}{x^2+h^2} \quad (4)$$

$$\vec{B}_z = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \times \frac{x}{x^2+h^2} \quad (5)$$

其中, 电磁感应线圈中心轴线距离地面的垂直距离为  $h$ , 水平距离为  $x$ , 则由式(3)可得垂直线圈  $E$  正比于  $\frac{h}{x^2+h^2}$ , 水平线圈  $E$  正比于  $\frac{x}{x^2+h^2}$ 。为了确定传感器的布局, 需对电感线圈的排布高度进行相应的分析, 分别取  $h$  为 4、6、8、10、12, 在 LabVIEW 中调用 MATLAB 对水平和垂直放置的传感器采集的感应电压进行仿真, 得到感应电压  $E$  与水平偏移量之间的关系如图 4、图 5 所示。

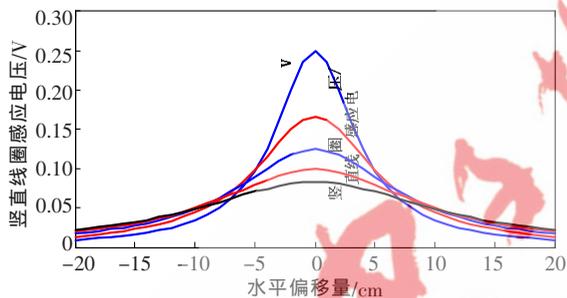


图4 垂直线圈  $E$  与  $x$  的关系

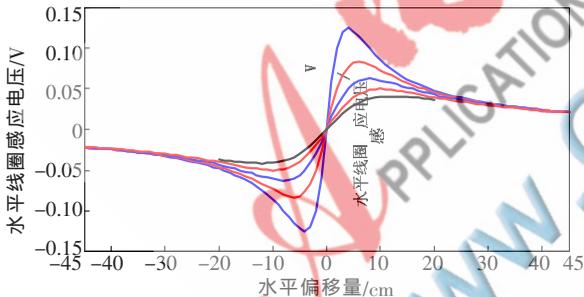


图5 水平线圈  $E$  与  $x$  的关系

根据对图 4、图 5 分析得出, 垂直线圈的感应电压是  $x$  的偶函数, 在  $Y$  轴两侧单调, 且在  $0$  点处,  $h$  越大, 感应电压  $E$  越小; 水平线圈的感应电压  $E$  是  $x$  的奇函数, 在  $Y$  轴两侧无单调关系; 水平线圈适合做  $x$  的正负判断, 垂直线圈适合算  $x$  的具体数值, 水平线圈比垂直线圈衰减慢得多, 说明水平线圈对远处道路状况比较敏感, 可以用来预测前方的弯道。

### 2.5 传感器排布的设计

根据电磁感应线圈在磁场中的特性可知, 垂直线圈可以容易得出智能车与铜导线的相对位置, 理论上采用双垂直线圈就可以判断出铜导线的位置, 然而为了提高检测的精度, 精确地控制小车, 可以适当增加传感器的

个数与合理调试传感器安放的高度来实现。检测发现, 电感线圈的排布不能太密, 传感器太多则相互间干扰较大, 太少则降低了检测的精度。初步选定了用 4 只传感器来对导线进行位置测量, 4 个垂直线圈平均间隔一字排开, 分别是左右各两个对称分布。由图 5 可知, 传感器安放得越高, 感应电压越小, 又由于路径中设有 5 mm 高的障碍, 智能车在经过障碍时会产生抖动, 从智能车的稳定性考虑, 选取 6 cm 高度时, 智能车经过障碍路径时产生的抖动在 0.8 mm 内, 传感器所测得的感应电压变化很小, 抖动对传感器正确识别路径不会产生太大影响, 因此, 在布置传感器时选用 6 cm 的高度。

