

电站智能无线巡检移动机器人系统设计

赵越¹,高守玮^{1,2},赵龙龙¹,袁舰¹,王孝欣¹,马世伟^{1,2}

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院,上海 200072;

2. 上海市电站自动化技术重点实验室,上海 200072)

摘要:针对电站中电力系统环境复杂的问题,设计了一种基于改进的 OpenWrt 系统和 Android 系统的电站智能无线巡检机器人。该系统以无线嵌入式处理器 AR9331 和基于 Cortex-M3 的 ARM 处理器 STM32 为双处理器核心,并在无线处理器上运行改进的 OpenWrt 操作系统,实现无线路由功能,同时引进一种新型的 MJPEG 压缩算法。实现了 Android 智能手机对巡检机器人的无线控制、视频实时采集与显示。经设计研发和现场测试,系统可运行在电站狭小、阴暗等复杂环境中,完成无线巡检任务,具有良好的稳定性和灵活性。

关键词:OpenWrt; Android; 无线巡检; MJPEG 压缩算法; 视频采集

中图分类号:TP79

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)10-0026-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.10.006

System Design of Smart Wireless Inspecting Mobile Robot in Power Station

ZHAO Yue¹,GAO Shou-wei^{1,2},ZHAO Long-long¹,YUAN Jian¹,WANG Xiao-xin¹,MA Shi-wei^{1,2}

(1. School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Key Lab of Shanghai Power Station Automation Technology, Shanghai 200072, China)

Abstract:For the complex problem of the power system environment in power station, a smart wireless inspecting mobile robot is designed based on improved OpenWrt OS and Android OS. Wireless embedded processor AR9331 and STM32 micro-controller based on Cortex-M3 are taken as the dual processor in the system, and the wireless embedded processor runs the improved OpenWrt OS to implement wireless routing function. At the same time it also introduce a new type of MJPEG compression algorithm. The system implements the wireless control, real-time video acquisition and display of inspecting mobile robot used by Android smart phone. With the design and the field test, the robot can complete the inspecting tasks in complex environment such as narrow and dark in power station, which has great stability and flexibility.

Key words:OpenWrt; Android; wireless inspecting; MJPEG compression algorithm; video capture

0 引言

电站巡检是保证电站设备安全性与可靠性的一项重要工作。随着电力系统自动化程度的提高,电力设备的信号可以通过数据采集系统(DAS)、高压设备绝缘监测、继电保护等装置获得,然而由于受到环境及安全因素的影响,有些设备异常和潜在的危险难以被工作人员及时发现,如母线连接点、端子以及真空开关漏气,避雷器漏电造成的发热情况,开关油位及设备外部情况等未被及时发现而造成严重后果。

目前电站常用的巡检方式主要有人工巡检和智能巡检。人工巡检主要依靠个人观察,手工记录巡检信息,每次例行巡检需要至少2小时,存在工作效率低、劳动量大、巡检信息记录不完全等问题。

目前电站依托于一些先进的智能设备完成电力设备信号采集的巡检工作,现阶段大部分智能巡检机器人主要依托循迹技术^[1]、数据采集技术和视觉导航技术^[2]等,此类巡检机器人运动轨迹^[3-4]较为单一并且只能完成设备数据的采集工作。当遇到突发情况或需要查看设备硬件故障时,例如进入狭小、阴暗、危险等

收稿日期:2013-11-26

修回日期:2014-03-06

网络出版时间:2014-07-28

基金项目:上海市科委项目(13510500400)

作者简介:赵越(1989-),男,安徽人,硕士,研究方向为嵌入式系统、自动化控制;高守玮,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为测控技术与信号处理、嵌入式系统等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140728.1222.019.html>

空间或到不方便工作人员到达的地方查看设备情况时,就没有很好的解决方案和灵活的处理方法。

针对以上问题以及电站提出的运动灵活、人工与智能相结合进行电站设备巡检的技术要求,文中提出并实现了一种新型的基于改进的 OpenWrt^[5] 系统和 Android^[6-7] 系统的电站智能无线巡检机器人^[8]。它可以通过智能手机控制机器人四处移动巡检,开启摄像头背光源,无线传输视频图像到手机上显示,具有携带方便、操作灵活、自动避障^[9]、应用场景广泛等特点。

