

导读:以数字化、网络化、智能化转型为主要特征的新工业革命和数字经济浪潮正席卷全球。5G技术与实体经济深度融合,利用新技术、新模式、新管理促进产业转型升级,推动产业迈向全球价值链中高端,5G灵活、高效融合、开放的特性使得创新业务在媒体娱乐、能源、交通和工业等各个行业加速融合,使得垂直行业的应用更加多样化,孕育新型信息产品和服务,重塑产业发展模式。为了促进5G通信技术交流,推动我国5G通信技术发展,《电子技术应用》杂志2021年第5期推出“5G垂直行业应用”主题专栏,论文内容以行业需求和应用场景为切入点,重点聚焦工业互联网、联网无人机、城市轨道交通等5G应用方案与实践案例,期待为5G时代垂直行业应用部署提供有益的借鉴。



特约主编:朱雪田,北京邮电大学工学博士,教授级高级工程师,中关村国家自主创新示范区高端领军人才,现就职于中国联通研究院。长期从事5G/6G移动通信技术与业务创新研发工作,作为项目组长先后负责多个5G/6G领域的移动通信国家重大项目,发表学术论文超过100篇,发明专利100余项,个人专著4本。

## 基于5G的低空网联无人机体系研究与应用探讨

韩玲,朱雪田,迟永生

(中国联合网络通信有限公司研究院,北京100176)

摘要:首先结合无人机产业的发展情况,基于网联无人机的基本概念和架构体系,对5G技术智联泛在低空网络、5G技术协同安全管控、5G技术促进无人机云平台能力提升等关键技术问题进行研究与分析。其次,提出了基于5G的低空网络建设方案和部署方案,并对基于5G和eSIM技术体系的无人机安全管控和能力平台的发展进行了探索。最后,对5G网联无人机的应用进行了介绍。

关键词:5G;网联无人机;无人驾驶飞行器

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211638

中文引用格式:韩玲,朱雪田,迟永生.基于5G的低空网联无人机体系研究与应用探讨[J].电子技术应用,2021,47(5):1-4,10.

英文引用格式:Han Ling,Zhu Xuetian,Chi Yongsheng. Research and application discussion on low altitude networked UAV system based on 5G[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(5): 1-4, 10.

### Research and application discussion on low altitude networked UAV system based on 5G

Han Ling, Zhu Xuetian, Chi Yongsheng

(China Unicom Research Institute, Beijing 100176, China)

**Abstract:** The development of UAV industry is introduced, the basic concept and system of networked UAV is analyzed and summarized, and the research and analysis of 5G ubiquitous low altitude network, 5G technology collaborative safety control and 5G UAV cloud platform capability enhancement are carried out. The construction plan and deployment plan of 5G-based low-altitude network are proposed, the development of UAV safety control and capability platform based on 5G and eSIM technology is explored. And finally, the application of 5G network-connected UAV is discussed.

**Key words:** 5G; networked UAV; UAV

## 0 引言

近年来无人机技术和产业飞速发展,应用领域不断扩大。在中国,“十三五”期间无人机等通航新技术得到推广应用,通航新业态发展迅猛,截至2020年底,我国实名登记无人机52.36万架,年飞行量达到159.4万小时,同比增速达到27.5%<sup>[1]</sup>。Intelligence预计2021年无人机市场将超过120亿美元,Gartner预计到2023年全球物联网(Internet of Things, IoT)企业无人机全球出货量将达到130万台,低空经济将迎来未来高增长期,结合第五代移动通信技术(the 5th Generation Mobile Communication Technology, 5G)发展大势,推动低空网联无人机发展,是实现我国无人机产业突破性发展、建设新基础设施和发展低空经济的重大契机。本文对低空网联无人机的关键技术进行了研究和分析,提出了基于5G的低空网络建设方案和部署方案,对基于5G和eSIM技术体系的无人机安全管控和能力平台的发展进行了探索。最后,对5G网联无人机的应用进行了探讨。

## 1 概述

无人机是无人驾驶飞行器(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)的简称,以无人机为主要代表的低空飞行器近年来在军事、民用及商业等领域获得了突飞猛进的发展,其对通信能力的“网联化”需求也日益迫切。

