

# OpenCV 下嵌入式轨道检测小车图像采集 处理系统研究与设计

张雯柏<sup>1</sup>, 柴晓冬<sup>2</sup>, 叶斌<sup>1</sup>, 彭乐乐<sup>2</sup>

(1. 上海铁大电信科技股份有限公司 研究与发展中心, 上海 200070;

2. 上海工程技术大学 城市轨道交通学院, 上海 201620)

**摘要:** 在线路基础设施建设中, 轨道安全维护是急待解决的薄弱环节, 而轨道状态检测是保障列车安全运行的重要手段; 应用 OpenCV 图像处理集, 搭载嵌入式计算平台, 对轨道图像采集处理, 快速的分割并识别出轨道图像中的关键设备状态, 是解决现有轨道检测技术成本高, 效率低的一个重要研究课题; 为研究该课题, 设计了嵌入式轨道检测小车图像采集处理系统, 包括整体系统结构设计、硬件选型与电路设计、软件运行结果测试; 选用 Linux 平台作为处理核心, 用 Cadence 设计 STM32 单片机同步采集触发电路, 设计供电系统电路、优化正交编码电路与信号调理电路, 在  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  系统下编写同步触发采集程序, 完成小车采集系统配置安装与测试, 验证了 OpenCV 程序在嵌入式平台上的工作稳定性以及算法的实用性。

**关键词:** 轨道检测; 嵌入式; OpenCV; 图像采集

## Research and Design of Image Acquisition and Processing System for Embedded Track Detection Vehicle Based on OpenCV

Zhang Wenbai<sup>1</sup>, Chai Xiaodong<sup>2</sup>, Ye Bing<sup>1</sup>, Peng Lele<sup>2</sup>

**Abstract:** In the construction of railway infrastructure, track safety maintenance is a weak link to be solved urgently, and track condition detection is an important means to ensure the safe operation of trains. The application of OpenCV image processing set and embedded computing platform to track image acquisition and processing, fast segmentation and recognition of key equipment status in track image is an important research topic to solve the high cost and low efficiency of existing track detection technology. In order to study this subject, an embedded image acquisition and processing system for track detection trolley is designed, including the overall system structure design, hardware selection and circuit design, and software operation results test. Using Linux platform as the processing core, using Cadence to design STM32 single chip synchronous acquisition trigger circuit, design power supply system circuit, optimize orthogonal coding circuit and signal conditioning circuit, write synchronous trigger acquisition program under the system of C/OS-II, complete the configuration, installation and testing of car acquisition system, and verify that OpenCV program is embedded. The stability of the platform and the practicability of the algorithm are verified.

**Keywords:** track detection; embedded; OpenCV; image acquisition

## 0 引言

安全是中国铁路高速发展的基础, 轨道线路是否处于稳定的状态是列车平稳运行的关键, 因此精准高效的轨道检测技术是保障线路安全的重要技术手段。普遍应用的轨道状态人工检测方式效率低、工作量大, 若将图像检测技术引入到轨道检测中, 由 MCU 处理采集到的图像, 识别出轨道各功能部件的工作状态, 将具有一定的意义, 本文从处理器与传感器选择、电路与系统设计、信号采集与传输

等方面着手研究, 设计并搭建一套适用在轨道线路上推行的轨道检测小车图像采集与处理系统。目前的图像采集方式可以分为两类: 采用通用计算机的图像采集和采用嵌入式设备的采集。随着视觉信号的研究与应用, 一般在 PC 上的图像信息处理与计算不能满足一些需要微型图像处理设备的领域。嵌入式硬件的迅速发展为图像采集微型化提供了条件, 嵌入式的各种特点在结合图像采集技术之后, 能在各个领域实现非常大的突破。嵌入式 Linux 系统发展迅速, 图像设备驱动逐步完善, 开发环境友好, 源代码公开, 受到众多开发者喜爱, 基于嵌入式的图像采集处理方案在各个邻域广泛应用<sup>[1-2]</sup>。

## 1 嵌入式图像处理平台选型

搭建嵌入式平台, 最重要的是处理器选择, 处理器直接决定设备性能, 以及是否能够支持当前应用, 其次才是配置大小合适的存储空间, 以发挥处理器的最大性能<sup>[3-6]</sup>。当前市场处理器有以下选择。

