

文章编号: 2095-4980(2019)03-0435-05

基于共享数据库的空间电磁环境监测方法与系统

程俊平, 徐志坚, 贾晓静, 周长林*, 余道杰

(解放军战略支援部队信息工程大学 信息系统工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 提出一种基于共享数据库技术的空间电磁环境监测系统方案, 设计机载现场可编程门阵列(FPGA)核心频谱采集分析模块, 开发信号传输链路、数据处理及系统显示控制软件。基于共享数据库技术, 利用无人机(UAV)机载信号采集模块, 将测量到的空间频谱数据和地理位置信息实时回传; 终端显示控制系统将监测数据分别以频谱图和辐射热图的方式, 在数字地图上对所测空间区域电磁频谱分布实时直观显示, 将电磁频谱监测从地面扩展到三维空间。试验证明, 本系统可高效灵活地监测空间频谱的实时变化情况, 为频谱管理、空间电磁环境实时监测以及发射源侦测定位提供重要的技术支撑。

关键词: 频谱监测; 频谱管理; 电磁干扰; 无人机; 数据共享

中图分类号: TN919.6

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201903.0435

Method and system for monitoring electromagnetic environment in space based on shared database

CHENG Junping, XU Zhijian, JIA Xiaojing, ZHOU Changlin*, YU Daojie

(College of Information Systems Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: A method for monitor system of electromagnetic environment in spatial based on shared database is proposed. Acquisition and analysis module that install on Unmanned Aerial Vehicle(UAV) for spectral information is designed and the control software for signal transmission, data processing and system display is developed. Based on shared database technology, the spatial electromagnetic data and GPS information are received in real time, which are acquired by signal acquisition and analysis module installed on UAV, and then, in real time, the terminal control system displays these information on digital map in the form of spectrogram or radiation heat map, all of which extend electromagnetic spectrum monitoring from the ground to three dimensional space. Finally, experiment and measurement show that the system can efficiently and flexibly monitor the real-time change of space spectrum, and provide important technical support for spectrum management, real-time monitoring of spatial electromagnetic environment and detection and localization of emission source.

Keywords: spectrum monitoring; spectrum management; electromagnetic interference; Unmanned Aerial Vehicle(UAV); database sharing

目前空间电磁辐射已成为电磁环境监测的重点关注问题^[1-3]。美国等国家先后对电磁环境理论开展深入研究并制定相关的标准和规范, 在电磁辐射分析、测量、预测及管理等方面的研究均已达到较高水平, 并取得一系列研究成果。关于电磁环境理论和干扰的防护及电磁环境监测的研究, 我国尚处于起步阶段, 与国外研究水平相比存在明显差距^[4]。通过采用新材料、新工艺及规范设计方法抑制电磁干扰, 但对电磁环境监测方面研究甚少, 尤其关于电磁环境可视化监测更为匮乏。

本文提出一种基于共享数据库技术的电磁环境监测可视化系统构想, 设计基于 FPGA 可编程核心处理器的空间频谱采集处理关键模块, 应用自主开发的无人机(UAV)通信传输与地面站台数据处理分析系统应用软件, 借助

收稿日期: 2018-08-25; 修回日期: 2018-11-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61271104; 61871405)

*通信作者: 周长林 email:zhou637196@163.com

于 UAV 平台将电磁频谱监测范围进一步拓展至广域和三维空间，利用机载信息处理模块将测量到的频谱数据和地理位置信息通过数据共享，实时快速共享至地面控制端，并在数字地图上对当前区域某一频点下电磁辐射分布以频谱图和辐射热图的方式实时显示，改变了传统的基于频谱仪地面测试为主的电磁辐射测量方法，通过三维立体全方位测量，为电磁频谱管理、空间电磁环境实时监测、无线发射源侦测定位及电磁频谱对抗提供理论与技术支撑。

1 空间电磁环境监测系统设计

1.1 系统构成与方案设计

本空间电磁环境监测系统主要由 FPGA 核心频谱采集分析模块、点对点无线数据共享传输模块、高速宽带数据处理模块、基于 WEB 技术的数据可视化处理软件等组成，系统结构框图如图 1 所示。旋翼机搭载信息采集处理平台将采集到的信息点对点实时共享至地面终端，通过自主开发的可视化控制处理软件将信息以 2 种不同的形式实时呈现在数字地图上，达到实时监测与管理的目的。