利用通信网络替代传统的点对点测控链路,为无人机飞行提供测控通道以及业务应用提供实时的数据回传通道,是一种不受距离限制的广域无人机应用模式,可以实现设备的监管、航线的规范、效率的提升,促进空域的合理利用,从而极大延展无人机的应用领域,产生巨大经济价值。网联无人机是通过移动通信网络联网的无人机,无人机通信网络包括卫星通信网、根据无人机载荷需求专属设计的通信网、蜂窝移动通信网等。其中,低空网联无人机以公共或专用蜂窝移动通信网作为承载网络,基于5G新一代蜂窝移动通信技术为网联无人机赋予的实时超高清图传、远程低时延控制、永远在线等重要能力,可以实现无人机分级、分类、分区域连续管理的目标,助力建设高效低成本的新通航安全飞行体系。

一般地,如图1所示,基于5G技术的低空网联无人机体系主要包括网联无人机终端、无人机云能力平台、地面控制站和业务终端、无人机通信网络五部分<sup>[2]</sup>。

其中,网联无人机终端包括飞控系统、通信系统、导



图1 基于蜂窝移动通信网络的低空网联无人机系统架构

航系统、机载计算机系统、任务载荷系统以及安全飞行管理系统等,无人机通过移动蜂窝网络实现和地面基站间的数据双向交互。网联无人机云能力平台与网联无人机进行交互,接收无人机的遥测和视频数据,对采集到的数据进行存储、分发、处理,接收各类无人机地面站对无人机的遥控指令。无人机地面控制站与无人机云平台进行交互,完成无人机遥测指令的接收和地面遥控信息的发送。业务终端接收和处理能力平台转发和处理后的视频信息、遥测信息等业务信息。

## 2 技术体系

## 2.1 组网架构

低空物联网是在低空空域(通常3000m以下)依托蜂窝移动通信网络、低轨卫星网络及地面互联网等基础设施,构建适合低空业务运营的实体网络,是物联网技术向低空的延伸。泛在低空物联网是网联无人机行业应用的基础设施,5G作为新一代的信息技术,是移动通信技术发展的新阶段,它能提供更快的数据连接、百万的连接数以及超低的空口时延,开启了万物互联的新篇章<sup>[3]</sup>。5G低空物联网的建设是低空产业发展的重要基础,对打造数字经济新兴产业具有重要意义。

如图2所示,5G低空物联网的建设需要实现移动通信网络从传统二维平面覆盖向三维立体覆盖的转变。长期以来,蜂窝移动通信网络主要针对地面终端进行设计,而低空网联的无线通信环境与地面相比存在明显差异,包括干扰源更多、小区覆盖不规则、邻区关系复杂等,导致低空覆盖复杂化和移动性管理失效。第四代移动通信(the 4th Generation Mobile Communication Technology, 4G)网络主要为地面覆盖进行组网和优化,并利用天线的旁瓣和背瓣提供低空覆盖,无法满足低空智联网的建设需求。5G通过引入大规模多天线、新频谱、新编码、新的帧结构等新空口特性,使得地面网络的对空覆盖能力大大增强;通过联合处理、自动邻区关系等已有技术的增强,以及测量报告、功率控制等机制的针对性优化,为低空智联网提供有效的解决方案<sup>[4-6]</sup>。经过实际测试,目前的5G公共蜂窝移动通信网可以满足300m以下绝大部分区域的无人机安全飞行业务链路指标需求<sup>[7]</sup>。对于低空网联无人机300~3000m高度的需求,较难使用公网覆盖,可通过建设5G专网的方式提供低空网络覆盖。

2021年3月,中国联通与中国商飞在河南安阳利用中国联通打造的5G无人机泛在低空测试基地,共同开展了低空3000m以下通航飞机5G网联飞行测试,通过依托地面移动网络基础设施搭建的5G专网测试环境,实现了

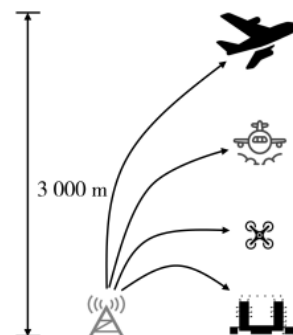


图2 5G低空智联网

控制数据和视频数据在地面与空中之间的有效传递,为空中飞行器与地面的有效连接提供了服务。此次测试验证是国内首次在5G低空网络下开展高飞行速度和高飞行高度的飞行器飞行测试,打造了全球范围内3000m以下低空网联案例,具有重要意义。