收稿日期: 2018-12-10; 修回日期: 2019-01-18。

基金项目: 博创基金项目(1401801); 西南交大合作智慧水务项目(1200305); 唐山市室内定位重点实验室建设项目(220020502)。

作者简介: 张雯柏(1990-), 男, 河南林州人, 硕士研究生, 主要从事轨道交通信息处理与检测技术方向的研究。

柴晓冬(1962-), 男, 安徽黄山人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事智能信息处理, 包括光信息处理, 信号处理和多媒体通信中的图像加密方向的研究。

### 1.1 嵌入式 ARM 微处理器

ARM (Advanced RISC Machines) 处理器已经成为当今嵌入式应用的主要处理器。ARM 系列处理器是一种有着非常高性能、适用于电池或其他电源供电的的微处理器, 现在已有 32 位和 64 位系列。ARM 系列 CPU 稳定性好、性能高、价格低廉, 支持 16 位和 32 位指令集, 指令运行周期短, 效率高, 在各个领域受到青睐。

### 1.2 嵌入式 MIPS 处理器

MIPS 是美国芯片设计公司, 其设计的芯片采用精简指令系统, 它在处理器市场仅次于 ARM 公司。它是设计高端的 32 位和 64 位嵌入式芯片厂家。MIPS 处理器的内部结构都经过精心改进, 指令执行速度快。其指令系统非常完善, 支持 MIPS16、MIPS32 及 MIPS64。

### 1.3 嵌入式 ARM 微处理器

PowerPC 处理器不多见, 其结构设计由八十年代多家科技企业联合设计, 并最早生产了基于 PowerPC 处理器的通用计算机, 至今, PowerPC 在市场上的比例比较小。

### 1.4 嵌入式 X86 处理器

X86 平台的处理器是大家最早接触的处理器, 通用计算机基本采用 X86 平台处理器, 主流生产厂家是 Intel 和 AMD, X86 因其功耗过高, 无法支撑电池供电, 发热严重, 因此应用受限。

### 1.5 嵌入式 DSP

DSP 有着与 ARM 处理器不分上下的优势, 甚至很多 ARM 处理器内置 DSP 协处理器, DSP 处理速度远远胜过一般结构的处理器, 计算性能极佳。DSP 采用流水线指令系统, 可以让指令并行运行。

在本文嵌入式图像采集系统需要性价比高, 代码执行效率高, 方便安装且能够长期稳定工作的嵌入式芯片。综上所述, 嵌入式 ARM 处理器最适合本课题设计要求。

## 2 嵌入式图像采集硬件分析

系统的硬件结构如图 1 所示, 主要由测量传感部分、采集部分和上位机处理部分构成的。采集系统对摄像机采集到的图像直接传送至嵌入式操作平台, 其他测量单元的信号在进行获取和预处理之后, 通过 TCP/IP 总线发送给嵌入式处理平台。其中, 测量单元主要包括摄像机、光电编码器、陀螺仪、倾角仪、加速度计和 2D 激光传感器, 在同步触发电路的控制下, 实现对轨道状态参数的等距同步测量<sup>[7-10]</sup>。因采集对象包含数字和模拟信号, 为了减小信号间的相互干扰, 采集系统采用基于 M3 内核的两片 ARM 处理器协同工作来实现对测量单元的同步控制。

### 2.1 主控处理板电路

#### 2.1.1 S3C2240 电路

S3C2440 的突出性能是其内核 CPU 设计, 是一个精心设计的 16/32 位 ARM920T 的 RISC 处理器。ARM920T 实现了 MMU、AMBA、BUS 和 Harvard 高速缓冲体系结构。这一结构具有独立的 Cache 和 16 KB 数据 Cache。每个都是由 8 字长的行组成。S3C2440 配备 ARM920t 核心, 工作主

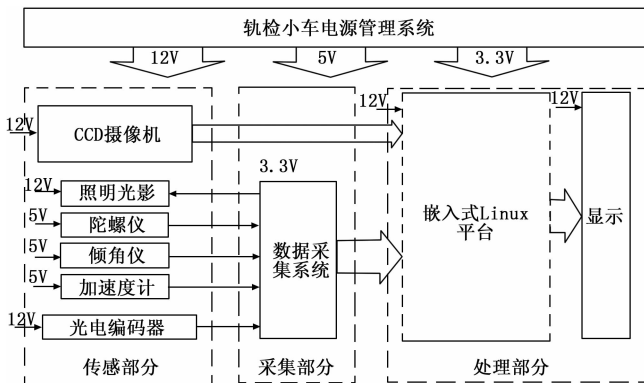


图 1 嵌入式轨检小车系统采集结构图

频高达 400 MHz<sup>[4]</sup>。工作功耗极低, 长时间运行稳定。采用了新的总线架构 Advanced Micro controller Bus Architecture (AMBA)。

