

基于 Qt 的雷达显示及手机客户端设计*

侯彭亮, 郭 苹, 王展鹏, 王 静

(西安科技大学 通信与信息工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了实现对雷达平面位置显示器(Plane Position Indicator, PPI)更加方便、快捷的控制,设计了一种基于 Qt 的雷达 PPI 显示及手机控制客户端。根据雷达 PPI 显控需求,在 Windows 系统下利用 Qt 图形框架设计雷达 PPI 显示端,并基于 Qt on Android 开发环境使用 QML 实现手机控制客户端的设计。雷达 PPI 显示端和手机客户端通过 TCP/IP 协议远程连接,实现手机客户端在以太网下对雷达 PPI 显示端的控制。该客户端实现了利用 Android 可移动设备对雷达 PPI 显示端的远程控制,扩展了雷达 PPI 显控系统 in 复杂环境下的适用性。测试表明,基于 Qt 的雷达 PPI 显控手机客户端可以方便、快捷地控制雷达 PPI 显示端,且软件运行稳定,满足性能需求。

关键词: 雷达显控; Socket; TCP/IP; Qt 图形框架

中图分类号: TN95

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211433

中文引用格式: 侯彭亮, 郭苹, 王展鹏, 等. 基于 Qt 的雷达显示及手机客户端设计[J]. 电子技术应用, 2021, 47(8): 128-132.

英文引用格式: Hou Pengliang, Guo Ping, Wang Zhanpeng, et al. Qt-based radar display and mobile phone client design[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(8): 128-132.

Qt-based radar display and mobile phone client design

Hou Pengliang, Guo Ping, Wang Zhanpeng, Wang Jing

(School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to control the plane position indicator (PPI) more conveniently and quickly, a Qt-based PPI display and mobile phone control client is designed. According to PPI display and control requirements of radar, the PPI display terminal was designed using Qt graphics framework under Windows system, and the mobile phone control client was designed using QML based on Qt on Android development environment. Through TCP/IP protocol, the PPI terminal and the mobile phone client are remotely connected to realize the control of the PPI terminal by the mobile phone client under the Ethernet. This client realizes remote control of radar PPI display using Android mobile devices, and expands the applicability of radar PPI display control system in complex environment. The test shows that the Qt-based PPI display control mobile phone client can control the PPI display terminal conveniently and quickly, and the software runs stably to meet the performance requirements.

Key words: radar display control; socket; TCP/IP; Qt graphical framework

0 引言

雷达显控终端是雷达系统的重要组成部分,作为雷达系统人机交互的接口,主要负责控制雷达系统并显示雷达回波、雷达状态等信息的任务,而雷达 PPI 显示则是最常见的雷达显示方式之一,其仿真水平直接影响到整个终端系统的效果^[1-3]。传统的雷达显控终端是使用通用计算机来负责雷达 PPI 显示和控制,功能和界面比较丰富,但是在进行外场试验测试时,在恶劣的环境中实现对计算机的操作将更加困难,不利于某些特定环境下的推广和使用,其应用场景逐渐受到限制。随着雷达技术以及 Android 智能设备的快速发展,便携可移动式雷达 PPI 显示控制软件的开发势在必行。

针对传统雷达 PPI 显示控制方法的缺陷,且得益于 Qt 在软件界面开发过程中的优良特性,本文给出基于 Qt 的雷达 PPI 显控及手机客户端的实现方式,分别采用以 X86 处理器为核心的 Windows 系统和以 ARM 处理器为核心的 Android 系统的软件平台,在此基础上使用图形用户界面应用程序开发框架 Qt 在 Windows 系统和 Android 系统下分别开发雷达 PPI 显示端和手机客户端,实现在以太网下使用手机客户端通过 TCP/IP 协议远程控制雷达 PPI 显示端工作,整个系统的兼容性、可移植性和可维护性得以极大提升,为跨平台操作提供便利。该手机客户端控制端与传统显控终端控制端相比具有很好的可靠性和便捷性。

Qt 是一种基于 C++ 的跨平台图形用户界面应用程序开发框架,主要是用于面向对象的框架,可以扩展且

* 基金项目: 国家自然科学基金(61701393); 陕西省教育厅科学研究计划(19JK0531, 19JK0528); 西安科技大学博士启动金(2018QDJ034)