5G低空专用网络的典型部署方案有共网共用、共网专用和专网专用等模式,在实际建设部署时,应根据业务类型、支撑网络服务的差异性以及投入成本等综合考虑建设模式。

图3提出了一种可行的5G低空专用网络组网方案。该方案通过建设5G网络无人机专网基站和5G核心网(5G Core Network,5GC),采用核心网独立部署、无线接入专用为主及按需共享的方式组网。其中,5G专网与5G公网的核心网相对独立,可以各自独立建设接入和移动性管理功能(Access and Mobility Management Function,AMF)、会话管理功能(Session Management Function,SMF)、统一数据管理功能(The Unified Data Management,UDM)、

用户面功能(The User Plane Function,UPF)等核心网网元;5G专网可以采用面向行业专网的轻量化5GC产品,实现轻量化、本地简化运维以及行业定制增强的5G核心网。5G专网基站提供专用化、优先化的对空覆盖,与5G公网基站相对独立;公网共享基站分别连接公网及专网的5GC,通过切片标识选择公网或专网的AMF。专网基站只连接专网5GC。在上述组网架构下,公网用户不能使用5G专网,无人机专网用户可以使用专网基站接入网络,也可以使用公网共享基站接入5G专网,必要时无人机专网用户可以在公网共享基站与专网基站之间切换,对无人机的控制数据流和业务数据流分别进行服务质量(Quality of Service,QoS)保障。该方案能够提供较专有的低空网络保障能力,适用于对网络环境要求较高的无人机联网场景。

除了提升无人机在空中的移动性和覆盖范围,5G网络实现控制与承载分离,引入全面云化部署,基于软件定义网络(Software Defined Network,SDN)和网络功能虚拟化(Network Functions Virtualisation,NFV)实现网络切片关键服务,提供以网络切片和两级QoS映射等新技术组成的端到端业务质量保障体系,满足网联无人机应用的多样化网络性能需求。基于5G灵活的网络开放和应用创新能力,5G低空智联网可根据网联无人机具体应用需求探索多层次分布式的组网架构及形态,根据网络基础和数据中心规划等因素进行灵活部署网络。

一种可行的5G低空专用网络建设方案如图4所示,该建设方案通过将UPF、移动边缘计算(Mobile Edge Computing,MEC)和5G新空口(5G New Radio Access,5G NR)的集中单元(Centralized Unit,CU)部分控制面网元部署于网络边缘,可以进一步降低传输时延,优化传输网络负载,满足特定场景的无人机行业应用场景。