#### 2.1.2 SDRAM

S3C2440 内置 4 KB 的 SRAM, 对于运行操作系统的程序来说是远远不够的, 但 S3C2240 支持 SDRAM 接口, 并且会自动刷新, 采用外部 SDRAM 来扩展程序运行内存对于本文设计非常适合。本系统采用两片 K4S561632N, 32MB 的 SDRAM, 总共 64 MB 运行空间, 对于摄像头采集程序足够使用。

#### 2.1.3 NAND Flash 存储器

NAND Flash 存储芯片, 掉电数据不丢失, 可以存储操作系统软件或者应用数据。该类型存储芯片采用并行通讯。读取和擦除速度有限, 并且单片机上电后需要初始化读取接口才能使用。NOR Flash 和 NAND Flash 都为并行通讯接口。NOR Flash 为分离的地址线 and 数据线, 而 NAND Flash 为复用的。查看 Samsung 的 K9F1208 芯片后, 本系统采用这款 NAND 芯片。

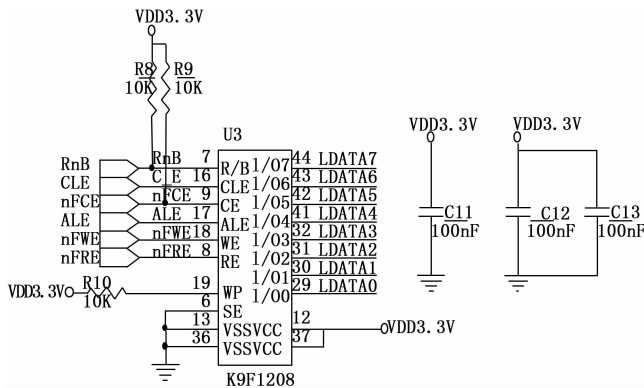


图 2 NAND 闪存电路

K9F1208 是 Samsung 公司生产的 512 Mb (64 M×8 位) NAND Flash 存储器。存储器采用 8 位地址总线也是数据总线, 先给地址总线发送地址, 然后从地址总线读或写数据, 有所降低速度, 但节省硬件接口资源。这款芯片读写时序如下。对该芯片的操作分为写命令、写地址、读写数据。首先执行写入命令, 然后写入 4 字节要操作的地址,

最后读写数据。

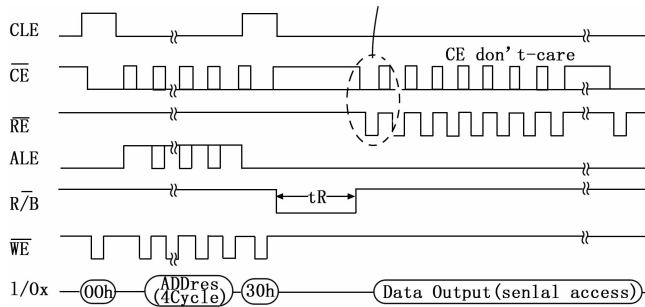


图 3 NAND 读写时序

### 2.1.4 串口通信电路

串行接口是最简单可靠的芯片之间通讯方式，TTL 电平全双工通讯，但是通讯距离短。采用 PL2303 串口转 USB 芯片。PL2303 是一款高效的 USB 转 TTL 串口的通信芯片，该芯片价格便宜，性能优异，支持各种操作系统驱动。外围电路简单，接上几个电容和晶振就能稳定工作。内部将 TTL 收到的数据发送给 USB，同时将 USB 数据发回 TTL 串口，实现全双工通讯，工作全部由器件自动完成，适合在本系统中使用。

### 2.2 触发采集板电路

按照里程位置触发摄像机采集轨道图像是系统设计要考虑的一个重要问题，因此需要设计相应的同步触发与采集电路板系统，保证光电编码器输出脉冲按照设置的周期转为触发信号供 CCD 拍照采集。触发采集电路需要对采集到的光电编码脉冲计算，除对相机触发外，还需对陀螺仪、倾角仪和加速度计惯导系统触发采集，保证轨道图像与空间线形位置对应，是多传感融合计算的前提。考虑到触发信号计算量少，反馈采集的信息包只需要简单的转发，因此

