

# 基于超分辨率重建的智能显示终端系统的设计 \*

张银胜<sup>1,2</sup>,徐文校<sup>2</sup>,史艳高<sup>3</sup>,单慧琳<sup>1</sup>

(1.无锡学院 电子信息工程学院,江苏 无锡 214105;  
2.南京信息工程大学 电子与信息工程学院,江苏 南京 210044;  
3.南京邮电大学 电子与光学工程学院,江苏 南京 210023)

**摘要:** 智能显示是将发送端(手机、电脑等智能显示设备)屏幕画面在其他智能显示设备上投放显示,是提升用户视觉感受、信息实时共享的重要途径。对于传统智能显示系统,受其传输、环境、硬件设备等影响,大多数图像或视频在数据传输过程中会丢失少部分高频信息,除此之外还伴随着设备复杂、功能单一等情况。提出一种以Wi-Fi作为连接技术,以超分辨率重建作为图像、视频再处理技术的智能显示系统,该系统通过Wi-Fi连接个人电脑或手机,对待投图像、视频等文件进行超分辨率重建后显示共享,在智能共享同时用户可以同步在显示屏进行标注、绘图等。测试结果表明,该设计具有投显示画面分辨率高、操作简便、灵活度高等特点。

**关键词:** Wi-Fi; UDP; JPEG解码; 超分辨率重建

中图分类号: TN92

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.212087

中文引用格式: 张银胜,徐文校,史艳高,等. 基于超分辨率重建的智能显示终端系统的设计[J]. 电子技术应用,2021,47(11):58-61,67.

英文引用格式: Zhang Yinsheng, Xu Wenxiao, Shi Yangao, et al. Design of intelligent screen projection system based on super-resolution reconstruction[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11): 58-61, 67.

## Design of intelligent screen projection system based on super-resolution reconstruction

Zhang Yinsheng<sup>1,2</sup>, Xu Wenxiao<sup>2</sup>, Shi Yangao<sup>3</sup>, Shan Huilin<sup>1</sup>

(1. College of Electronic Information Engineering, Wuxi University, Wuxi 214105, China;  
2. College of Electronic and Information Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;  
3. College of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Screen projection is to display the screen of the sender(mobile phone, computer and other intelligent display devices) on other intelligent display devices, which is an important way to improve users' visual experience and real-time information sharing. The traditional screen projection system often adaptively adjusts the size of the image according to the size of the display device, which is easy to cause the phenomenon of fuzzy display content and uneven color distribution of the picture. In addition, it is also accompanied by complex equipment and single function. This paper proposes an intelligent screen projection system with Wi-Fi as the connection technology. The system connects to personal computers or mobile phones through Wi-Fi, and performs super-resolution reconstruction of images, videos and other files before screen sharing. During screen sharing, users can simultaneously mark and draw on the display screen. The test results show that this design has the characteristics of high resolution, easy operation and high flexibility.

**Key words:** Wi-Fi; UDP; JPEG decoding; super-resolution reconstruction

## 0 引言

伴随着物联网技术的发展,在万物互联的情景中,信息的获取途径日趋丰富。当人们发现重要的信息时,存在信息共享的需求,其中图像、视频等信息因其直观、信息量大而成为主要的信息载体,在会议室或者教室等应用场景,实现上述信息的快速、实时且高质量共享是

## 主要目标。

信息共享显示<sup>[1]</sup>采用有线的方式时设备复杂,会出现束缚用户的自由等问题。目前主要采用无线显示技术<sup>[2]</sup>,有微软的Miracast<sup>[3]</sup>和苹果的AirPlay<sup>[4]</sup>。目前市面上的无线显示设备一般以智能电视、液晶显示器为显示终端,其体积较大不便移动,在功能上一般将发送端

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(61372128);教育部协同育人项目(202002179030);南京信息工程大学滨江学院科研与教研项目(2020yng001,JGZDI20190)

的画面传送给显示端。受其硬件设备、传输环境的限制，在数据传输过程中，会丢失少部分高频信息，导致画面模糊、色彩分布不均匀等情况，同时显示终端无触摸功能，无法在显示终端进行标记、绘图等操作。上述常规技术虽能基本实现信息的无线显示，但存在设备复杂、高质量图像显示延迟时间较长、画面质量差、系统灵活性弱等缺点。本文设计了一种智能显示终端系统，在实现信息共享的基础上保证画面质量的同时还能够拥有信息标注等功能，大大提高了智能显示系统的灵活性，实现了终端的智能化和信息传达的高效率。