具有优良的跨平台特性^[4-6]。QML 是 Qt 推出的 Qt Quick 技术的核心之一,是一种声明式语言,开发人员可以轻松地在 QML 中构建流体动画用户界面,并且可以选择将这些用户界面连接到任何后端 C++ 库^[7-9]。

1 雷达 PPI 显控总体框架设计

雷达探测信息不仅包括目标回波等原始视频信号,还包括目标回波信号经过数字化处理变成数据后由计算机加工形成更加丰富的二次信息^[10]。因此,雷达显控终端主要完成对雷达工作状态的控制以及雷达获取的情报和目标信息(包括目标位置、特征参数、运动状况等信息)的显示。

雷达 PPI 显示是以雷达为中心点按照距离和方位显示雷达扫描范围内的目标分布情况,这种情况与通常的地面地图具有相对应关系,可以提供 360° 范围内全部平面信息。根据雷达显控终端的功能需求,将 PPI 显示端与控制端分别基于 Windows 系统和 Android 系统进行开发,实现显示与控制的分离,具体的雷达 PPI 显示工作流程如图 1 所示。

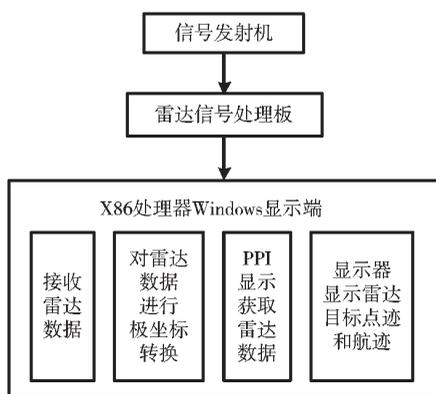


图 1 雷达 PPI 显示工作流程

雷达通过发射机发射信号,经过目标反射后形成回波并通过接收机进入信号处理机。回波信号经过一系列的目标回波经过雷达信号处理板后,提取出目标信息,包括方位、距离、速度和航迹等^[11]。而雷达显控终端作用是将接收到的雷达目标信息通过目标检测、目标跟踪等处理后通过可视化将目标的方位、距离等重要信息反馈给用户,同时用户还能够通过终端对雷达系统进行特定化设置,使雷达系统适应当前环境。

基于 Qt 的雷达显控手机客户端主要从雷达 PPI 显示端、手机控制客户端及两者通信三个方面进行设计,软件总体设计框图如图 2 所示。

雷达 PPI 显示端在通用 PC 上使用 Qt 的绘图工具实现,主要完成天线、波束、目标、目标航迹等参数信息的显示功能。手机客户端使用 Qt Quick 的 QML 脚本语言与 Qt Widget 的 C++ 代码交互实现雷达 PPI 显示参数的配置,使用屏幕触控操作,通过 TCP/IP 协议与雷达 PPI 显示端建立连接并发送指令,控制雷达 PPI 显示端实现显示。

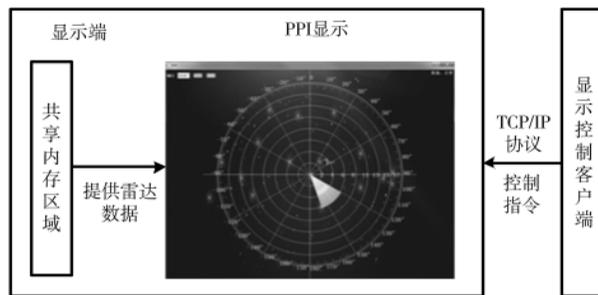


图 2 软件总体设计框图

雷达 PPI 显示端主要划分为网络模块和显示模块,网络模块负责显示端和手机客户端的远程连接;显示模块负责接收到雷达数据处理板的数据后对雷达目标信息的显示。

手机客户端主要功能是对雷达 PPI 显示端进行参数设置,包括杂波显示与隐藏,天线、波束、目标等参数设置。在雷达 PPI 显示端和手机客户端分别加入网络模块,通过 TCP/IP 协议实现连接,完成手机客户端对雷达 PPI 显示端的显示控制。