信息采集处理平台通过模块化天线和 GPS 实现对空间电磁频谱信息和地理位置信息的采集与预处理，点对点无线传输模块主要完成对信息的缓存与节点传输。为满足数据实时传输，采用数据库共享技术将采集到的各种信息实时传输至地面控制台，地面将接收的数据调制解调经数据后处理算法模块整合分析^[5-6]，利用可视化显示技术实时显示。

1.2 关键机载频谱监测模块设计

鉴于 UAV 平台的负重能力受限，考虑到 UAV 平台灵活性、便携性以及硬件系统的可靠性和兼容性，为减轻质量，采用 FPGA 嵌入式模块化系统设计关键机载频谱数据采集模块。其主要由频谱信息采集模块、GPS 模块 2 个部分组成，其中频谱信息采集模块是本系统的硬件核心数据采集部分。

频谱信息采集模块基于二次变频的超外差式接收机原理^[7]，其结构如图 2 所示，由 FPGA 主板和射频信号接收子板组成，主板实现高速模拟信号采集处理；射频信号接收子板，包括前端衰减器、前置放大器、陷波器、带通滤波器以及混频调制等射频模块电路，完成前端模拟信号的采集处理。

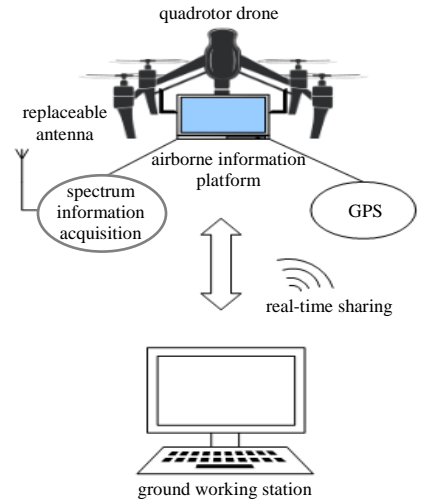


Fig.1 System configuration based on database sharing
图 1 基于数据库共享的系统配置图

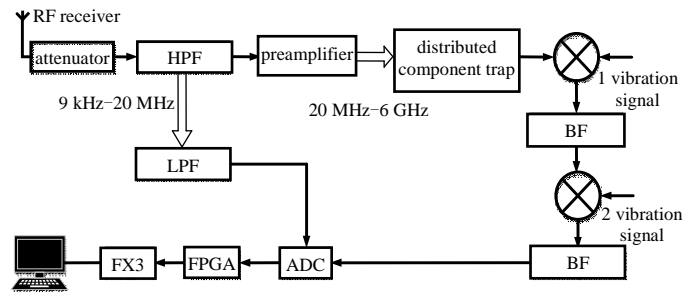


Fig.2 Schematic diagram of spectrum information acquisition module
图 2 频谱信息采集模块结构原理图

2 基于共享数据库技术的系统软件设计

为解决大量高速实时数据存储传输瓶颈，在系统设计上采用共享数据库技术，将机载系统测量到的空间电磁频谱数据与地理位置信息通过无线共享模式实时传送到地面控制端，实现远距离高速实时数据的可靠传输，为实时可视化分析提供有力支持。

2.1 系统软件总体设计

本系统软件由 2 部分组成：一部分为机载信息采集软件，主要完成信息采集数据读取，并将其存储到数据库中；另一部分为地面数据控制处理软件，主要实现对整个系统的控制以及对机载信息采集软件的共享数据库进行读取和处理，以实现电磁频谱实时显示和地理电磁辐射热图显示的功能^[8-9]，典型数据流程图如图 3 所示。机载计算机通过 USB 接口发送指令实现 FPGA 对频谱数据采集模块的初始化设置；控制程序将采集到的频谱数据和 GPS 数据保存到服务器里的数据库中；地面计算机控制读取服务器数据库里的频谱数据和 GPS 数据，完成电磁环境频谱图的实时显示和无人机地理位置在地图上的实时跟踪；在频谱实时显示窗口，可查看空间区域或固定点的实时频谱信息；对于特殊变化的采样点，可对其进行手动标记和保存；在辐射热图显示窗口，通过输入需要查看的频率，将最终测量结果以辐射热图的形式直观地显示在数字地图上，并可以查看辐射频率的辐射强度。