## 1 基于深度学习的超分辨率重建技术

### 1.1 超分辨率重建技术简介

分辨率代表了图像的精密度，分辨率越高，其图像显示效果越精细、越细腻。超分辨率重置简而言之就是将低分辨率图像用超分辨率<sup>[5]</sup>技术转换成高分辨率图像，在数据传输过程中丢失的少部分高频信息可借用超分辨率重建技术恢复。常见的超分辨率重建方法有基于插值的方法<sup>[6]</sup>、基于重构的方法<sup>[7]</sup>以及基于深度学习的方法<sup>[8]</sup>等。

基于插值的方法是依据低分辨率图像的邻近像素点值插入新像素点重构成高分辨率图像，此方法虽计算复杂度低，但在高频部分易产生虚影。基于重构的方法是通过分析高分辨率与低分辨率的像素值联系，建立模型，在重建方面，其效果好于基于插值的方法，不过计算耗时长，在建立模型方面存在一定的困难。

基于深度学习的超分辨率重建方法其本质为通过卷积神经网络等网络来建立低分辨率图像与高分辨率之间的映射关系。将人工智能与计算机视觉相结合，让机器通过不断学习图像高分辨率与低分辨率之间的关系去重构高分辨率图像成为了广大学者的研究方向。

### 1.2 理论算法

通过卷积神经网络建立高分辨率图像与低分辨率图像之间映射关系是基于深度学习超分辨率重建的常见思路，其步骤大致分为预插值、特征提取、特征映射、重建高分辨率图像四部分，其网络结构如图1所示。

预插值是使用某种插值方法将低分辨率图像扩大至所需的目标尺寸，对输入图像进行预插值处理后，插值过程引入的误差会在一定程度上会对重构效果造成一定的影响，同时计算复杂度会大大增加，导致模型的收敛速度慢<sup>[9]</sup>，对视频图像等基本不能做到实时的超分辨率重建。针对提高模型的收敛速度，对视频文件做到实时超分辨率重建，丢弃对原始图像的预插值处理操作，引入亚像素卷积层<sup>[10]</sup>，网络结构如图2所示。

对输入的低分辨率图像直接经过卷积操作时需保证图像的大小不变，通道数变为 $\gamma^2$ ( $\gamma^2$ 是图像的放大倍数)。对所得到的特征图经过亚像素卷积上采样后得到高分辨率图像。该网络结构只是在模型的末端进行上采样，与直接对输入的原始图片预插值处理相比，在低分辨率空间保留了更多的细节特征。同时，亚像素卷积是将多通道特征图上单像素点排列成像素块，并不是真正的卷积运算，是一种像素重排算法，具有快速、高效等特点。亚像素卷积层的引入大大加快了神经网络模型的收敛速度，对视频的超分辨率重建能够真正做到实时、高效。

### 2 硬件方案与设计

Wi-Fi技术具有无需布线、频段无须许可证、覆盖范围广、传输速率快、安全性高、辐射性低、信号稳定等特点，本设计基于Wi-Fi技术，实现对信息内容的无线显示。

系统分为发送端和数据接收端，发送端一般是个人电脑(PC)、平板或手机等设备；接收端为显示终端，显示终端由主控制器、Wi-Fi模块和显示模块三部分组成。发送端将图像或视频等信息传给显示终端，显示终端接