2 雷达 PPI 显示端设计

2.1 网络模块和显示模块设计

雷达 PPI 显示,在极坐标格式下实现绘制,方位以正北为基准,目标回波以同心圆表示,圆心是雷达站,距离沿半径方向增加。如图 3 所示,雷达 PPI 显示分为网络模块和显示模块。

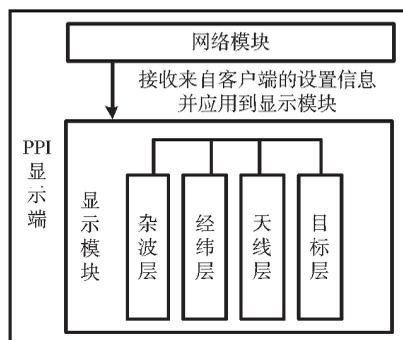


图 3 雷达 PPI 显示端设计图

2.1.1 网络模块

网络模块用于接收到客户端发送过来的信息并传递给显示模块。手机客户端通过 TCP/IP 协议创建一个 Socket 套接字与雷达 PPI 显示端建立连接,实现客户端与显示端的网络数据通信,雷达 PPI 显示端启动后,设置 PPI 显示端的 IP 地址和端口号,显示端进入监听状态,等待手机客户端的连接。

2.1.2 显示模块

雷达 PPI 显示通常分为四层,其最底层为杂波层,上面依次是经纬层、天线层、目标层。

PPI 显示绘制以坐标原点为圆心绘制若干同心圆来表示距离,以圆心为起点绘制等角度的辐射直线表示方

位。在使用 Qt 绘图时,采用的是直角坐标系。绘图过程中需要进行极坐标和直角坐标的转换,如图 4 所示。

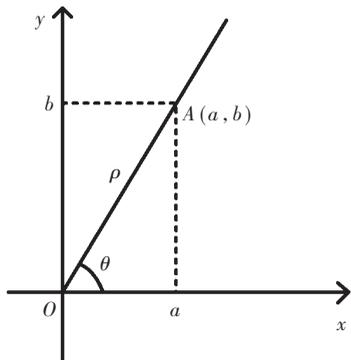


图 4 极坐标与直角坐标之间的转换图

对于图 4 中的点 A,极坐标和直角坐标之间的转换如式(1)、式(2)所示。

$$\begin{cases} a = \rho \cos \theta \\ b = \rho \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \tan \theta = \frac{y}{x} (x \neq 0) \end{cases} \quad (2)$$

杂波是雷达信号检测和处理的固有环境,在杂波背景下进行信号处理是雷达的基本任务之一^[12]。本设计设置了一张 png 格式的静态图片来模拟雷达杂波,可以实现杂波显示和隐藏。

雷达 PPI 显示中的经纬层用于确定目标的位置信息。Qt 中提供了强大的 2D 绘图系统,可以使用相同的应用程序接口(Application Programming Interface, API)在屏幕上和绘图设备上绘制若干个同心圆,并把同心圆以 30°为角度分割线分为 12 等份,同心圆和角度分割线就组成了经纬层,且同心圆和角度分割线的交点表示雷达的作用距离。

天线是雷达系统中的一个重要组成部分,它决定着雷达的灵敏度和角度分辨率。本软件天线扫描方式主要分为两种:余辉式扫描和扇段式扫描,余辉式扫描使用数字化实现余辉效果;扇段式扫描是指天线波束对平面的一部分扫描,对驱动系统在整个扇段扫描过程的动态分析,是雷达天线驱动装置参数确定和强度校核的前提。扇段式扫描包括波门外扇段、波门颜色,波束颜色等参数。

雷达目标是雷达发射的电磁波与目标相互作用所产生的各种信息,目标是实时更新的,需要显示目标的运动轨迹。本软件的目标层包括目标颜色、目标路径宽度、目标路径颜色、目标位置等参数设置。雷达目标信息通过雷达数据处理板发送到显示端的共享内存,PPI 显示通过从共享内存获取数据来实现雷达目标的动态显示。