选择 MCU 作为采集板的主控芯片，最后确定使用 STM32 系列芯片。实现脉冲采集需要设计光电编码器对应的正交编码电路；根据陀螺仪是 422 通信输出接口、倾角仪和加速度计是模拟电压输出接口，需要设计对应的 422 接口电路、桥式整流变压采集电路。

正交编码电路主要用到高速光耦光电转换电路。将编码器的三路脉冲先通过 NPN 二极管提升电平后，再输入到光耦隔离芯片，实现光电转化，当输入端高电平时，光耦芯片内部二极管发光，输出端输出高电平；当输入端低电平时，二极管不发光，输出端输出低电平，因此通过该电路可以把信号较弱的输入脉冲变为稳定的高脉冲信号。

422 通信电路使用 ADM2582EBRWZ 芯片数据手册提供的外部电路设计，整流电路使用 MB4S-E3/80 芯片作为整流桥电路，外部匹配相应的电阻，滤波电容装化电压到 ADC 的采集范围内。芯片的供电方案采用多级降压，由锂电池 DC-DC 降压到 12 V，12 V 再降压到 5 V，5 V 再降压到 3.3 V，供板上各部分使用，使用 Cadence 软件绘制 PCB 电路板，实现上述功能。

### 2.3 摄像头采集电路

满足小车运动过程中精确取景，分辨率 1 624×1 234，200 万像素，采样帧率可调最高至 30 fps，ROI 调小获得高帧率，全分辨率取景时最大帧率 14 fps，光电隔离的输出接口，有内部同步触发和外部采集两种触发方式，外部采集处理包括高低电平和上下边沿跳变，以及延时触发等，本系统使用外部边沿跳变的同步触发方式，共同触发相机和其他采样设备，FIFO 空间为在摄像头选型上，选择 MantaG-201C 型 PoE 工业数字相机，采用 Sony ICX274 线性 CCD 逐行扫描成像，32 M，满足设备高速采集中转图像需求。

相机的同步触发电路采用图 5 所示电路结构，输入信号

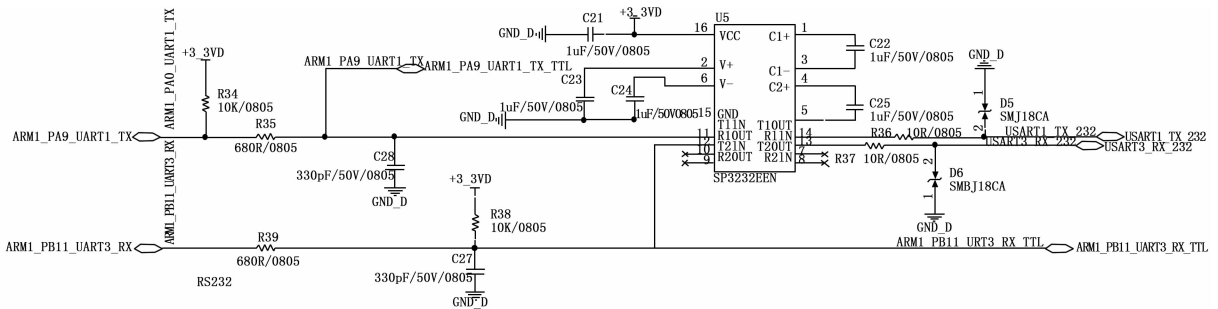


图 4 串口通信电路

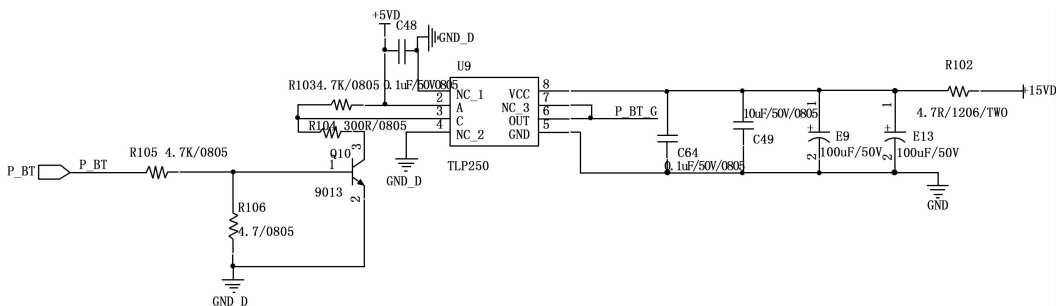


图 5 Manta G-201C 外触发电路

为处理器经过光电编码器编码后的等距离触发信号 P\_BT, 经过 TLP250 功率放大之后, 将信号转换为 12V 触发信号 P\_BT\_G, 触发相机采集。