经过实际车模运行时发现, 这种布置方案车模从进弯道到出弯道, 舵机做了两次摆角, 最后一次摆角是在传感器出弯 9 cm 时才做出的, 这时, 垂直放置传感器的中心线与导线的夹角为  $65^\circ$ , 与导线的偏差比较大, 若车模以 2.5 m/s 的速度在小弯道运行, 很容易冲出赛道, 即一旦传感器转弯出外时, 由于信号较弱小车出现乱摆, 那么小车将失去控制。分析得出这种布置方案使得智能车的前瞻性太小, 导致入弯时速度减得过多, 出弯时舵机的反应又太慢, 舵机不能及时偏转, 不宜采纳。

由图 5 可知, 水平线圈对远方路况比较敏感, 可以感知路况的变化趋势, 通过对弯道处磁场的分析, 在以上传感器布置方案的两端再各放置一个水平线圈, 用来对弯道进行前瞻。经实际车模验证, 变更传感器摆放的方向和角度, 可以在原来传感器位置的基础上前瞻 15 cm~20 cm, 如果电感线圈的直径加大一倍, 则可以做到前瞻 35 cm, 下称“大前瞻”。尽管放置水平线圈可以增大小车的前瞻性, 但随之也带来了新的问题, 那就是在大前瞻的布局下, 智能车在通过十字交叉赛道时出现了严重的抖动, 智能车的稳定性受到影响。通过对十字交叉路径处场强分析, 得出抖动原因就在于十字交叉点出现了场强叠加, 场强的水平分量与竖直分量都增大了很多, 使得原场强的大小与方向都发生了变化, 这种抖动对大前瞻来说是一个严重的干扰。虽然经过软件处理之后小车能够顺利通过十字交叉点, 但不可避免会有少许抖动。这样既影响小车的稳定性, 也使行进速度有一定下降, 速度过慢, 从而大大影响了智能车的平均速度。从智能车的稳定性考虑, 将两个水平线圈采用轴线与小车前进方向一致的摆法, 这样小车在十字交叉处几乎不受干扰, 但这样的前瞻在 10 cm 以内, 前瞻性非常小, 满足不了小车高速运行时对弯道的判断, 因此此种布局方案还需进一步改进。

由于单排传感器检测的磁场信息单一, 而双排传感器检测的信息很丰富, 既可以通过判断导线的斜率来弥补前瞻的不足, 消除抖动, 也可以合理利用其采集的信息作转角以及速度控制。最终采用了双排传感器布置方案, 即在小车前轮前方再增加一组轴线与导线垂直的传

## 网络与通信 Network and Communication

感器,传感器垂直高度为 8 cm,左右各一个对称排放。

实际车模运行发现,此种方案具有更加精确的位置解算能力,并且利于速度控制。

### 3 磁场信号数据的蓝牙传输

#### 3.1 蓝牙与上位机和下位机接口设计

智能车信号检测系统选用的蓝牙模块是 HH-W 公司的 BT10-04,单片机选用 Freescale 公司的 MC9S12XS128。BT10-04 蓝牙模块采用 CSR 蓝牙芯片,其为蓝牙 V2.0 协议标准;1 位数据起始位,8 位数据位,1 位停止位,无检验位;频率为 2.4 GHz;内置 USB 转串口模块,可以直接与电脑 USB 连接,数据以串行传输方式发送和接收,收发模块自动发送寻求信号进行配对链接,链接成功后主机和分机的功能完全相同;配对密码为 1234;RXD 与 TXD 分别为 5 V 数据接收端和数据发送端,可直接与单片机连接。蓝牙传输模块接口电路如图 6 所示。