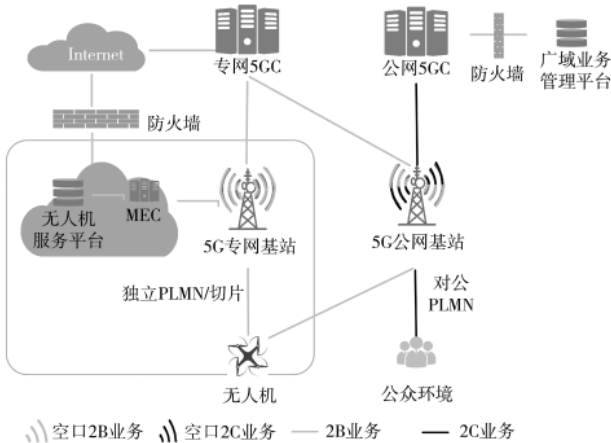


图3 5G低空专用网络组网方案

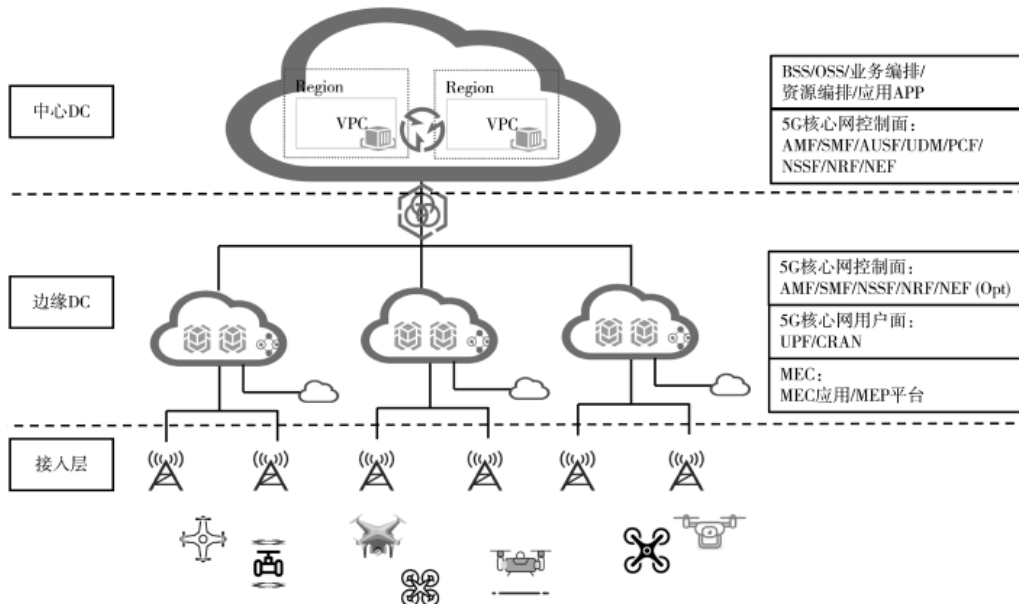


图4 5G低空专用网络建设方案

## 2.2 协同安全管控

网联无人机终端是网联无人机体系架构最前端的设备,无人机应用可根据具体业务需求和场景适配适宜的终端类型,通过植入机载通信模组接入蜂窝移动网络实现广域联网能力,并根据差异化的应用需求搭载不同的功能载荷模块,实现对应用需求的支持。

作为 5G 网联无人机终端核心组件的机载通信模组,承担无人机接入蜂窝移动通信网络的基础功能,关键功能要求包括支持 4G/5G 无线技术,支持非独立组网(Non-Standalone, NSA)和独立组网(Standalone, SA)模式,支持使用用户身份模块(Subscriber Identity Module, SIM)、嵌入式 SIM(Embedded-SIM, eSIM)的机卡接口,支持定位能力、5G 网络切片功能等。当前无人机机载通信模组产品尚处于起步阶段,产品的标准化有待进一步提高;缺乏大规模的测试验证,随着 5G 技术的不断演进和发展,机载终端还需进一步加强对新技术的快速响应。

当前,结合 eSIM 的 5G 无人机通信模组解决方案已在业界开始了初步的应用探索。eSIM 不仅在物理特性上适用于无人机接入移动通信网络的场景,嵌入式提供高稳定性,能够适应环境恶劣的飞行环境;更重要的是 eSIM 作为 SIM 卡的一种革新性的技术能力,能够提供可靠高安全的架构体系、远程数据的配置管理能力以及对终端设备的全生命周期管理<sup>[8]</sup>,如图 5 所示。eSIM