### 2.4 LCD 显示电路

S3C2440 配备 LCD 控制器模块, 该模块可以独立完成 LCD 通讯协议, 初始化代码中, 根据采用的 4.3 寸屏幕数据手册中要求, 配置 LCD 控制模块的通讯时序参数。LCD 模块才能正确和 LCD 通讯。内存中设定一块显存区域, LCD 控制模块将自动把显存中数据刷新至屏幕, LCD 原理是控制液晶光线透过率来实现彩色调节, 呈现出各种色彩。这样就要求屏幕必须有背部的光源。目前采用的都是 LED 灯光, 安装在屏幕侧边, 照亮整个屏幕, 在屏幕中的 LED 有采用串联和并联两种方式。并联不需要升压驱动, 但是驱动电流大, 串联需要驱动电压高。本系统采用串联 LED 背光的屏幕, 需要升压驱动背光。本系统采用 MP1518 升压器件来驱动 LED 背光, 驱动电流在 10 mA 到 20 mA 的负载。由 S3C2440 芯片输出 PWM 给 MP1518 的 EN 引脚, 根据占空比, 调节背光 LED。

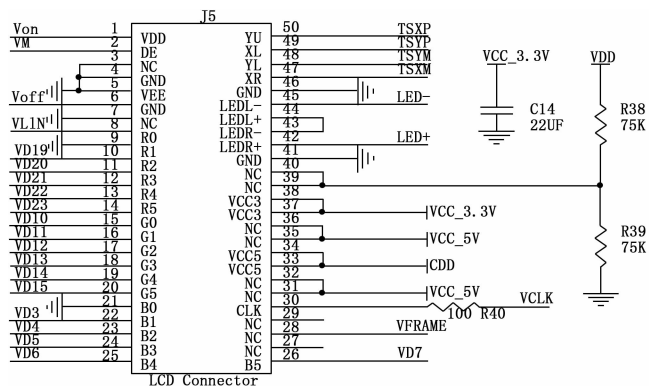


图 6 液晶屏接口电路和屏幕

## 3 嵌入式图像采集软件分析

### 3.1 图像嵌入式采集流程

采用模块化编程思想, 即每个功能由相应的子模块独立完成, 摄像机传感器采集图像的过程, 使用 GetFrame 方法获取图像信息, 本系统将摄像机采图模块常用函数封装到 Cameras 类中, 通过下图实现对摄像机采集功能的控制<sup>[11-12]</sup>。

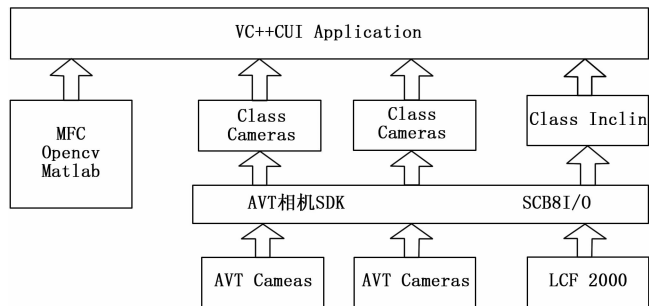


图 7 嵌入式采集处理流程

### 3.2 图像采集程序初始化流程

相机初始化流程: 首先创建对象, 获取相机数目和序

列号, 根据序列号读取对应配置文件, 设置相机格式、传输速度、数据包大小以及时间基, 再设置触发方式, 开辟内存空间读取图像, 启动相机开始捕获。

### 3.3 嵌入式平台下图像采集处理程序整体流程

软件处理流程如下, 调用 Video4Linux (V4L) 接收采集到的图像, 之后传送至 FrameBuffer 帧缓冲空间, 应用程序从缓冲区域读取图片进行处理, 处理过程中调用 OpenCV 库函数与 QT 库, 定位分割之后的轨道图像调用 VBF 图像显示程序, 将图像显示在屏幕上。

