

基于 Android 系统的矿用钻孔成像仪软件开发*

李旭

(中煤科工集团 西安研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 为进一步加强钻孔精细探测能力, 开发了一款基于 Android 系统的矿用本安型钻孔成像仪软件。通过对现有设备硬件采集到的视频、深度和角度信息做深入的数据挖掘与融合, 实现钻孔图像采集、图像展开、探头姿态、二维轨迹和三维轨迹等多源钻孔观测功能; 设计了一套“映射变换”算法对图像展开功能进行优化, 提升图像展开速度 137%, 实现了钻孔图像展开实时化; 引入基于 JNI 与边缘计算思想的通信接口技术, 将电子罗盘与深度计数器的数据预处理放在硬件接口内完成, 降低主机负载 4.6%。实验表明, 成像仪软件可充分发挥钻孔成像仪主机的硬件性能, 提高井下钻孔观测施工效率。

关键词: 钻孔成像仪; 安卓 APP; 图像展开; Java 本地接口; 轨迹成图

中图分类号: TN98

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191395

中文引用格式: 李旭. 基于 Android 系统的矿用钻孔成像仪软件开发[J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 88-92.

英文引用格式: Li Xu. Development of mining intrinsic safety drill imager application based on Android system[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 88-92.

Development of mining intrinsic safety drill imager application based on Android system

Li Xu

(Xi'an Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to further enhance the ability of detailed drilling detection, a mine intrinsically safe borehole imager application based on the Android system is developed. Through a deeply data mining and fusion of video, depth and angle information which has been acquired, it functions such as video acquisition, image unwrapping, probe attitude, 2d/3d trajectory etc. A set of "mapping transformation" algorithm was designed to optimize the image expansion function and improve the image expansion speed by 137%, real time drilling image development is achieved. The communication interface technology based on JNI and edge computing was introduced, and the data preprocessing of the electronic compass and depth counter was completed in the hardware interface, which reduced the load of the host by 4.6%. The experiment shows that the software of borehole imager allowed full play to the hardware performance of borehole imager and improved the construction efficiency of borehole observation.

Key words: drill imager; Android application; image unwrapping; Java native interface; trajectory drawing

0 引言

钻孔精细探测能够有效掌握煤矿井下巷道的围岩、工作面的断层构造以及上覆岩层导水裂隙带等地质情况, 为巷道的支护设计、瓦斯抽采、巷道修复和围岩注浆加固^[1]等工作提供真实且有效的数据支持^[2]。

钻孔成像技术是一种以光学成像原理为主的成像测井技术^[3-6]。国内外研究全景钻孔成像系统的有中科院武汉岩土力学所、武汉固德、湖北奥诚等相关科研单位, 开发了多款地面钻孔成像仪, 此类产品虽然功能丰富, 但其体积和重量大, 便携性差, 且系统主机未进行防爆测试, 只能用于在地面探测垂直钻孔^[7]; 武汉长盛等

单位也开发了数款适用于井下的钻孔成像器, 但是其功能简单, 只能对简单地质结构进行探测。软件方面, 现有成像仪软件大部分是基于嵌入式系统定制开发的仪器内置系统, 虽然功能比较全面, 但界面比较死板, 操作不便, 且软件升级操作困难, 后期维护成本较高。

安卓系统是目前一款主流的便携式设备操作系统, 具有界面美观、操作简便、开发难度低、可移植性和可维护性强等特点, 但搭载安卓系统的硬件平台一般为低算力、低功耗的移动设备, 因此需要针对不同模块需求设计高效算法, 针对硬件接口设计通信方案^[8], 实现软硬件系统的各项功能。

本文介绍了一款适配于本单位研发的 CXK12 矿用本安型钻孔成像仪的 Android APP, 通过开发一种快速图像展算法和一种集成接口算法, 实现视频观测与预

* 基金项目: 中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金项目 (2018XAYZD11-1)