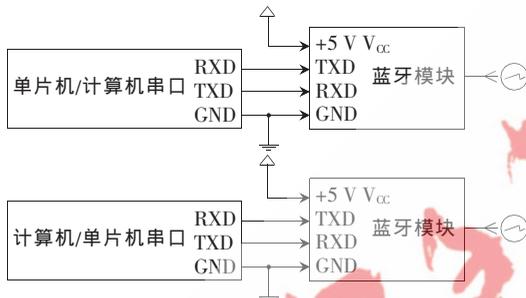


图 6 蓝牙传输模块接口电路

上位机与下位机无线通信的基本过程是:首先打开蓝牙转换开关,选择蓝牙通信,下位机通过蓝牙发射模块 A 将传感器采集的数据进行发送,上位机蓝牙接收模块 A 接收到下位机发出的数据后,转化为符合 RS-232 协议的电平信号并输出,利用计算机标准的 RS-232 串行通信口及 Windows 操作系统中集成的串口驱动程序,便可与上位机建立通信链接,然后利用 LabVIEW 2012 集成开发环境设计串口控制程序,并在串口配置中设置“停止位”为 1.0,“波特率”为 19 200 b/s,“数据比特”为 8,“采样点数”为 300。当需要将程序烧写到单片机时,首先在 PC 上插上蓝牙主机模块 B,等待连接成功后,先发送一个指令给单片机,使智能车停止运行,然后再发送程序文件,这样就实现了程序的无线烧写。

#### 3.2 磁场信号的检测与处理

信号采集包括硬件部分和软件部分。硬件部分由传感器、信号调理电路、蓝牙传输模块和单片机硬件系统构成。软件部分使用 LabVIEW 2012 开发上位机程序,其功能主要是实现信号接收、存储、显示、处理和提供人机交互界面。系统整体界面设计如图 7 所示。

运行“基于蓝牙传输的电磁导航智能车路径信号采集与分析平台 .EXE”程序,在程序主界面中选择“信号采集”选项卡,在“串口名称”下拉列表中选择与蓝牙接

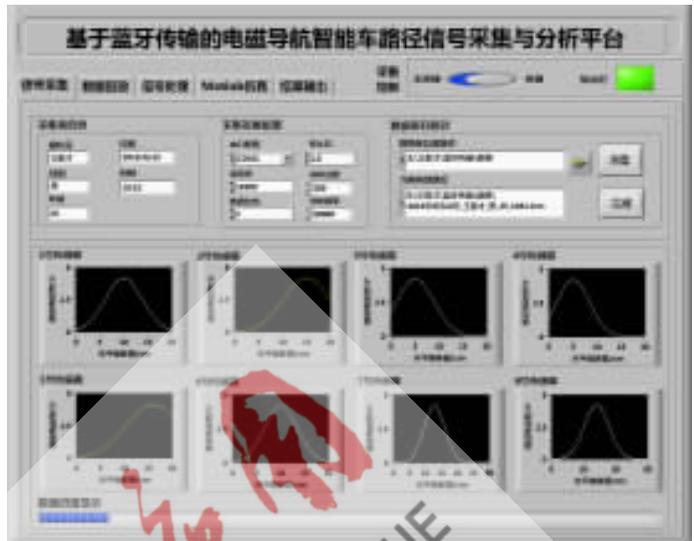


图 7 系统整体界面设计

收模块对应的串口号,分别输入采集者姓名、性别、年龄信息和时间信息。单击工具栏上的“运行”按钮,此时采集设备处于连接状态,单击“采集”按钮,系统开始采集电磁传感器信息并将 8 个传感器的感应电动势与导线的相对位置实时显示出来。

信号检测的目的就是要判断导线的位置以及根据路况信息对智能车进行速度分配。由于模拟检测法空间分辨率可达 3 mm,而且当导线电流不稳定时,抗干扰能力强,因此采用模拟检测法,即将采集回来的 A/D 值进行合理运算之后来判断智能车和导线之间的位置。

图 7 所示的图形是 8 个传感器在 5 s 时间内分别采集回来的 A/D 值,由图 7 可以看出,经过蓝牙无线传输采集的磁场数据信号与图 5,图 6 MATLAB 仿真磁场信号波形一致,1 号、3 号、4 号、6 号、7 号、8 号图为竖直安置的传感器采集的感应电动势与水平偏移量之间的关系图,2 号与 5 号图为轴线与小车前进方向一致安置的传感器采集的感应电动势与水平偏移量之间的关系图。