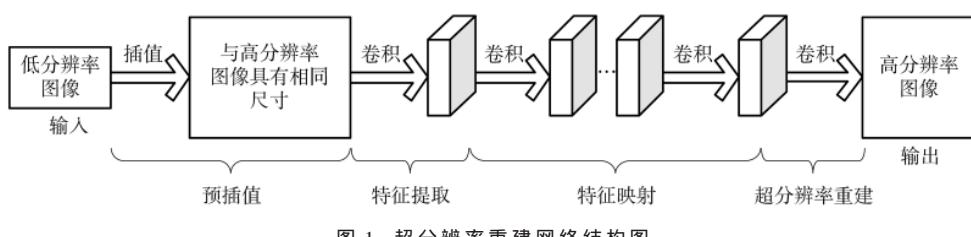


图1 超分辨率重建网络结构图

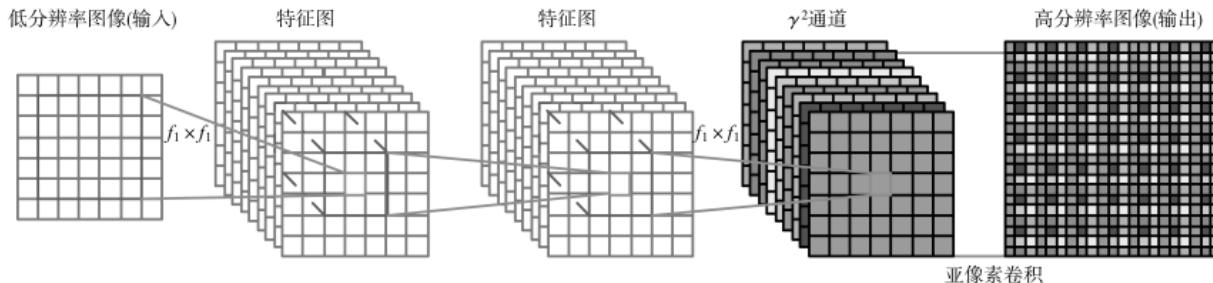


图2 亚像素卷积网络结构图

收后进行超分辨率重建并显示,实现图像、视频、文档文件的高质量投屏共享,显示终端具有的双向传输、支持触摸等功能,使得在信息共享的基础上,还能同步进行信息标注等操作,真正实现终端的智能化。系统框图如图3所示。

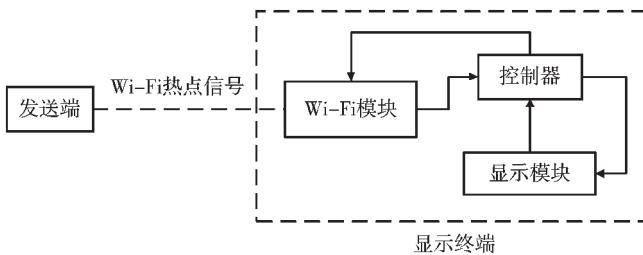


图3 系统框图

系统主控制器采用博通公司的BCM2837处理器,内嵌1.2 GHz主频的ARM Cortex-A53 CPU<sup>[11]</sup>,支持触摸功能的HDMI显示接口。Wi-Fi模块采用RAK421 Wi-Fi模块,传输速率大于4 Mb/s,支持多达8个Socket的连接,满足一对多显示要求,采用串行外设接口(SPI)<sup>[12]</sup>通信协议驱动,BCM2837通过SPI接口与其连接,发送SPI指令实现配置,使其工作在AP热点模式,从而构建无线局域网。显示模块利用BCM2837的HDMI接口驱动显示器,实现信息的传输及显示。显示模块通过USB接口与主控制器连接,实现传输触控点坐标等数据。显示终端硬件框图如图4所示。

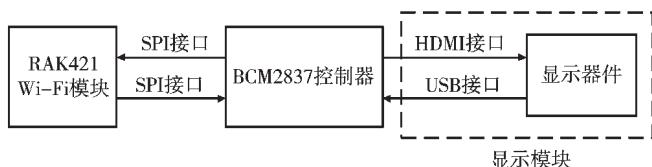


图4 显示终端硬件框图

### 3 系统实现具体方法

开发环境为Linux系统及Python编译环境。系统在发送端运行Python编写的脚本代码,实现对发送端桌面的实时截取,截取的JPEG图像等数据通过建立的Socket

和UDP/IP服务器进行传输,UDP服务器通与显示终端的IP地址和端口进行连接来发送数据。在接收端运行Python编译的脚本代码,实现对发送图像等数据的接收和超分辨率重建。

Wi-Fi模块内部集成TCP/IP<sup>[13]</sup>协议栈,通过SPI接口与主控制器连接。主控制器根据SPI的通信协议通过SPI接口给Wi-Fi模块发送SPI指令去配置Wi-Fi模块的工作方式。发送端连接Wi-Fi模块发出的热点信号后开始下一步数据的传输工作。

UDP服务器实现实时画面数据的获取与传输任务<sup>[14]</sup>,其基于UDP/IP传输协议实现,与TCP/IP相比,传输速度更快。工作流程分为获取图像文件、创建Socket和建立UDP数据传输等,图像的截取须导入ImageGrab库,调用函数ImageGrab.grab来实现,实现语句如下:

```
bbox=(0,0,1920,1080)
```

```
im=ImageGrab.grab(bbox)
```

要建立Socket,首先须选择Socket类型以及将连接方式设置为UDP,进行接收端IP和端口号设置,设置文件路径和文件相关信息后,调用Send()函数来发送数据。