2.2 目标显示更新

为了能够实时动态地显示雷达的观测结果,本软件使用 Qt 中时间控制器函数来实现天线扫描方式目标的

路径动态等显示更新。时间控制器函数提供了重复和单次触发信号的定时器,并且为定时器提供了一个高级别的编程接口,创建一个定时器对象,连接信号到适当的槽函数,并调用 start 函数开启定时器,设置发出时间事件的时间间隔,在恒定的间隔会发射信号^[13-15]。当发射信号时,导入目标信息(包括位置、航迹等),雷达 PPI 显示端开始工作,并与手机客户端连接,动态显示目标运动状态和航迹。

3 手机客户端的设计与实现

手机客户端的功能是通过 TCP/IP 协议在以太网下对雷达 PPI 显示端的远程控制,客户端发送参数配置信息到显示端,显示端进行相应的显示,主要包括与 PPI 显示端匹配的网络模块、杂波模块、天线模块、波束模块、经纬模块和目标模块,手机客户端设计图如图 5 所示。



图 5 手机客户端设计图

网络模块包括 IP 地址和端口文本框,是客户端与显示端通过以太网连接所需要的参数,当显示端开始侦听,客户端点击连接按钮实现与显示端连接。杂波模块的功能是设置杂波显示或隐藏。天线模块的功能是设置天线中心颜色和天线扫描方式(扇段式扫描和余辉式扫描)。波束模块包括波束边界颜色、波束颜色和波门颜色,分别对应显示端的参数设置,实现相应的变化。经纬模块是对 PPI 显示端的经纬线颜色和雷达最大作用距离的设置。目标模块是对目标颜色和航迹颜色的设置。

Android 客户端设计基于 Qt Quick 中的 QML 脚本语言和 Qt 中 C++ 代码交互来实现。使用 QML 的控件和堆栈视图设计客户端的各个参数设置界面,其中包括 QML 中的 Button(按钮)控件、Label(标签)控件和 ComboBox(组合框)控件,以及 QML 的布局管理器。部分实现代码如下:

```
StackView {
    id: stack
    initialItem: mainView
    anchors.fill: parent
```

```

}
...
onClicked: {
    page_clu.visible = true;
    page_clu.stack = stack;
    stack.push(page_clu)
}

```

用户通过触摸指令可以实现进入具体模块页面进行参数设置。

PC 使用 USB 数据线与 Android 设备连接,通过 Qt 的 Android 编译器向 Android 设备打包发送 APK 文件并安装。图 6 为 Qt for Android 应用开发流程图。

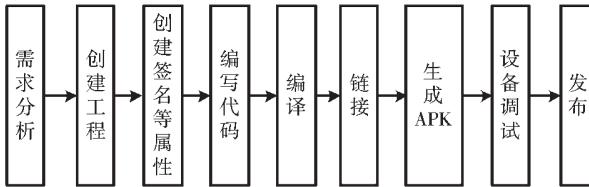


图 6 Qt for Android 应用开发流程图

4 显示端与客户端通信

在本设计中手机客户端与雷达 PPI 显示端的通信是基于 TCP/IP 传输协议的 Socket 套接字实现的。TCP/IP 协议作为 OSI 七层新模型中的第三层和第四层, TCP 层提供了信息的可靠传输, IP 层是负责对数据的验证。手机客户端通过局域网将参数设置信息发送显示端, 显示端对数据进行处理并分配到显示模块进行显示。

图 7 所示为 Socket 的工作流程。

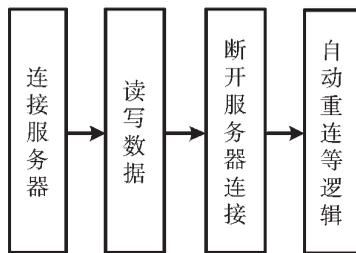


图 7 Socket 工作流程

5 测试

在 Windows 设备 PC 端和 Android 设备手机端对显示端和客户端功能进行测试。如图 8 中 A 部分所示,通过 Android 客户端对雷达 PPI 参数进行设置,设置目标颜色为红色、航迹颜色为黄色、天线中心颜色为绿色,天线扫描方式为扇段式扫描、杂波隐藏。Windows 显示端如图 8 中 B 部分所示,目标航迹为黄色,目标颜色为红色,天线中心颜色为绿色,并且显示杂波, PPI 显示结果与手机客户端设置信息一致,这表明手机客户端可以实现对 PPI 显示端的控制。