计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

览、深度角度测量、平面轨迹绘制、三维轨迹绘制、钻孔图像展开、视频与测量数据导出等功能,扩展了钻孔成像仪的应用领域。

1 软件功能

CXK12 矿用本安型钻孔成像仪的连接框图如图 1 所示。

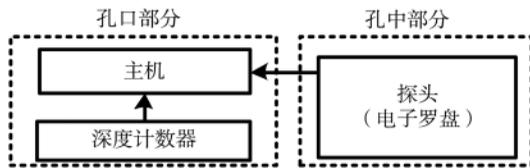


图 1 钻孔成像仪连接框图

其中钻孔成像仪主机为安卓平台的智能平板设备,在孔外对成像仪设备进行控制,在屏幕上实时观测钻孔视频与深度角度数据。深度计数器固定在孔口,用于记录探头深度。探头内置电子罗盘,通过推送杆推送至钻孔内部,用于观测钻孔内部情况。施工中,成像仪主机采集到视频图像与深度角度信息后,通过钻孔成像仪软件进行分析和处理,以多种方式实时展示在主机屏幕上。所有数据同时保存在主机存储器中,可在后期将数据导入 PC 端处理软件进行详细分析处理并生成报告。

钻孔成像仪主机运行在 Android 平台,因此配套软件开发也选用主流的 AndroidStudio 2.2.3,SDK 版本为 Android 6.0。通过分析软件需求,梳理数据之间的融合交互关系,将软件划分为 5 大模块 12 项子功能,软件的开发框架如图 2 所示。

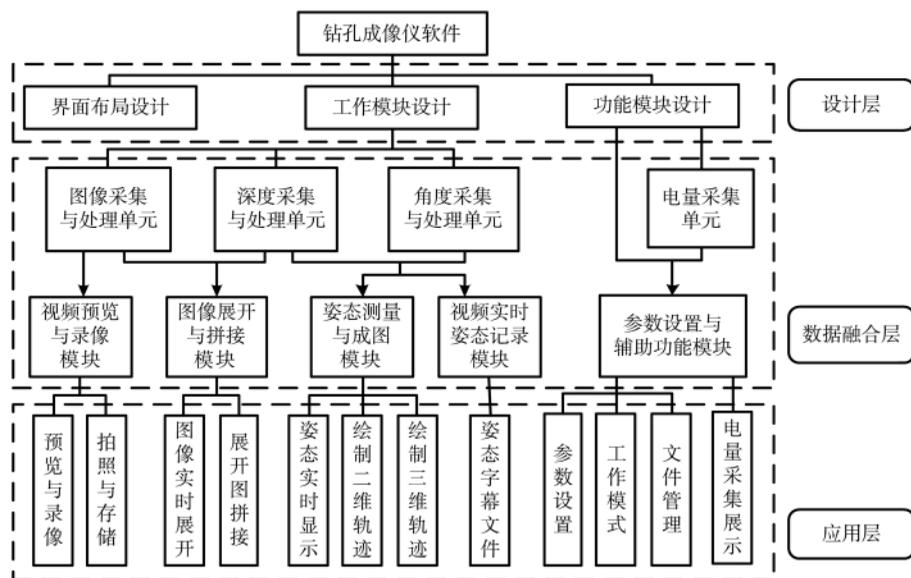


图 2 钻孔成像仪软件框架

成像仪软件对仪器采集到的多源数据进行深入挖掘与整合,可实现对观测钻孔的多维度分析。下面介绍软件主要需求。

《电子技术应用》2020年 第46卷 第10期

1.1 视频预览与录像模块

(1)预览与录像:在施工过程中,探头送入钻孔采集到钻孔内壁视频画面,可直接在主机上进行实时浏览,也可在关键位置或全程录像,导出到 PC 上以后再进行进一步分析处理。录像时会同步启动一个录像计时线程,记录当前录像的时长。由于 Android 系统对单个文件大小有限制,在钻孔成像仪标准分辨率与 H.264 编码格式下,单段视频最长录制时间不超过 30 min^[9],对于长视频,软件会在视频录满 30 min 后会保存并新建一个文件名自增的新视频文件,并自动继续录制,无需用户人工干预。

(2)拍照与存储:Android 系统在录像时会对图像进行一定程度的压缩,因此想要在某一位置获取高分辨率的图像信息,可对关键位置进行拍照。由于 Android 系统的限制,设备在录像时无法直接进行拍照。为了解决这个问题,成像仪软件设计了一种可在录像时拍照的算法,保证用户在不间断录像的情况下对关键位置进行拍照留存。

1.2 图像展开与拼接处理模块

(1)图像实时展开:成像仪软件支持对钻孔进行图像展开观测的工作模式。为提高施工效率,实现边测边展的工作模式,本软件开发了一种“基于 8 位置映射”的快速图像展开算法,使图像展开速度大大提升,满足观测同时对单帧图像进行快速展开的需求。