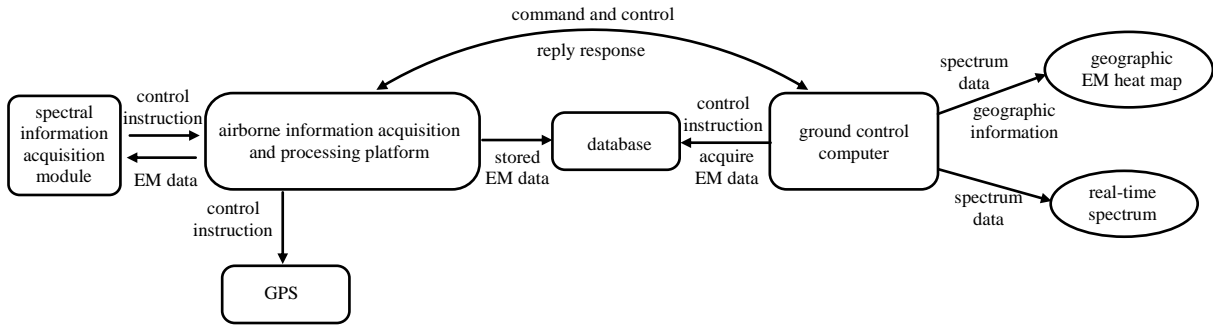


Fig.3 Data flow for system software based on shared database technology
图 3 基于共享数据库技术的系统软件数据流程图

2.2 机载上位机程序设计

机载上位机程序主要实现控制频谱信息采集模块和 GPS 模块的初始化设置,建立共享数据库,将接收到的频谱信息数据和 GPS 地理位置信息数据存储至数据库,供地面终端访问接收处理,其流程图如图 4 所示。

2.3 地面上位机软件设计

地面上位机软件部分主要实现对频谱进行实时监测和后端数据处理显示及人机交互功能。利用共享数据库实时读取所测量的频谱与地理位置信息,并进行数据处理存储^[10];通过主界面可直观查看到监测设备所处的位置,查看实时频谱监测信息并对指定点进行标记;可查看当前测量区域磁场分布,将测量点的电磁辐射强度以热图的形式实时地显示在所测量的位置上,并可查看具体频率值。其主要功能架构如图 5 所示。

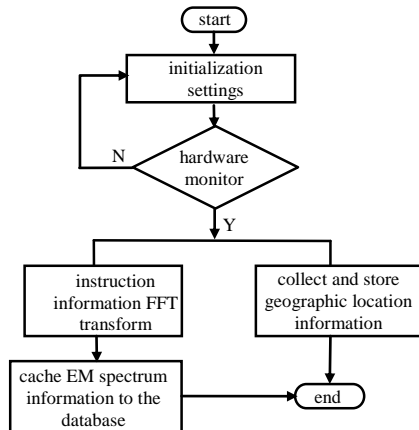


Fig.4 Flow of microcontroller on UAV
图 4 机载上位机软件流程图

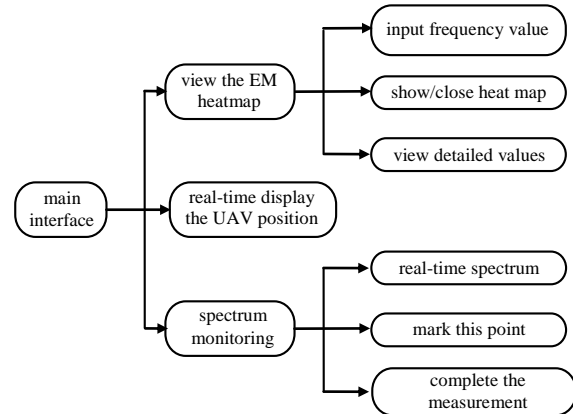


Fig.5 Functional architecture design of ground control software
图 5 地面控制软件功能架构设计

3 实验验证与数据结果分析

基于以上方案和流程所设计的空间电磁频谱监测系统实物如图 6 所示,其中图 6(a)为系统的整体硬件组成,包括无人机平台、放置于屏蔽盒内的频谱信息采集模块、机载信息采集平台和地面控制系统;图 6(b)为地面控制系统的软件界面图,即整个空间电磁环境监测系统的控制界面。