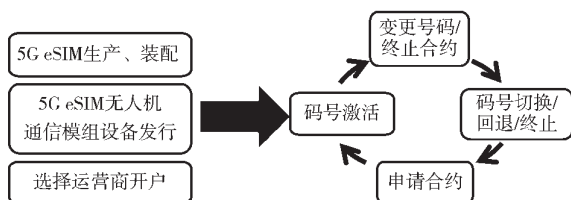


图 5 5G eSIM 终端全生命周期远程管理

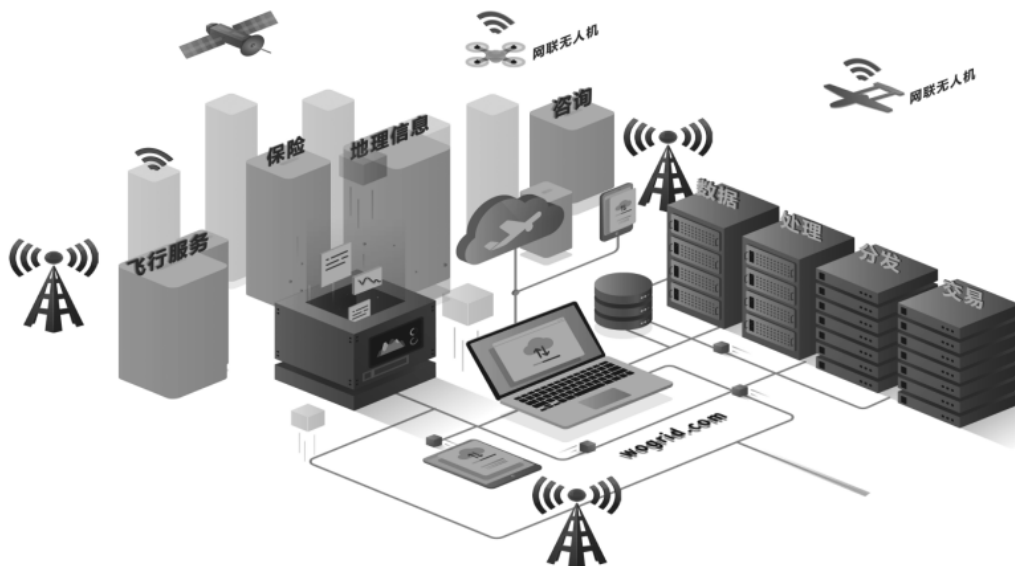


图 6 5G 无人机云能力平台

技术的应用将为网联无人机终端设备的生产及测试认证管理、产品注册登记、身份标识能力、认证与鉴权能力等提供解决方案;此基础上提供信息安全保障,空域管理、航线规划、流量管理、飞行监视以及跟踪和控制等能力。无人机终端与 eSIM 架构体系的深度融合,与运营资源、能力及流程的贯通,将有力推动监管机制的建立与完善。

## 2.3 能力平台

无人机能力平台提供 5G 无人机管控与业务服务,一方面,需要面向国家宏观低空管控,提供基于 5G 的低空管控能力,构建未来整体低空生态;另一方面,无人机飞行后产生大量飞行数据,如遥测数据、载荷数据等,需要处理;飞行数据的处理也需要根据行业应用提供差异化的要求而不同,需要由统一的无人机能力平台来进行管理。如图 6 所示,无人机能力平台应具备基础服务功能,包括飞行实施、数据存储、管理认证、数据使用等;在此基础之上,随着 5G 无人机应用的发展,为更好地支持无人机的管理和应用,应支持飞行安全、数据处理、智能分析、空域代理等功能。

5G 技术与低空产业的结合将推动低空新基建从传统监管到数据驱动的转变。无人机能力平台将进一步利用低空智联基础设施能力,通过云计算、大数据、人工智能等技术提升算力,提高服务能力。未来无人机能力平台的数据业务与安全监管能力将进一步深度融合,安全监管所需的传统空域管理、设备管理、人员管理监管需求,与任务管理、设备管理及辅助决策等以数据规划和数据驱动的方式有机融合在一起。

## 3 5G 网联无人机业务应用

近年来我国民用无人机行业发展迅速,市场规模持续扩张,低空网联无人机在物流、农业植保、基础设施巡

(下转第 10 页)

- [13] 王凌霄.5G 时代边缘计算发展趋势[J].网络安全和信息化,2020(11):24.
- [14] 周俊,沈华杰,林中允,等.边缘计算隐私保护研究进展[J].计算机研究与发展,2020,57(10):2027-2051.
- [15] 商建波.5G 通信的关键技术分析[J].电子技术,2021,50(2):40-41.

(收稿日期:2020-10-27)

## 作者简介:

孙丽楠(1983-),通信作者,女,博士,工程师,主要研究

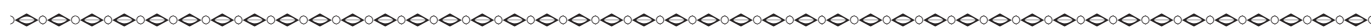
方向:5G 无线技术、5G 家庭小基站、5G 核心网、5G 网管等,E-mail:sunlin6@chinatelecom.cn.