(2)展开图拼接:为便于技术人员观测,需要对单帧的展开图进行拼接。成像仪软件采用深度测量信息与特征点相结合的方式,实现快速图像拼接功能^[10-11]。对拼接后的图像进行边缘融合和特征增强,突出钻孔内部裂隙、破碎带和突水点等位置的图像分辨率,使图像易于观察。

1.3 姿态测量与成图模块

(1)姿态实时显示:成像仪软件采集深度计数器和电子罗盘的数据,分析整理后实时显示在成像仪软件中,作为钻孔视频资料的辅助参数。本软件采用 JNI 技术,对多源传感器协议与硬件驱动进行整合封装,以统一的内部接口存储和展示深度、角度信息,提升了数据采集效率,保证了姿态数据的实时性。

(2)绘制二维轨迹:成像仪软件在姿态测量模块,允许用户测量指定位置的钻孔姿态,并以测点数据库的

形式存储在主机中。在二维成图时软件对测点数据进行梳理和位置解算,算出测点在三视图上的坐标,调用平面绘图模块对钻孔轨迹进行三视图展示。

计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

(3)绘制三维轨迹:成像仪软件在姿态测量模块,允许用户测量指定位置的钻孔姿态,并以测点数据库的形式存储在主机中。软件通过三维空间坐标解算,计算出钻孔相对孔口的三维空间坐标,调用三维成图模块将钻孔轨迹绘制在三维模型中。

1.4 视频实时姿态记录模块

姿态字幕文件:软件在录像时,系统自动调用字幕记录模块,模块会同步记录当前视频的时间、深度、角度等信息,并编译成常见的视频字幕标准文件,且与当前视频文件同名。用户在播放钻孔视频时,可以同步加载字幕文件,在播放视频时可看到与当前画面同步的深度与角度信息,方便用户观测。

1.5 参数设置与辅助功能模块

(1)参数设置:成像仪软件在施工前,需要对孔号、孔径等多种参数进行预先设置。对同一钻孔进行多次测量时,可自动填入上次参数数据,避免因漏填造成数据丢失。

(2)工作模式:根据不同施工条件,预先设置相应的工作模式。不方便安装深度计数器时,可选择开启“推杆模式”。通过数推杆的方式来粗略记深;在工况较好,适于图像展开观测时,可选择开启“图像展开模式”,记录钻孔内壁展开图,方便后期报告编写时对钻孔进行描述。当钻孔成像仪长期未使用,再次使用时深度测量可能会有误差,可选择“深度校准”对深度计数器进行简易标定。

(3)文件管理:在成像仪软件中内置文件管理模块,对不同视频、录像、轨迹数据、展开图等不同类型的文件按照钻孔号与类型双重索引分类检索,让用户随时查看已完成的内容,检验施工效果。

(4)电量采集与展示:成像仪主机内置电量采集模块,实时采集主机当前电池电压,并根据实时放电曲线推算出当前电量百分比,在低电量时给出告警信息。

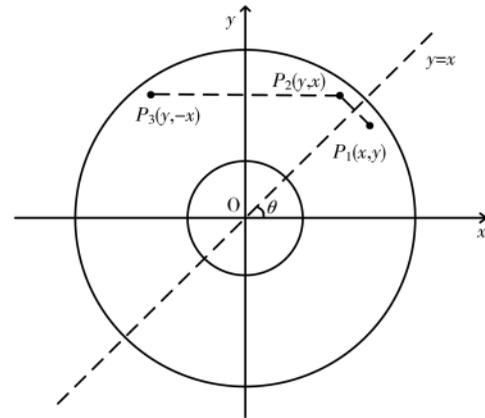
2 技术难点与关键算法

2.1 基于8位置映射的快速图像展开算法

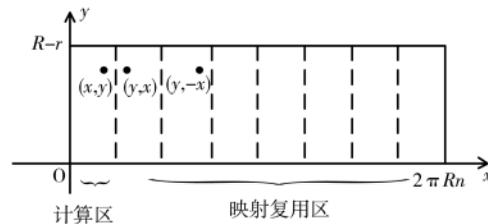
为了适应钻孔成像仪主机图像展开需求,降低在轻量级平台弱算力工况下图像展开速度过慢、CPU负载过高问题^[12],本软件开发了一种“基于8位置映射”的快速图像展开算法,使图像展开速度大大提升,满足观测同时对单帧图像进行快速展开的需求,同时降低了主机在图像展开时的负载和整体能耗。