1 设计背景与方案

该设计中的智能无线巡检移动机器人是具有感知环境能力,并且能对其做出相应反应的,使用基于 Android 的智能手机控制其运动,它与其他移动机器人最大的差别在于能对环境做出反应。

系统的总体方案如下:基本架构分为 2 层,上层以 Atheros 的 AR9331 无线 CPU 为核心,利用 703N 型路由模块为硬件载体,移植入改进的 OpenWrt 嵌入式操作系统,采集 USB 接口传来的电站环境视频信息,并将其通过无线发送给 Android 智能手机实时显示,同时 AR9331CPU 也作为 Android 智能手机与下层 ARM 控制板的连接桥梁。下层以意法半导体的 STM32 型 ARM 芯片为主控芯片,并与外围电路一起构成 ARM 主控制板。STM32 型 ARM 芯片通过 IO 口输出 PWM 信号驱动 4 路直流电机的转速和转向,实现巡检移动机器人的基本运动,同时 STM32 型 ARM 芯片通过串口与 AR9331 型 CPU 建立连接,通过其中转接收来自手机的无线控制命令。STM32 型 ARM 芯片外围电路挂接一个红外测距传感模块、一个舵机转向模块。红外测距传感模块由光电管组成,通过反射红外的变化判断移动机器人前方是否有障碍物。舵机转向模块,通过一定的占空比的方波控制舵机转向的角度,灵活控制摄像头的转向,扩大巡检范围。智能无线巡检移动机器人系统框图及各部分之间的关系如图 1 所示。

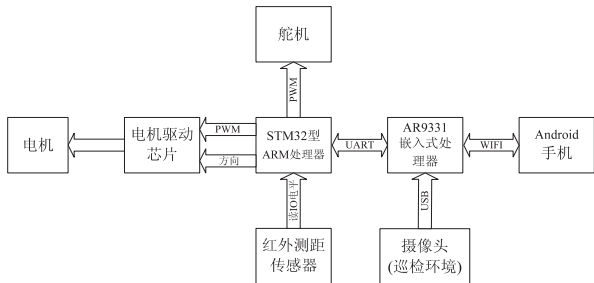


图 1 智能无线巡检移动机器人系统框图

该设计主要分为两部分:

(1)上位机采用基于 Android OS 的智能手机,通过无线与 AR9331 无线路由 CPU 建立连接,采用 http 协议通信获取 AR9331 无线回传的 MJPEG 格式的视

频流。得到 MJPEG 格式的视频流后,再通过解码将视频实时显示在手机上。手机向 AR9331 发送运动指令采用基于 TCP 协议的 Socket 通信,AR9331 转发其收到的指令到 STM32,由 STM32 完成最终控制巡检移动机器人的运动。

(2)下位机采用基于 Cortex-M3 的 STM32 芯片,通过其串口 UART 与 AR9331 建立连接,从而最终完成与上位机的通信工作;通过 STM32 的 PWM 和通用 IO 口功能完成电机驱动、舵机控制、红外检测、开关背光源等功能,从而控制智能无线巡检移动机器人完成电站巡检工作。

2 系统硬件设计

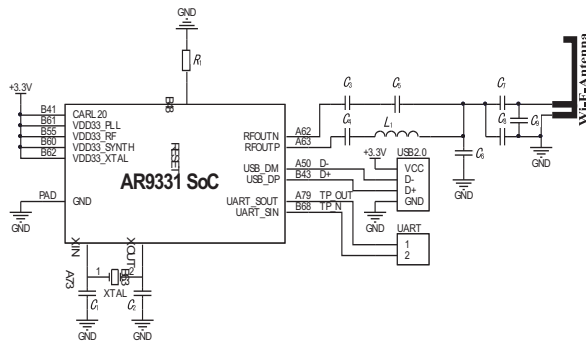
智能巡检机器人需要满足移动灵活、实时采集电站环境视频的巡检工作。这既需要能够控制小车运动的 CPU,也需要能够建立无线网络及处理视频信息的 CPU。

2.1 核心 CPU 单元设计

文中系统选用了以嵌入式处理器 AR9331 和基于 Cortex-M3 的 ARM 处理器 STM32 为双处理器核心的设计方案。嵌入式处理器 AR9331 主要负责视频信息的采集处理与无线传输,STM32 芯片主要负责机器人移动的控制。