A/D 值的具体处理如图 8 所示。

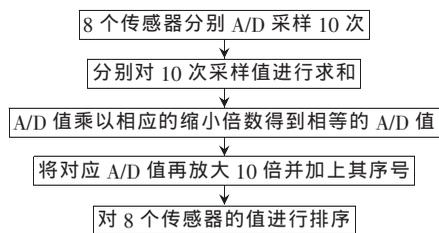


图 8 A/D 值处理流程图

由图 8 流程图得出有效的控制序列后,将两个最大的 A/D 值取出来对 10 取余得到它们对应的序号,这样就确定了哪两个传感器离导线近,然后根据这两个传感器 A/D 值的差值再与之前预先设定的 A/D 值比较,同时,乘以设定的距离值就得到了  $x$  的坐标。

提取智能车和导线之间的位置关系后,可以确定小车的速度给定策略。当智能车偏离导线较少时,给定一个较小的回正速度,智能车可以加速行驶;当智能车偏离导线较大时,应该给定较大的回正角度和减慢车速。本系统速度的给定使用二次曲线拟合速度的方法。根据二次曲线的顶点式:

$$y=a(x-h)^2+k \quad (6)$$

只要输入 3 个坐标,就可以得到二次函数的 3 个系数,进而可算得曲线的解析式。利用二次函数的图像性质来分配速度,即直道速度为 3 m/s,大弧弯道为 2.8 m/s,小弧弯道为 2.5 m/s。

本文研究的基于蓝牙传输的智能车信号检测系统将智能车路径信号检测系统和蓝牙技术相结合,通过对电磁信号的分析,自行设计了采集感应电动势的信号调理电路,经过改进对传感器的布局进行了合理的设计,最终实现了 PC 与单片机之间数据的无线互传,完成了磁场数据的实时采集与处理。经过实验测试,该系统在露天普通条件下,最大的通信速率为 56 kb/s,最大传输距离为 10 m,若此距离满足不了调试要求,可通过外接射频功率放大模块使蓝牙通信距离达到 100 m。该系统性能稳定,界面友好,简单实用,能有效减少程序调试者的工作量,为智能车根据路况信息进行速度给定设计了一种更加便捷有效的方法。

#### 参考文献

[1] 刘源,张文斌,刘雪扬,等.电磁导航智能车检测和控制

系统研究[J].传感器与微系统,2012,31(4):63-66.

- [2] 李仕伯,马旭,卓晴.基于磁场检测的寻线小车传感器布局研究[J].电子产品世界,2009,12:41-51.
- [3] Xiong Bo, Qu Shiru. Intelligent vehicle's path tracking based on fuzzy control[J]. IEEE Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010,10(2):70-75.
- [4] 王元哲,谈英姿.磁导航智能车路径信息采集系统的设计与实现[J].微型机与应用,2011,30(1):19-21.
- [5] 韩以伦,王斌龙.基于 HCS12X 单片机的多传感器智能车控制系统设计[J].科技信息,2012,1:59-60.
- [6] 秦健强,贾旭.基于 Freescale 9S12DG128 的智能车控制系统设计[J].数控技术,2012,9:6-8.
- [7] 张吴飙,马旭,卓晴.基于电磁场检测的寻线智能车设计[J].电子产品世界,2009,11:48-50.
- [8] 曹辉,何波.基于蓝牙传输的脉搏血氧饱和度检测系统设计[J].微计算机信息,2007,23(9):104-106.

(收稿日期:2013-09-05)

#### 作者简介:

缙新科,男,1966年生,博士,教授,硕士研究生导师,主要研究方向:智能结构及其动力学系统控制。

王能才,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:智能控制。

李冬冬,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:随机振动主动控制技术。