如图3所示,环状图为摄探头拍摄的钻孔内壁图像清晰部分,环心位于钻孔空心,将其定义为坐标原点,则环状图被 x 轴、 y 轴、 $y=x$ 、 $y=-x$ 4条线分割成8个扇形区域。通过分析成像特征可知,若 $\theta \in [0, 45)$ 区域的点 $P_1(x, y)$ 已知,则图像中其他区域的点均可通过映射变换求得,直接复用结果无需重新计算。该部分伪代码如下:

```
(1) PanoramaImage=ReadPanoramaImage(ImageName);
```



(a)展开前的环状钻孔图像



(b)展开后对应的带状图

图3 快速图像展开算法示意

//读取全景图

```
(2) UnfoldImage=new Image[][];
//初始化一张空白展开图
(3) For(r=Rmax to Rmin) do //双重循环
(4) For(alpha=0 to 45) do
(5) {
x=r*cos(alpha); //坐标计算
y=r*sin(alpha);
(6) endFor;
(7) endFor;
(8) set UnfoldImage[x][y]=PanoramaImage[r][alpha];
//复制计算区像素
set UnfoldImage[y][x]=PanoramaImage[r][alpha+45];
//像素映射
set UnfoldImage[y][-x]=PanoramaImage[r][alpha+90];
//像素映射
set UnfoldImage[-x][y]=PanoramaImage[r][alpha+135];
//像素映射
set UnfoldImage[-x][-y]=PanoramaImage[r][alpha+180];
//像素映射
set UnfoldImage[-y][-x]=PanoramaImage[r][alpha+225];
//像素映射
set UnfoldImage[-y][x]=PanoramaImage[r][alpha+270];
//像素映射
set UnfoldImage[x][-y]=PanoramaImage[r][alpha+315];
//像素映射
(9) ShowImage(UnfoldImage); //显示带状展开图
新算法将图像展开中 CPU 负载最大的像素平移工
```

计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

作缩减为传统算法的八分之一,大大提高了图像展开效率。

2.2 基于边缘计算的 JNI 通信接口驱动层协议解析算法

为满足钻孔成像仪对多源数据的采集需求,主机配备了电子罗盘、深度传感器等多种外部设备,通过RS232和RS485标准通信协议与主机进行通信,但Android系统并没有直接的底层接口来对接上述协议,因此需要在成像仪软件中对外部接口进行封装。

JNI是一种允许Android上运行其他语言代码的接口技术^[13],成像仪软件运用JNI技术,将原来由C语言编写通信协议驱动文件封装成Android通用接口,实现采集多源传感器数据。

由于C语言编译运行效率远高于Android系统所用的Java语言,因此成像仪软件引入边缘计算思想,将传感器采集到的数据在C语言编写的驱动层先进行整合和预处理,计算出结果后再向Android系统接口传递。接口部分软件框架如图4所示。