(a) hardware function module of system

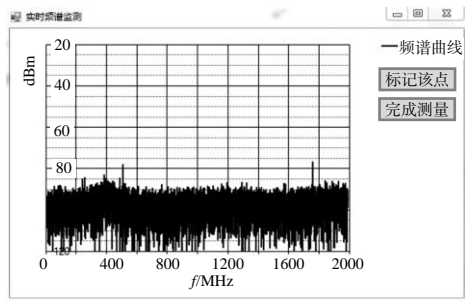


(b) software control interface of system

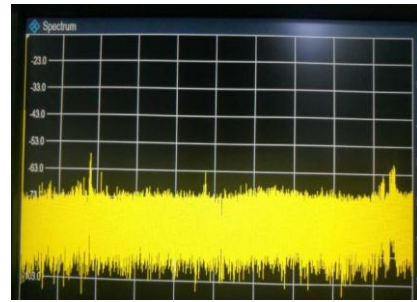
Fig.6 Picture of space electromagnetic environment monitoring system
图 6 空间电磁环境监测系统实物图

3.1 电磁频谱测试分析

为验证本系统的准确性,通过现有手持式频谱仪和本频谱监测系统同时对室内和室外空间不同位置多点测量。其中室内某一点测量结果如图 7 所示,图 7(a)和 7(b)分别是本系统和手持式频谱仪的测量结果,通过对比可知,在 360 MHz,800 MHz,1.8 GHz 三个频点上两者均测量到有较强电磁信号,且在测试频段内,二者测量结果基本一致,同时,本系统测试底噪更低,频谱区分度更明显;图 8(a)和 8(b)则是利用本系统与手持式频谱仪对室外开阔地带某一监测点的测量结果,结果表明在 9 kHz~2 GHz 的测试频带内,和手持式频谱仪相同,本系统能准确有效地捕捉到 120 MHz,520 MHz,980 MHz 以及 1 800 MHz 左右的频谱信号,进一步证明了本系统在室外工作环境中的有效性与准确性,且相比于传统的频谱仪和现有的手持式频谱仪,本系统所设计的频谱信息采集模块更加便携高效,测试结果的区分度更加明显,室内和室外的测试对比结果均能确保本设计的正确性与有效性。



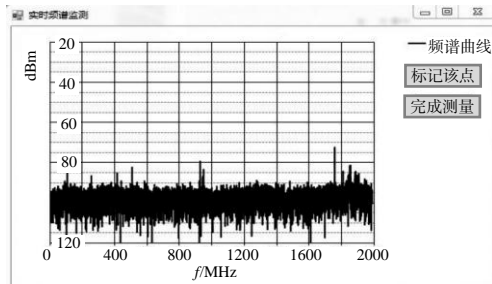
(a) test result by spectrum monitoring system



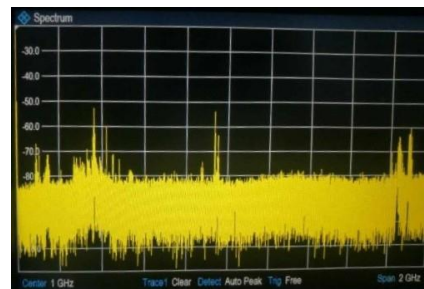
(b) test result by R&S handheld spectrum analyzer

Fig.7 Comparison results between spectrum monitoring system and handheld spectrum analyzer in the room

图 7 频谱监测系统与手持频谱仪室内测试结果对比



(a) test result by spectrum monitoring system



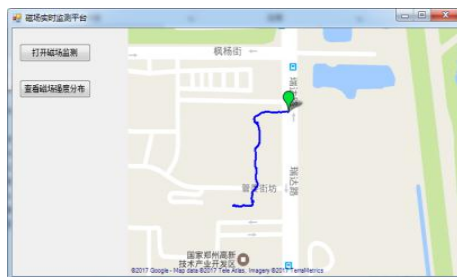
(b) test result by R&S handheld spectrum analyzer

Fig.8 Comparison results between spectrum monitoring system and handheld spectrum analyzer out the room

图 8 频谱监测系统与手持频谱仪室外测试结果对比

3.2 空间电磁环境监测热图

以某移动塔台为中心,周围 1 km 为半径的具有电磁辐射差异的区域作为测试地点,操控无人机升至 50 m 高度进入所要测试的区域和测量点,控制机载测试系统对期望测量地点的空间电磁信息和地理信息进行采集。利用地面控制软件平台可实时观测到无人机所处的位置信息与采集的频谱信息,并显示出其飞行轨迹,无人机飞行轨迹和电磁频谱信息每 1 s 更新一次,如图 9(a)所示。