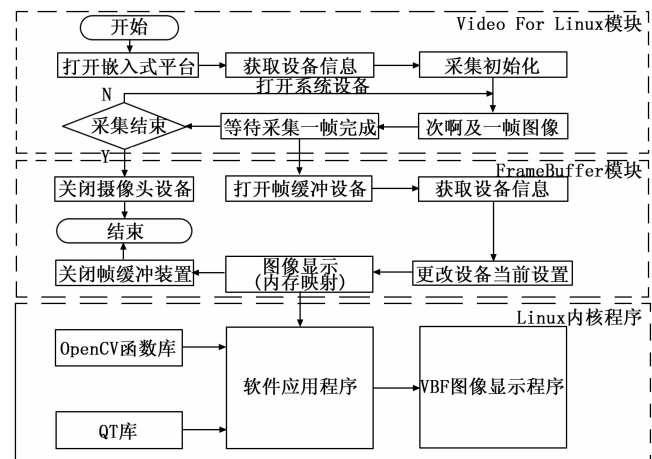


图 8 嵌入式平台图像采集处理流程

Video4Linux (V4L) 是嵌入式 Linux 系统中外部图像采集设备的驱动, 能够为外部采集设备提供所有最基本的程序功能, 加载 V4L 程序可对外部设备的功能进行实现, 在此基础上通过其他接口可以收集采集到的图像数据。

FrameBuffer 是帧缓冲, 缩写为 VFB。FrameBuffer 是标准的字符设备, 是一种图形设备驱动接口, 原理是把其内部的显存抽象成字符设备, 同时准许上层的应用程序获取存储的数据进行读写。作为显示缓冲区, 当在 FrameBuffer 里写入一定格式的数据时, 采集到的图像就再次进行输出显示, 此外, FrameBuffer 与屏幕中的点之间有映射, 每点都有与之一一对应的地址。同 Video4Linux 一样, 在 Linux 操作系统内核中存在着 FrameBuffer 的驱动程序, 所以进行图像显示程序开发时也只需加载相应的驱动程序, 当有新数据写入时, 屏幕图片便会自动进行更新, 系统再另外从 FrameBuffer 中读取数据并将其进行存储即可。

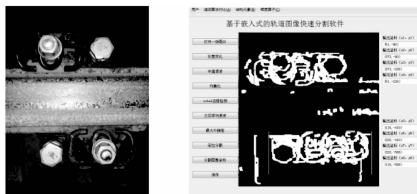
## 4 实验结果与分析

选取三组不同类型扣件的线路进行采集试验, 扣件中心对称、远近距离不同的两组, 扣件水平对称线路一组, 针对不同线路的扣件检测实验结果如下。

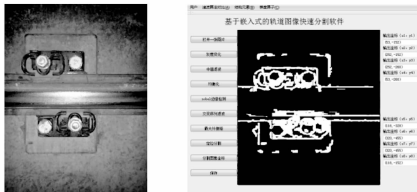
通过多次现场实地线路试验, 设计的采集系统能够稳定的同步采集现场的轨道图像, 变换设置相机的高度与采集角度, 小车能够经过 OpenCV 处理函数快速的定位出扣件特征区域。

## 5 结论

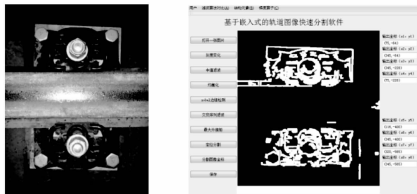
本文描述了搭建与设计嵌入式图像采集处理轨检小车



(a) 扣件1中心对称近距离采集原图与处理结果



(b) 扣件2中心对称近距离采集原图与处理结果



(c) 扣件3水平对称采集原图与软件处理结果

图 9 不同线路状态下扣件的软件处理结果

的过程, 主要包括整体系统结构设计、硬件选型与电路设计、软件运行结果测试等, 设计了嵌入式的图像采集处理轨检小车, 解决了硬件电路的选型与设计问题, 测试了算法运行与嵌入式平台的稳定性。硬件设计上分为嵌入式主控板电路设计与同步采集触发控制板电路设计两大部分, 嵌入式主控板电路设计为集成的 Linux 平台, 采集触发控制板是使用 Cadence 软件自主设计的嵌入式 STM32 单片机电路, 着重分析了主控板上的关键电路, 概述采集触发控制板电路。软件部分主要分析了主板运行程序流程与同步触