朱红绿(1984-),男,本科,工程师,主要研究方向:4G 网络 EPC 技术、室内覆盖解决方案、5G 小基站技术、5G 核心网等。

孙慧(1986-),女,硕士,工程师,主要研究方向:工业 PON、工业 5G、多接入边缘计算等。



扫码下载电子文档



(上接第 4 页)

检、监控、救援、直播等领域发挥了重要的作用。无人机物流和无人机农业植保需要飞行状态上报以及高精度定位信息的下发;此外,无人机物流需要具备视频回传实时操控能力,农业植保有土地勘测图片等大量数据实时回传需求。在巡检、安防、救援场景中,无人机的典型网络需求包括实时视频传输(多路)、飞行状态监控、远程操控以及网络定位,以保证无人机优良的飞行稳定性、较快的反应能力和连续实时的现场跟踪。无人机测绘为智慧城市、智慧农业、勘察等多个领域提供了强大的扩展空间,在测绘场景下,除了典型的飞行状态监控、远程操控以及网络定位需求,对实时图像传输、图像处理的需求尤为迫切<sup>[6]</sup>。

对于上述领域的应用,4G 网联无人机仅能满足现有的部分低速率、对时延不敏感的需求,5G 新一代移动通信技术为无人机的发展注入了新的动能。5G 具有超高速、超低时延和超高可靠性的显著特性,为无人机赋予了远程控制、高清图传、飞行状态监控、精确定位、网络安全等关键能力,能够支持多领域多类别的无人机应用,如 8K 的视频传输能力能够支持 5G 无人机在体育赛事、演艺活动等大型活动的 VR 直播和高清直播;5G 还将促进各行业数字化、网络化、智能化的发展。同时,云计算、AI 技术的发展使得未来的自主飞行成为可能。

5G 低空无人机新技术催生了广阔的应用空间,当前,国家层面正在促进无人机产业升级发展,相继出台了若干法律、规定和指导意见,低空经济产业的发展将对社会经济增长产生积极影响。

## 4 结论

信息技术的发展催生了无人机产业的兴起和快速发展。5G 网联无人机融合了移动终端、大数据、云计算和人工智能等热门技术,未来无人机的发展也必将向信息传输网络化、运行空间数字化、飞行终端智能化的方向发展。

当前,无人机在实际应用中主要面临测控与监管两大核心痛点问题的困扰,5G 网联无人机体系能够提供

数字化监管能力和安全飞行流程,为上述问题提供解决方案。但当前网联无人机的基础建设、产品和应用落地尚在摸索阶段,存在规范不明确、管理不完善等问题,下一步需要进一步完善管理规定,积极打造产业发展联合体,做好顶层规划,组织实施相关技术研究和标准制定,加快推动 5G 网联无人机关键技术突破,创新行业应用。

## 参考文献

- [1] 中国民航网.民航局召开通用航空工作领导小组第六次全体会议[EB/OL].(2021-02-26)[2021-04-10].http://www.caacnews.com.cn/1/1/202102/t20210226\_1320077.html.
- [2] 严斌峰,袁晓静,胡博.5G 技术发展与行业应用探讨[J].中兴通讯技术,2019,25(6):34-41.
- [3] 3GPP TS 23.501.System architecture for the 5G system[S].2018.
- [4] 3GPP RP-171409.Report of 3GPP TSG RAN meeting #75[S].2017.
- [5] 3GPP TR 36.777 V15.0.0.Study on enhanced LTE support for aerial vehicles[S].2018.
- [6] IMT-2020(5G)推进组.5G 无人机应用白皮书[R/OL].(2018-09-xx)[2021-04-10].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201809/t20180928\_186178.htm.
- [7] 中国民用航空局.低空网联无人机安全飞行测试报告[R/OL].(2018-01-xx)[2021-04-10].http://www.gov.cn/xinwen/2018-02/04/5263696/files/b0c587f6246840de8aa4e39-4540828e6.pdf.
- [8] GSMA SGP.01 V4.2.Embedded SIM remote provisioning architecture[S].2020.

(收稿日期:2021-04-15)

## 作者简介:

韩玲(1978-),女,博士,高级工程师,主要研究方向:5G 移动通信技术与标准化。

朱雪田(1975-),男,博士,教授级高工,主要研究方向:5G 移动通信技术与业务创新。

迟永生(1964-),男,硕士,教授级高工,主要研究方向:通信网络规划、技术研发与管理。



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