6 结论

本文显示端和客户端程序在 Windows 7 和 Android9.0

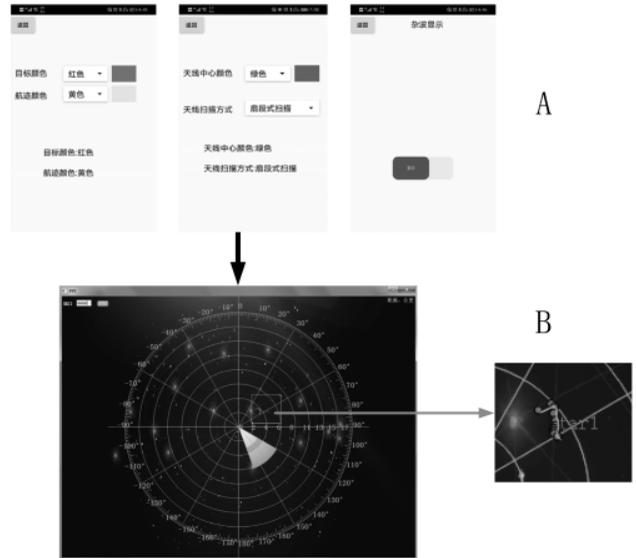


图 8 客户端控制 PC 显示

平台下,分别实现了雷达 PPI 显示端和手机客户端显示,软件运行均良好,且可以达到预期效果。在实际应用中,得益于 Qt 的跨平台性和可移植性高,适应性强,兼容性强以及手机的便携性、灵活性和性能的不断发 展,它的应用领域也将越来越广泛。

参考文献

- [1] 陈纳新,余斌. Android 平台下的雷达显控系统设 计[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(7): 87-88, 90.
- [2] 胡杨,刘馨丹. 基于 Qt 的雷达信号模拟器软件界面设计 与实现[J]. 电子科技, 2016, 29(4): 165-168.
- [3] 陈继峰,陈莉君. 基于 ARM 平台的雷达终端软件多图层 显示设计和实现[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(7): 89-91.
- [4] 曹龙,刘炜,曾力. 基于 Qt on Android 平台的空气质量监 测系统手机客户端设计[J]. 电子技术与软件工程, 2017 (2): 56-57.
- [5] 霍亚飞. Qt Creator 快速入门[M]. 北京: 北京航空航天大学 出版社, 2017: 2-13.
- [6] 闫锋欣,牛子杰,杜烁炜,等. 基于 Qt 的 Android 应用程序 C/C++ 开发方法与实践[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(7): 96-102.
- [7] 冯源. QML 语言在显控界面开发中的应用[J]. 电脑编程 技巧与维护, 2018(2): 62-64.
- [8] 郭志涛,韩海净,孔江浩,等. 基于 Android 移动终端的多 功能视频监控系统设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(16): 96-99, 103.
- [9] 安晓辉. Qt on Android 核心编程[M]. 北京: 电子工业出版 社, 2015: 1-66.
- [10] 孙华伟. 组件化雷达建模仿真平台设计[D]. 西安: 西安 电子科技大学, 2017.
- [11] 张航. 雷达显控终端设计与实现[D]. 西安: 西安电子科 技大学, 2015.
- [12] 牟效乾,陈小龙,关键,等. 基于 INet 的雷达图像杂波抑

制和目标检测方法[J].雷达学报,2020,9(4):640-653.

- [13] 吕焦盛.基于 TCP/IP 协议的网络通信服务器设计与实现[J].赤峰学院学报(自然科学版),2019,35(9):50-52.
- [14] 刘彦平.基于 Qt 的 Windows 平台组播通信技术研究[J].软件,2017,38(1):135-138.
- [15] 黄翩,张琼,祝婷.基于 Qt 的一个服务器多个客户端的 TCP 通信[J].电子科技,2015,28(3):76-78,82.