UDP客户端主要实现数据的接收、解码、超分辨率重建、显示以及记录备注坐标等,UDP客户端程序设计与服务器发送程序不同,需要绑定本机的IP地址和端口号。接收端在接收数据后,对JPEG图像数据解析后<sup>[15]</sup>再保存。

将解码后的每一帧图像数据输入到训练好的超分辨率重建网络中重建得到高分辨率图像。高质量图像由颜色示意亮度Y和色度Cr、Cb组成,主控制器在图像超分辨率重建后输出YCrCb数据,HDMI接口支持直接输出YCrCb数据,其显示驱动包括行场计数器、行场同步信号发生器、显示有效信号发生器、数字视频信号发送器和音频信号发送器。YCrCb数据在行信号和场信号有效的时候显示。

在显示画面进行标注时,显示模块触控检测芯片,通过USB接口对主控制器输出触控点的坐标,主控制器在本地记录保存坐标数据,在坐标点进行画点、画线等图形操作,同时实现显示终端对图像等的标注功能。系统原理图如图5所示。

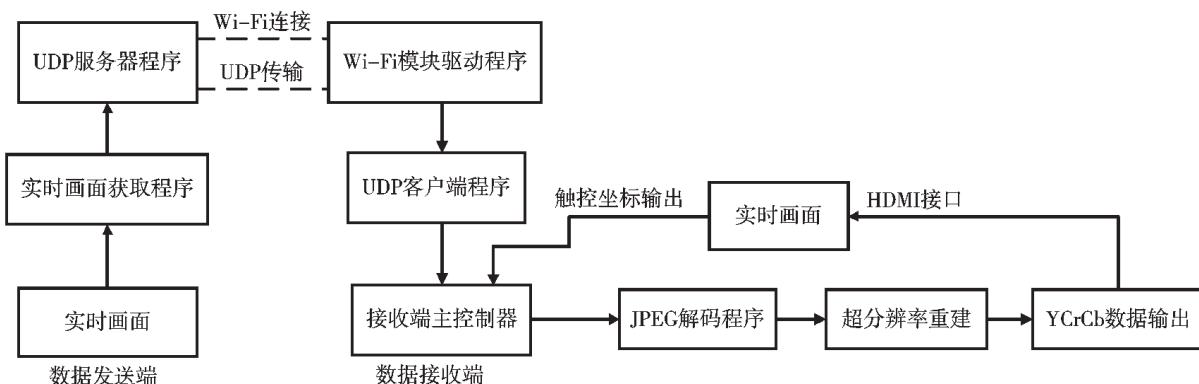


图5 系统原理图

## 4 测试结果显示

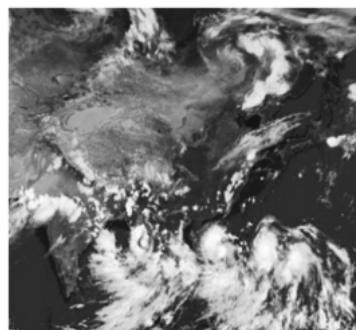
系统测试分为软硬件测试,其中软件测试在VS2017软件环境下用Python语言编写发送端和接收端运行的脚本文件。发送端脚本文件实现图片的截取、UDP服务器的搭建、制定传输格式的功能;接收端脚本文件实现图片数据的接收、解码、超分辨率重建、读取显示以及记录备注坐标的功能。测试各部门功能的实现,主要分为桌面数据的截取调试、建立UDP服务器调试、UDP数据发送调试、接收端数据接收调试、接收端图像数据超分辨率重置调试以及显示调试等部分。

硬件测试时,测试前连接Wi-Fi模块的热点,建立数据传输链路,发送端运行图像或视频文件对应的脚本程序,接收端运行数据接收、高清分辨率重建和显示的脚本程序,主要测试图像分辨率。

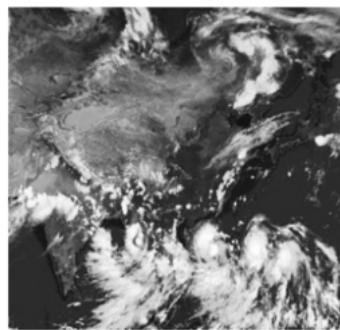
考虑到智能显示终端的实际应用,对常见的图像信息(风云2号气象卫星所拍气象云图和某公司报表)进行智能显示,采取发送端发送图像,接收端接收到发送来的图像后进行直接显示和采用超分辨率重建技术后显示的对比。从图6、图7看出,直接显示的图像相较于发送前图像变得更为模糊,超分辨率重建后的图像分辨率更高,得到的细节特征更为明显。对比显示时间,超分辨率重建后同步显示延迟时间小于0.001 s,为毫秒级别,证明了本系统实现了图像或视频文件的高质量共享并具有传输速度快、系统稳定等优点。