2.1.1 Atheros 嵌入式处理器单元设计

无线部分选用以 Atheros 的 AR9331 处理器为核心的 703N 型路由模块为硬件载体。AR9331 是 Atheros 推出的一种单频 500 mW 用于无线路由或 WLAN 设备的主芯片。文中系统在 AR9331 芯片上移植入改进的 OpenWrt 系统,从而实现 USB 视频信号采集及无线通信功能。图 2 所示为实际 AR9331 的处理器单元,使用处理器的无线模块、USB 模块及串口模块。



源和中断延时优化,成为低端微控制器的理想解决方案。

基于上述考虑,系统选用最新的基于 Cortex-M3 内核的 ARM 芯片 STM32F103C8T6 作为无线巡检移动机器人的控制单元,其时钟可达 72 MHz,并且集成丰富的外设资源和多种功能模块,包括定时器、USART、马达/电机控制器、多达 20 KB 的 RAM 和 128 KB 的 Flash。使得系统的设计更加简单,完全满足设计所需功能的要求。该设计中的 STM32 型 CPU 单元设计图如图 3 所示。

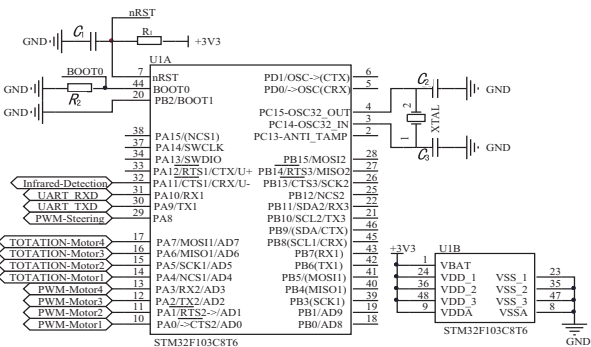


图 3 STM32 型 CPU 单元设计图

2.2 外围电路单元设计

外围电路单元主要包括电机驱动模块、红外测距传感模块、视频采集模块。所有的外围电路单元都是服务于智能无线巡检移动机器人的“智能性”特征。

2.2.1 电机驱动单元设计

电机驱动模块选用的是英飞凌公司的 TLE5205-2 型 H 桥直流电机驱动芯片,设计的电机驱动电路图如图 4 所示。

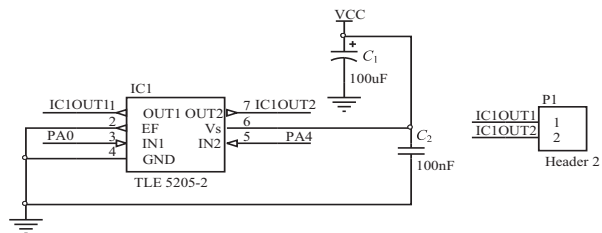


图 4 电机驱动电路图

芯片引脚 IN1 用于控制电机的速度,芯片引脚 IN2 用于控制电机的转向。当引脚 IN1 输入为高电平时,电机停止工作;当引脚 IN1 为低电平时,电机正常工作,此时,若引脚 IN2 为低电平则电机正转,引脚 IN2 为高电平则电机反转。

2.2.2 视频采集模块单元设计

视频模块单元包括舵机模块和摄像头模块。

按照设计要求,文中系统的舵机主要通过 STM32 的 PWM 功能控制摄像头的移动,选用 TOWERPRO 的 SG90 9G 型舵机,它具有如下特点:

(1) 无负载操作速度:0.12 s/60°(4.8 V);0.10 s/

60°(6.0 V);

(2) 扭矩:1.6 kg·cm(4.8 V)。

摄像头模块通过 USB 与嵌入式处理器 AR9331 进行通信。为满足设计要求,需要选用 UVC 驱动的摄像头,经测试,选用了 MD-901 型摄像头,特征参数如下:

(1) 元件像素的最大帧频:30 FPS;

(2) 视频图像捕获画面为 640×480、352×288、320×240、176×144、160×120;

(3) 单帧捕获存储格式:BMP/JPG;

(4) 动态捕获存储格式:AVI。

3 系统软件设计

软件设计是系统的智能化体现。文中设计的软件系统主要包括:改进的嵌入式 OpenWrt 操作系统、OpenWrt 应用程序、外设驱动程序、Android 手机控制程序及 ARM 主控程序。下面将分别介绍。