(收稿日期:2021-03-01)

(上接第 122 页)

胶层厚度会引起高度测量值的偏移,如:在铬上涂敷 PMMA 后,由于在 PMMA 中的折射,铬表面看起来位置会更高一些,高度测量计读出的高度约为铬表面之上 PMMA 厚度的 0.69 倍,因此需要根据抗蚀剂厚度增加一个偏移量,以便有效读出衬底表面的真实高度。

6 结论

在光刻设备中也有采用二象限、四象限光电管作为探测器,采用汞灯、卤素灯作为测量光源的,利用光阑、光栅图形,应用双折射调制技术和激光功率脉宽控制等技术进行测量的方法。本设计的电路实现了 CCD 的光积分时间的调整和激光器的功率的调整,利用这两种方法来获得高质量的测量信号,提高测量的准确性和对不同材料的适应性,可以满足电子束曝光使用要求和投影光刻的高度粗调的技术要求。

参考文献

- [1] 陈安.曝光光学系统性能对光刻性能影响的研究[D].成都:中国科学院光电技术研究所,2013.
- [2] 金晓刚.光刻工艺中的焦距异常发生原因分析及解决办法[D].上海:复旦大学,2009.
- [3] 冯俊艳,冯其波,匡萃方.高精度激光三角位移传感器的技术现状[J].应用光学,2004,25(3):33-36.
- [4] GARCIA D F,GARCIA M,OBESO F,et al.Flatness measurement system based on a nonlinear optical triangulation technique[J].IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement,2002,51(2):188-195.

(上接第 127 页)

scanning tightly coupled dipole array with integrated Balun (TCDA-IB)[J].IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2013,61(9):4538-4548.

- [12] CHEN Y K,YANG S W,NIE Z P.The role of ground plane plays in wideband phased array antenna[C]//IEEE International Conference on Ultra-Wideband Antenna,2010,2:1-4.
- [13] CHEN Y K,YANG S W,NIE Z P.A novel wideband antenna Array with tightly coupled octagonal ring elements[J].Progress In Electromagnetics Research,2012,124:55-70.
- [14] TZANIDIS I,SERTEL K,VOLAKIS J L.Excitation and

作者简介:

侯彭亮(1995-),男,硕士,主要研究方向:雷达显卡平台开发。

郭苹(1989-),通信作者,女,博士,讲师,主要研究方向:合成孔径雷达成像算法研究,E-mail:guopingxidian@126.com。

王展鹏(1996-),男,硕士,主要研究方向:雷达显控设计。



扫码下载电子文档

- [5] 刘书明,苏涛,罗军辉.TigerSHARC DSP 应用系统设计[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [6] 王晓明,庄喜润,崔建.高性能工业控制 DSP—ADSP-2199X 原理及应用[N].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [7] 元琳.基于线阵 CCD 的小型光电位移监测系统的研究[D].长春:长春理工大学,2013,2.
- [8] 张智辉,田地,杨义先.线阵 CCD 驱动电路设计的几种方法[J].仪表技术与传感器,2004(6):32-33.
- [9] 黄红星,卢凌,肖李,等.基于 DSP 的 CCD 驱动电路的设计[J].武汉理工大学学报,2002,26(6):811-814.
- [10] 孙立环,赵霄洋,高凌好,等.基于亚像素定位技术的激光光斑中心位置测量[J].激光技术,2017,41(4):511-514.
- [11] 陈青山,吕乃光.激光准直高斯光斑中心位置计算方法分析[J].计算机测量与控制,2004,12(5):486-488.
- [12] 王祖军,张勇,唐本奇,等.TCD132D 线阵 CCD 总剂量效应的实验分析[J].电子器件,2010,33(1):18-21.
- [13] 颜伟彬,赵斌.基于数字信号处理器的 CCD 自动增益调整[J].传感器技术,2004,23(3):74-76.

(收稿日期:2020-12-26)

作者简介:

赵英伟(1971-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:半导体工艺设备。

郝晓亮(1979-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:电子束光刻机和扫描电镜等。

张文雅(1982-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:投影光刻机等。



扫码下载电子文档

termination of finite tightly coupled antenna arrays based on structural characteristic modes[J].Proceeding on Antenna Applications Symposium.IEEE,2011:103-106.

(收稿日期:2021-05-30)

作者简介:

杨龙(1988-),通信作者,男,博士研究生,工程师,主要研究方向:宽带天线、共形相控阵,E-mail:wuyanqianzi@163.com。

周文涛(1987-),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向:相控阵天线、数字信号处理。

王娜(1989-),女,硕士研究生,工程师,主要研究方向:相控阵天线、测控通信系统。



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