## 5 结论

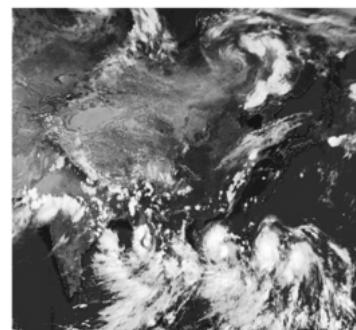
Wi-Fi技术传输适合用于图像、视频等大数据量文件的传输。在传输过程中受诸多因素影响(如显示设备、空气干扰等),会导致图像、视频质量下降,超分辨率重建技术能够将低质量图像、视频转化成高分辨率、高质量图像、视频。本文设计的无线智能投屏系统运用了超分辨率重置技术,能够实现对于图片、视频等的高质量无线投屏显示,且能同步在显示端进行标注等操作。相比于传统的有线传输、2.4G传输、GPRS传输等方式,本设计具有设备成本低、信息共享质量高、稳定性好、速度快、触控坐标解析功能等特点,适合应用在室内办公、会议室、课堂和家庭等场景。随着蓝光等视频的出现,基于



(a)发送端图像



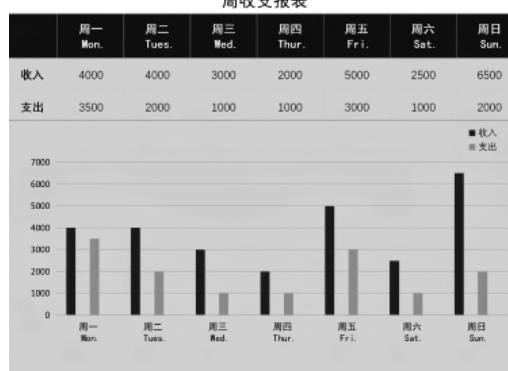
(b)直接显示图像



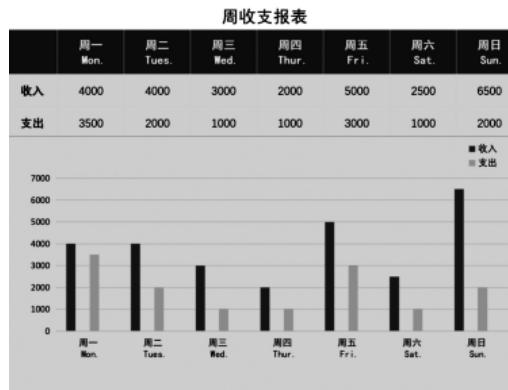
(c)超分辨率重建图像

图6 气象云图

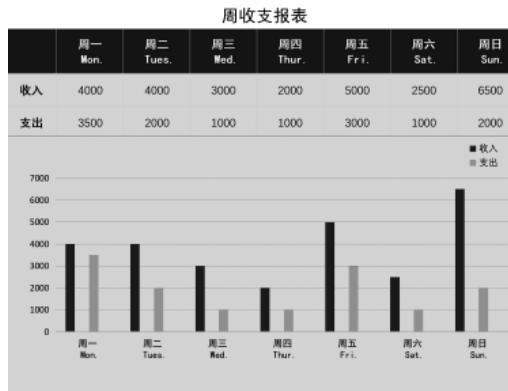
(下转第67页)



(a)发送端图像



(b)直接显示图像



(c)超分辨率重建图像

图7 某公司报表

### 3.4 硬件实现资源使用情况

采用如图 4 所示的自适应定阶快速 Burg 算法的实现方案在 Xilinx Virtex7 实验平台上做了仿真测试, 综合结果如表 4 所示。

表 4 资源使用情况

FPGA 资源	已用	可用	利用率/%
Number of Slice Registers	3 435	1 424 000	0.2
Number of Slice LUTs	9 725	712 000	1.3
Number of fully used LUT-FF pairs	1 924	4 989	38.6
Number of Block RAM/FIFO	6	1 880	0.3
Number of DSP48E1s	66	3 360	1.9

### 4 结论

本文以 Xilinx 公司的 Virtex7 开发板作为硬件平台, 完成了自适应定阶的快速 Burg 算法设计与实现。提出灵活控制的并行二级流水线结构和并行化计算单元结构, 达到了硬件加速的目标。同 Burg 算法相比, 其对短序列的处理在达到较高分辨率的同时, 计算时间可降低 75% 以上, 同时减小了内存空间, 并自适应定阶。实验发现, AR 模型阶数是否达到最优决定了功率谱质量的好坏, 但是此最优阶数的确定也与输入序列长度、采样率等相关, 这一关系有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 王世一.数字信号处理(修订版)[M].北京:北京理工大学出版社, 1997: 304–330.