发板的  $\mu C/OS - II$  系统控制过程。最后测试了基于 OpenCV 函数库与 QT 平台编写的轨道图像分割软件, 得到轨道图像的分割效果, 测试嵌入式平台的工作稳定性与验证算法的实用性。

参考文献:

[1] 张 磊. 轨道沉降的连续运动测量模型研究 [D]. 上海: 上海工程技术大学, 2016.  
 [2] 周永潇. 基于图像处理的高速铁路轨道检测 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2014.  
 [3] 王 昊. 高速轨道检测图像处理技术 [J]. 铁路技术创新, 2012 (1): 35 - 37.  
 [4] 吴禄祺, 朱 磊, 陈华伟. 基于线阵 CCD 相机的轨道图像采集系统设计 [J]. 铁道标准设计, 2014 (8): 55 - 59.  
 [5] 吴 梦. 轨道缺陷自动检测系统的图像处理技术研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2013.  
 [6] 胡静波. 基于 OpenCV 的嵌入式视频监控系统关键技术的研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2010.  
 [7] 方 华, 郭 静, 田敬北. 基于 OpenCV 的嵌入式图像处理平台的构建 [J]. 无线互联科技, 2015 (3): 53 - 54.  
 [8] 刘福才, 赵佳伟, 汤丽娜. 基于嵌入式 Linux 系统的 Qt/Embedded 图像处理界面开发 [J]. 计算机应用与软件, 2009, 26 (11): 116 - 117.  
 [9] 聂和平. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 系统移植与驱动开发 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.  
 [10] 刘火良, 杨 森. STM32 库开发实战指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.  
 [11] 方玉红. 基于机器视觉的轨道缺陷图像检测系统设计 [D]. 南昌: 南昌大学, 2013.  
 [12] 许贵阳, 史天运, 任盛伟, 等. 基于计算机视觉的车载轨道巡检系统研制 [J]. 中国铁道科学, 2013, 1: 139 - 144.

口抓取数据, 可以实现免登录数据采集。通过实验表明, 与模拟登录的网络爬虫相比, 在保证数据完整性与稳定性的同时, 可以更快地抓取数据。然后, 我们将 Hadoop 平台与免登录爬虫相结合, 利用集群的强大运算能力, 大大增加了数据采集速度。这些数据可以为政府部门进行网络舆情监控提供支持, 还可用于智能推荐系统等。

参考文献:

[1] 曹玖新, 吴江林, 等. 新浪微博网信息传播分析与预测 [J]. 计算机学报, 2014 (4): 779 - 790.  
 [2] 廉 捷, 周 欣, 等. 新浪微博数据挖掘方案 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2011 (10): 1300 - 1305.  
 [3] 黄延炜, 刘嘉勇. 新浪微博数据获取技术研究 [J]. 信息安全与通信保密, 2013 (6): 71 - 73.  
 [4] 孙青云, 王俊峰, 等. 一种基于模拟登录的微博数据采集方案 [J]. 计算机技术与发展, 2014 (3): 6 - 10.  
 [5] Cho J, Garcia - Molina H. Parallel crawlers [A]. International

Conference on World Wide Web [C]. 2002: 124 - 135.  
 [6] DL Quoc, C Fetzer, et al. UniCrawl: A Practical Geographically Distributed Web Crawler [A]. IEEE International Conference on Cloud Computing [C]. 2015: 389 - 396.  
 [7] White T. Hadoop: The Definitive Guide [M]. 周敏奇, 王晓玲, 金澈清, 钱卫宁, 译. Hadoop: 权威指南. 北京: 清华大学出版社, 2015.  
 [8] Ghemawat S, Gobioff H, Leung S T. The Google File System [A]. Proc of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles [C]. 2003, 37 (5): 29 - 43.  
 [9] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters [A]. Proc of 6th Symposium on Operating System Design and Implementation [C]. 2004, 51 (1): 107 - 113.  
 [10] Chang F, Dean J, Ghemawat S, et al. Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data [A]. Proc of the 7th USENIX Symp on Operating Systems Design and Implementation [C]. 2006: 205 - 218.  
 [11] Chuck Lam. Hadoop in action [M]. 韩冀中译. Hadoop 实战. 北京: 人民邮电出版社, 2011.