3.1 嵌入式 OpenWrt 操作系统

嵌入式 OpenWrt 操作系统是一个高度模块化、自动化的嵌入式 Linux^[10-11] 系统,拥有强大的网络组件,并可自定义具有特定功能的嵌入式系统来制作固件,非常适合应用于各种工控设备^[12]、电话、小型机器人^[13-14]、智能家居、路由器及 VOIP 设备中。

系统中的 OpenWrt 操作系统在 Ubuntu 操作系统下的 CodeBlock IDE 集成开发环境下编写,用 OpenWrt Barrier Breaker 编译工具进行编译,再通过终端 Sercuit-CRT 串口向 AR9331 写入系统和程序。手机通过 http 协议及 TCP 协议的 Socket 通信与 OpenWrt 上运行的应用软件建立移动机器人的无线通信,并能够接收处理由 USB 实时采集的视频信息。

3.2 MJPEG 压缩算法

文中设计将 MJPG-Streamer 程序移入 OpenWrt,使 AR9331 能够无线输出 MJPEG 格式的视频。MJPEG 单帧压缩算法为 JPEG。JPEG 压缩原理的理论依据是图像信号频谱线大都分布在 0~6 MHz 范围内,而且一幅图像内大多数为低频频谱线,而高频的谱线只在占图像比例很低的图像边缘或者细微纹理细节的信号时才出现。根据这一特性,在做数字图像处理时对包含信息量大的低频谱区域分配较多的比特数,相反的对于包含信息量低的高频谱区域分配较少的比特数,达到图像压缩的目的,而图像质量并没有肉眼可察觉的降低。

对已获取的数据流按照 JPEG 标准文件头分段,在 Android 平台下编写代码如下:

```
public Bitmap readFrame() throws IOException
{
    mark(FRAME_MAX_LENGTH);
```

```

//在数据流中设置标记,调用 mark 方法
int headerLength=getStart( this,START_MARKER);
//计算文件头长度
reset();
//reset 方法重置数据流指向最后一个标志
byte[] header=new byte[ headerLength];
readFully( header);
try
{
    ContentLength=countContentLength( header);
    //计算数据内容长度
}
catch( NumberFormatException nfe)
{
}
ContentLength=getEnd( this, END_MARKER);
}
byte[] frameData=new byte[ ContentLength];
//存取帧字节数据
skipBytes( headerLength); //跳过文件头字节
readFully( frameData);
ReturnBitmapFactory. decodeStream( new ByteArrayInputStream
( frameData));
}

```

获取每帧数据后继承 Android SDK 中提供的 view. SurfaceView 类与 graphics. Canvas 类,将收到的完整帧图像按队列顺序不间断地显示在视窗框架类中,对人眼视觉帧率超过 5 fps 时即有视频效果,到 25 fps 即是电影流畅度。通过 MJPEG 算法处理过的视频信息能够流畅地在手机客户端上显示,达到了预期的效果。

3.3 Android 手机控制程序

上位机需要向下位机发送指令,并且显示实时视频。在软件设计方采用了包括 UI 线程在内的 3 个线程,分别是 UI 线程、数据发送线程以及视频显示线程。其中 UI 线程负责相应按键和重力感应;数据发送线程负责响应按键传来的数据,并把它传给下位机;视频显示线程则包括 MJPEG 格式的解码以及在屏幕上把图像绘制出来。

3.4 ARM 主控程序

下位机需要接收上位机发送的指令,并做相应的操作控制移动机器人。下位机软件设计的流程图如图 5 所示。主要包括 STM32 初始化、串口接收、PWM 控制、中断控制等软件操作。