(上接第 61 页)

Wi-Fi 的无线显示传输质量有所下降, 后续可在 Wi-Fi 标准、接收端解码等方面完善。

### 参考文献

- [1] 倪俊杰.投屏技术及其教学应用[J].中国信息技术教育, 2017(9): 50–53.  
[2] 胡秋伟.基于 Wi-Fi 网络的无线显示技术的设计与实现[J].电子技术与软件工程, 2016(22): 24–25.  
[3] 贺鹏.基于 Miracast 的多媒体共享系统设计与实现[D].成都:西南交通大学, 2016.  
[4] 编辑部.拥抱 AirPlay2 让音乐和电影荡漾在家中的每个角落[J].家庭影院技术, 2019(11): 58–73.  
[5] 唐艳秋, 潘泓, 朱亚平, 等.图像超分辨率重建研究综述[J].电子学报, 2020, 48(7): 1407–1420.  
[6] 杨悦, 谢辛, 何蕾, 等.连分式插值结合卷积神经网络的超分辨率重建[J].合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(8): 1146–1152.  
[7] 刘颖, 朱丽, 林庆帆, 等.图像超分辨率技术的回顾与展望[J].计算机科学与探索, 2020, 14(2): 181–199.  
[8] 刘永信, 段添添.基于深度学习的图像超分辨率重建技术的研究[J].科技与创新, 2018(23): 40–43.

- [2] 邢务强, 钮金鑫.基于 AR 模型的功率谱估计[J].现代电子技术, 2011, 34(7): 49–51.  
[3] 冯磊.经典功率谱估计与现代功率谱估计的对比[J].商业文化(学术版), 2009(5): 239, 223.  
[4] COLLOMB C.Burg's method, algorithm and recursion[Z].2010.  
[5] BURG J P.Maximum entropy spectral analysis[C]//Proceeding of the 37th Annual International Meeting, Soc. of Explore Geophysics, 1967.  
[6] 张贤达.现代信号处理(第三版)[M].北京:清华大学出版社, 2015: 139–148.  
[7] 马忠强, 陈国通, 赵雪.周期图法与 Burg 算法的对比研究[J].信息通信, 2017(4): 17–19.  
[8] CHAKRABORTY D, SANYAL S K.Performance analysis of different autoregressive methods for spectrum estimation along with their real time implementations[C]//2016 Second International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks(ICRCICN).IEEE, 2016: 141–146.  
[9] VOS K.A fast implementation of Burg's method[R].OPUS Codec, 2013.  
[10] AKAIKE H.Fitting autoregressive models for prediction[J]. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 1969, 21(1): 243–247.  
[11] 张松, 李筠.FPGA 的模块化设计方法[J].电子测量与仪器学报, 2014, 28(5): 560–565.

(下转第 72 页)

- [9] 谢海平, 谢凯利, 杨海涛.图像超分辨率方法研究进展[J].计算机工程与应用, 2020, 56(19): 34–41.  
[10] 李岚, 张云, 杜佳, 等.基于改进残差亚像素卷积神经网络的超分辨率图像重建方法研究[J].长春师范大学学报, 2020, 39(8): 23–29.  
[11] 袁良凤.基于 ARM 的 WiFi 无线通信终端技术探讨[J].数字技术应用, 2018, 36(5): 40–41.  
[12] 陈亮, 蔡声镇, 卢丽婉.一种面向存储的高性能双向 SPI 传输机制[J].微电子学与计算机, 2021, 38(3): 72–76, 83.  
[13] 金海峰.TCP/IP 数据封装与传输过程分析与仿真[J].福建电脑, 2021, 37(7): 40–43.  
[14] 宋克.一种高速可靠 UDP 网络传输的优化实现[J].数字通信世界, 2021(7): 85–86.  
[15] 顾燕卿.一种可移植的 JPEG 解码库的实现[J].电子技术与软件工程, 2018(6): 68–70.

(收稿日期: 2021-08-23)

### 作者简介:

张银胜(1975–), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 无线通信网络等。

徐文校(1997–), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 信号处理、深度学习等。



扫码下载电子文档

## 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