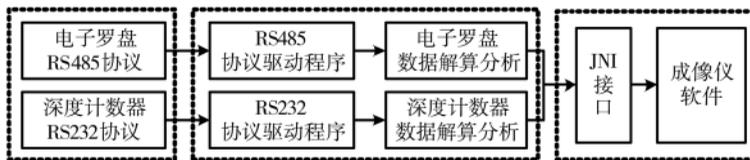


图4 成像仪软件接口框架图

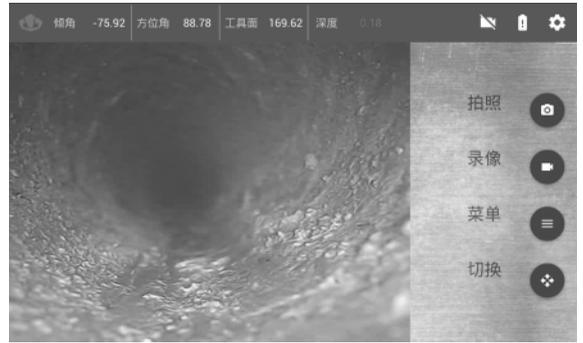
3 试验与仿真

3.1 软件功能试验

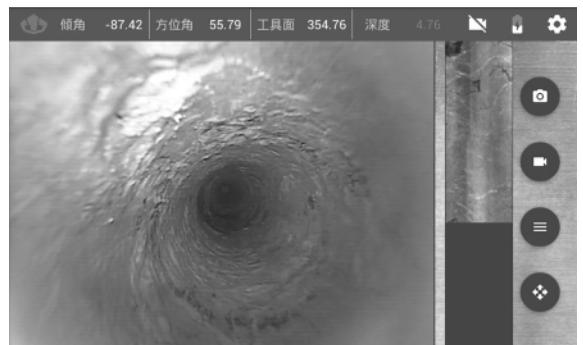
CXK12 钻孔成像仪搭载本软件在陕北禾草沟煤矿、禹州云盖山煤矿、河南赵固一矿等地多次进行井下施工作业,对设备软硬件各项功能进行详细测试。用户将探头放入钻孔后,点击“拍照”或“录像”按钮,即可进行拍照和录像;点击“菜单”按钮,界面左侧会滑出侧滑菜单,可对软件各项功能进行控制;点击“切换”按钮,可在视频观测、图像展开、轨迹测量和三维成图等多种功能模块之间切换。图5展示了现场试验过程中软件在视频预览、角度深度测量、图像展开及三维轨迹成图的观测效果。实验表明,软件各项功能均符合设计预期。

3.2 软件性能仿真

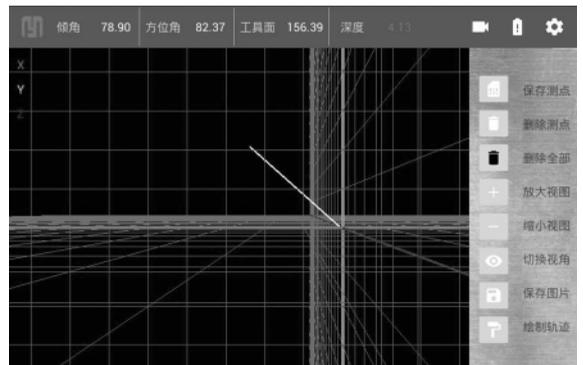
为测试软件主要模块的性能,本文对其中的关键算法进行了性能仿真。



(a) 视频预览功能



(b) 图像展开功能



(c) 三维成图功能

图5 软件功能界面

3.2.1 快速图像展开算法性能仿真

为了测试快速图像展开算法的效率,本文将其与经典图像展开算法在不同分辨率图片下的时间消耗与CPU负载做了对比。为了保证仿真精度,设置了程序的线程优先级,并在低负载的情况下完成测试。仿真数据如表1所示。

表1 两种图像展开算法性能对比

图像分辨率	展开部分像素数/个	经典算法展开时间/ms	新算法展开时间/ms	时间性能提升/%	经典算法CPU负载/%	新算法CPU负载/%	CPU负载降幅/%
320×240	25 334	5.84	2.57	127.2	25.07	22.67	10.6
400×300	45 946	11.12	4.88	127.9	24.76	22.65	9.3
640×480	135 264	21.45	9.05	137.0	24.81	23.31	6.4
800×600	217 712	61.31	25.5	140.4	24.86	23.55	5.6
1 024×768	364 789	108.01	41.18	162.2	24.83	23.93	3.8

表2 两种方案对系统性能的影响

采样频率/Hz	数据吞吐量/(B/s)	应用层解析算法 CPU 负载/%	驱动层解析算法 CPU 负载/%	CPU 负载降幅/%
1	130	8.74	8.71	0.2
5	650	8.91	8.81	1.1
10	1 300	9.40	8.96	4.6
25	3 250	10.22	9.37	8.3

仿真数据表明,随着图片分辨率的增加,映射复用部分的像素数量越来越大,所以新算法展开速度的优势越发明显。但由于 CPU 负载主要体现在像素点内存拷贝消耗,因此在针对不同分辨率图片的展开过程中,CPU 负载变化不明显,但从整体来看,比起经典算法,CPU 负载仍然有小幅下降。成像仪采集到的视频为 640 像素×480 像素图像,快速图像展开算法在进行图像展开时,可提升 137% 的图像展开速度,降低 6.4% 的 CPU 负载。