4 结束语

文中系统选用 OpenWrt 操作系统,适合电站智能无线巡检移动机器人的设计要求,提高开发效率,并提出应用 MJPEG 压缩算法,提高电站环境视频信息的传

输效率及在 Android 智能手机上的显示流畅性。经过实践调试运行,最终设计如图 6 所示。

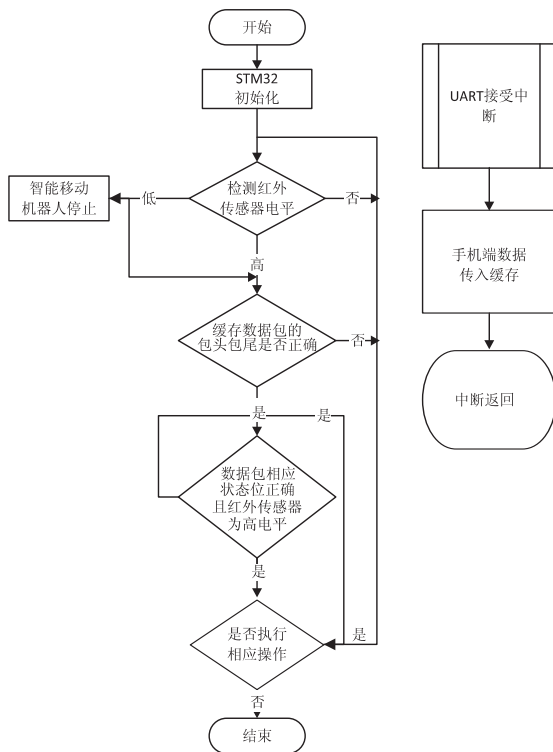


图 5 下位机软件设计的流程图



图 6 智能无线巡检移动机器人最终设计完成图

该机器人能够高效灵活地完成无线巡检任务,并可应用于无线巡检、无线抄表、无线通信、视频采集、探测等多种领域。

参考文献:

- [1] 王建元,王 娟,陈永辉,等.基于图论的电力巡检机器人智能寻迹方案[J].电力系统自动化,2007,31(9):78-81.
- [2] 杨 森,董吉文,鲁守银.变电站设备巡检机器人视觉导航方法[J].电网技术,2009,33(5):11-16.
- [3] 刘 伟,王建平,张崇巍.一种移动机器人对运动目标的检测跟踪方法[J].计算机技术与发展,2009,19(4):105-108.
- [4] 胡 佳,汪 峰.工业机器人路径规划的双目标优化策略[J].计算机技术与发展,2009,19(5):16-18.
- [5] Petullo M. Building custom firmware with OpenWrt add the functions you want, even a media server[J]. Linux Journal, 2010,196:56-57.
- [6] 宋小倩,周东升.基于 Android 平台的应用开发研究[J].软件导刊,2011,10(2):104-106.

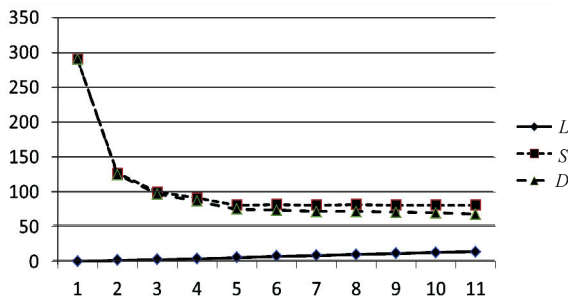


图 4 距离代价函数随 k 的变化

IRIS 数据集的真实分类是 3 类,由上图可以看出,文中的算法在 $k=3$ 处,聚类指数取得最大值,符合数据集的实际情况,而文献[12]的计算结果是 $k=4$,文献[13]的计算结果与实际情况偏差更大。所以文中的聚类指数明显优于文献[12]提出的均衡化评价函数 $J(c,k)$ 和文献[13]提出的距离代价函数 S 。

4 结束语

典型 K -Means 算法随机选择初始中心点,需要多次迭代才能使目标函数收敛,而且容易陷入局部最优解。文中提出的基于分段的初始中心选择算法,有效地将初始中心离散开,使得初始聚类中心很接近最终的聚类结果,减少了迭代次数,提高了算法的效率。为优化 k 值,文中提出的聚类指数,有效地将簇内距离与簇间距离结合起来,兼顾了聚类紧密度和聚类显著度,通过 IRIS 数据集的验证,起到了找到最优 k 值的作用。

参考文献:

[1] Han Jiawei, Kamber M. 数据挖掘概念与技术[M]. 范明, 孟小峰, 译. 北京:机械工业出版社,2001.

[2] 周婷,张君瑛,罗成. 基于 Hadoop 的 K -means 聚类算法的实现[J]. 计算机技术与发展,2013,23(7):18-21.