(a) moving trajectory of UAV



(b) heat map of electromagnetic environment radiation

Fig.9 Flight path of UAV and heat map of radiation

图 9 无人机的航迹信息与辐射热图

图 9(b)显示的是 1 900 MHz 时测试区域内的电磁辐射热图,其中不同的颜色代表了辐射强度的变化,辐射强度随颜色的变化趋势显示在图右下角的颜色条中。通过对比测量得到的热力图分布,可观察到 A 标记点的辐射强度明显高于其他标记点,通过实地观察,发现此处距离辐射源仅 65 m。测试结果表明,该系统可以准确有效地监测空间中的电磁频谱与辐射强度的变化,通过输入指定待观测频率,利用采集到的实时空间频谱数据可直观、总体地分析区域内的指定频点的空间电磁辐射变化情况。

4 结论

本文借助于四旋翼 UAV 提出一种基于共享数据库技术的电磁环境监测系统设计,扩大电磁频谱监测范围,利用机载信号处理模块将测量到的频谱数据信息和地理位置信息,通过数据共享实时快速传输至地面控制端,通过无人机载信息采集与处理平台对任意期望观测区域的电磁环境信息进行采集,采用频谱测绘技术以电子地图的形式展示频谱资源,充分地利用地理信息系统在可视化显示方面的优势,直观地展现不同区域的电磁频谱情况以及不同信号在该区域内电平变化情况,测试结果的对比与实地的测量均表明该系统在空间电磁频谱监测和电磁辐射监控方面的有效性和准确性,从而为实现空间的电磁环境监测、频谱管理、空间电磁辐射实时监测以及移动基地站的规划建设提供技术支撑和理论基础。与此同时,随着无人机群控制技术的发展,在本文所设计系统的基础上探索实现基于多机协同的广域立体空间的电磁频谱实时监测系统,将极大地推动频谱监测朝着精细化、广域化、立体化及全天候实战化方向发展。

参考文献:

- [1] ALMEKHLAFI M A A. Analytical study for measuring the electromagnetic radiation of the GSM system in urban areas[J]. International Journal of Computer Networks & Communications, 2017,9(1):39-53.
- [2] 阙渭焰. 电磁作战环境概念分析[J]. 强激光与粒子束, 2017,29(11):80-83. (QUE Weiyan. Concept analysis of electromagnetic operational environment[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2017,29(11):80-83.)
- [3] TJELTA T,STRUZAK R. Spectrum management overview[J]. URSI Radio Science Bulletin, 2017,85(1):25-28.
- [4] 王东. 复杂电磁环境数字仿真系统研究[J]. 装备环境工程, 2018(1):100-104. (WANG Dong. Study on digital system of complex electromagnetic environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018(1):100-104.)
- [5] WANG M,SHENG Y,HUANG Y,et al. Spatial interpolation method of electromagnetic geographical environment monitoring data[J]. Journal of Geo-Information Science, 2017,19(7):872-879.
- [6] 王楠,黄志洪,杨海钢,等. 一种支持高效加法的FPGA嵌入式DSP IP设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2017,15(5):867-873. (WANG Nan,HUANG Zhihong,YANG Haigang,et al. A design of FPGA embedded DSP IP core supporting efficient addition[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2017,15(5):867-873.)
- [7] TOHIDIAN M,MADADI I,STASZEWSKI R B. A fully integrated discrete-time superheterodyne receiver[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 2017,25(2):635-647.
- [8] PFEIFLE F. Real-time signal processing on field programmable gate array hardware[J]. Springer, 2018,10(10):385-417.
- [9] CHADUC J M,POGOREL G. Spectrum monitoring[M]. [S.l.]:ISTE, 2010.
- [10] 张伟达. 频谱监测中微弱信号检测与提取的实现[D]. 成都:电子科技大学, 2017. (ZHANG Weida. Realization of weak signal detection and extraction in spectrum monitoring[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2017.)

作者简介:



程俊平(1994-),男,陕西省兴平市人,在读硕士研究生,主要研究方向为微处理器电磁兼容与电磁环境效应.email:chengjp222306@163.com.

徐志坚(1984-),男,河南省南阳市人,讲师,主要研究方向为嵌入式系统及应用。

贾晓静(1963-),女,山东省聊城市人,高级实验师,主要研究方向为电子系统设计。

周长林(1961-),男,河南省商丘市人,教授,主要研究方向为电路与系统电磁兼容性及多物理场效应等。

余道杰(1978-),男,河南省信阳市人,副教授,博士生导师,主要研究方向为高功率微波和电磁场。