3.2.2 驱动层协议解析算法性能仿真

成像仪软件中需要采集并解析来自外部传感器的数据,这些数据通过 RS232 与 RS485 协议传输,使用 C 语言驱动通过 JNI 接口封装成 Android 系统接口。通过查看 Android 系统内置 CPU 分析工具来比对将协议解析过程内置在 C 语言驱动层和放置在 Android 应用层的用户进程 CPU 负载,观察两种方案对软件处理性能的影响。仿真数据见表 2。

移动平台对串口协议数据的解析需要进行缓冲池操作^[14]。数据包存入缓冲池中,程序通过双重循环在缓冲池中检索帧头帧尾和校验位。解析算法放在 Android 应用层,对每帧数据都要对整个缓冲池进行一次双重循环检索。若解析算法放在驱动层,每次对缓冲池的扫描可同时解析出所有数据,并且由于通信接口是封装在外部 so 库中,在软件运行之前,会对代码中的所有外部库函数提前编译,因此也会降低软件在运行时的 CPU 负载。

仿真数据表明,外部传感器采样频率越高,驱动层解析算法对 CPU 的负载降低越明显。成像仪电子罗盘的采样频率为 10 Hz,在软件使用融合边缘计算的驱动层 JNI 协议算法时,可降低约 4.6% 的用户进程 CPU 负载。

4 结论

本文开发了一款适配 CXK12 矿用钻孔成像仪的安卓软件,实现了视频观测、图像展开、轨迹测量和二三维成图等多种功能。为使软件在低功耗主机上流畅实现图像展开功能,开发了一种基于 8 位置映射的快速图像展开算法,通过映射变换实现了钻孔环状图快速展开;为降低外部传感器数据采集功能的系统负载,开发了一种融合边缘计算的 JNI 通信接口驱动层协议解析算法,将协议解析工作前置到接口驱动层内完成,提升了数据采集预处理效率。在后续软件版本开发中,应对二三维轨迹成图功能进行预编译封装,进一步降低系统负载,从而提升软件对高分辨率视频的处理能力。

参考文献

- [1] 展明鹏,赵敏.钻孔摄像技术在巷道围岩控制中的应用[J].煤炭技术,2016,35(2):102-104.
- [2] 张创业.钻孔测井技术在矿井地质勘查中的研究与应用[J].能源技术与管理,2019,44(1):31-33.
- [3] 王川婴,邹先坚,韩增强.基于双锥面镜成像的钻孔摄像系统研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(9):2185-2193.
- [4] 马峰,陈刚,胡成,等.利用钻孔成像研究基岩地区的渗透张量变化规律[J].岩土工程学报,2011,33(3):496-500.
- [5] 钟声,王川婴,吴立新,等.钻孔雷达与数字摄像在地质勘探中的综合应用[J].地球物理学进展,2011,26(1):335-341.
- [6] 查恩来.钻孔电视成像技术在工程探测中的应用研究[D].长春:吉林大学,2006.
- [7] 王宏志.地面窥视钻孔采动破坏机理及覆岩活动规律反演研究[D].徐州:中国矿业大学,2018.
- [8] 王腾飞,张瑞权,李建宏,等.基于边缘计算的计算即服务模式[J].电子技术应用,2019,45(5):74-77.
- [9] 孙京.H.264 视频压缩模块软件系统的设计与实现[D].北京:北京工业大学,2016.
- [10] PANDEY A, PATI U C. Image mosaicing: a deeper insight[J]. Image and Vision Computing, 2019, 89: 236-257.
- [11] 喻洋,梁栋,冯晓文,等.反射式全景视频实时平面显示技术的 FPGA 实现[J].电子技术应用,2011,37(1):45-48.
- [12] 朱齐丹,马宏业,左小祥.全景摄像系统中展开图像的电子稳像方法研究[J].计算机应用研究,2009,26(3):1192-1194.
- [13] 罗尹奇,刘力银.基于 JNI 的 Java 串口通信系统的设计与实现——以 Windows 平台为例[J].电脑知识与技术,2017,13(34):51-56.
- [14] 柴继国.嵌入式系统内存管理的研究与实现[D].成都:电子科技大学,2006.

(收稿日期:2019-12-19)

作者简介:

李旭(1985-),男,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向:地球物理勘探仪器的软件开发及相关算法。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所