(上接第 29 页)

[7] Kondo Y, Kawamura M, Takemura K, et al. Gaze motion planning for Android robot[C]//Proc of 6th international conference on human-robot interaction. Lausanne; [s. n.], 2011: 171-172.

[8] 黄彬,付立思. 移动机器人在变电站设备巡检系统中的应用研究[J]. 农业科技与装备,2009(6):58-61.

[9] 单承刚. 嵌入式 Linux 下超声波避障系统设计[J]. 计算机技术与发展,2009,19(6):29-31.

[10] 邹思铁. 嵌入式 Linux 设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

[11] 吴楠,郭培源,陈岩,等. 基于嵌入式 Linux 的机器人通信系统[J]. 计算机工程,2008,34(21):100-102.

[3] Onoda T, Sakai M, Yamada S. Careful seeding method based on independent components analysis for k -means clustering[J]. Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence, 2012,4(1):51-59.

[4] Chen K. On coresets for k -median and k -means clustering in metric and euclidean spaces and their applications[J]. SIAM Journal on Computing,2009,39(3):923-947.

[5] de Amorim R C, Mirkin B. Minkowski metric, feature weighting and anomalous cluster initializing in K -Means clustering[J]. Pattern Recognition,2012,45(3):1061-1075.

[6] Rocci R, Gattone S A, Vichi M. A new dimension reduction method:factor discriminant k -means[J]. Journal of Classification,2011,28(2):210-226.

[7] Shindler M, Braverman V, Meyerson A. Streaming k -means on well-clusterable data[C]//Proc of SODA. [s. l.]:[s. n.], 2011:26-40.

[8] 彭勇,吴友情. 一种新的聚类有效性函数[J]. 计算机工程与应用,2010,46(6):124-126.

[9] 陈舵,李雪,崔杜武,等. 一种基于模糊度的聚类有效性函数[J]. 模式识别与人工智能,2008,21(1):34-41.

[10] Chiang M M, Mirkin B. Intelligent choice of the number of clusters in k -means clustering:an experimental study with different cluster spreads[J]. Journal of Classification,2010,27(1):3-40.

[11] 袁玉波,杨传达,黄廷祝,等. 数据挖掘与最优化技术及应用[M]. 北京:科学出版社,2007.

[12] 汪中,刘贵全,陈恩红. 一种优化初始中心点的 K -means 算法[J]. 模式识别与人工智能,2009,22(2):299-304.

[13] 李永森,杨善林,马溪骏. 空间聚类算法中的 K 值优化问题研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(3):573-576.

[14] MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations [C]//Proceeding of the Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. [s. l.]:[s. n.], 1967:281-297.

[12] Williams J A, Bergmann N W. Embedded Linux as a platform for dynamically self-reconfiguring systems-on-chip[C]//Proc of international conference on engineering of reconfigurable systems and algorithms. [s. l.]: CSREA Press, 2004: 163-169.

[13] Miller D P, Oelke M, Roman M J, et al. The CBC: a Linux-based low-cost mobile robot controller[C]//Proc of IEEE international conference on robotics and automation. Anchorage: IEEE,2010:4633-4638.

[14] Macchelli A, Melchiorri C. A real-time control system for industrial robots and control applications based on real-time Linux[J]. World Congress,2002,15(1):819-819.

电站智能无线巡检移动机器人系统设计

作者：[赵越](#), [高守玮](#), [赵龙龙](#), [袁舰](#), [王孝欣](#), [马世伟](#), [ZHAO Yue](#), [GAO Shou-wei](#),
[ZHAO Long-long](#), [YUAN Jian](#), [WANG Xiao-xin](#), [MA Shi-wei](#)

作者单位：[赵越, 赵龙龙, 袁舰, 王孝欣, ZHAO Yue, ZHAO Long-long, YUAN Jian, WANG Xiao-xin\(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海, 200072\)](#), [高守玮, 马世伟, GAO Shou-wei, MA Shi-wei\(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海200072; 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海200072\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期): [2014\(10\)](#)

引用本文格式: [赵越](#). [高守玮](#). [赵龙龙](#). [袁舰](#). [王孝欣](#). [马世伟](#). [ZHAO Yue](#). [GAO Shou-wei](#). [ZHAO Long-long](#). [YUAN Jian](#).
[WANG Xiao-xin](#). [MA Shi-wei](#) [电站智能无线巡检移动机器人系统设计](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(10)