

CBB 架构宽带通信雷达一体超外差接收机研究与设计

马 嵩

(中国西南电子技术研究所, 四川 成都 610036)

摘 要: 研究设计基于 CBB(Common Building Block)架构的宽带通信雷达一体超外差接收机,旨在提供一种快速、高效的多用途接收整机设计方法。该方法设计 7 种共用基础模块,各自实现接收整机中的一部分技术与功能指标;对 7 种共用基础模块按照各自特点进行系列化研制、生产,形成各自的产品库;在通信雷达一体超外差接收机的设计中,结合技术指标要求,选用相应的共用基础模块进行组合,即可完成相应的整机设计工作。此方法的优点是:简化整机设计难度、减少重复开发、缩短研制周期、提高产品成熟度,以及便于设备的测试、维修等。

关键词: CBB;通信雷达一体化;超外差;宽带;接收机

中图分类号: TN96

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191397

中文引用格式: 马嵩. CBB 架构宽带通信雷达一体超外差接收机研究与设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(7): 15-18, 83.

英文引用格式: Ma Song. Research and design of wideband communication radar integrated superheterodyne receiver based on CBB architecture[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(7): 15-18, 83.

Research and design of wideband communication radar integrated superheterodyne receiver based on CBB architecture

Ma Song

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: A new research and design method based on CBB for integrated wideband communication radar superheterodyne receivers is proposed in this paper, aiming to provide a fast and efficient design method for multi-purpose receiver design. Seven common basic blocks have been established in the proposed method. Each block is responsible for part of the functions of a receiver. Respective product libraries for the seven common basic blocks have been built through serial development and production based on their respective characteristics. During a superheterodyne receiver design, we can just select several proper CBB from the library according to the technical requirements and combine them to complete the corresponding receiver. This can simplify system engineering, reduce repetitive development, shorten the development cycle, improve product maturity and facilitate testing and maintenance of the equipment.

Key words: CBB; integrated communication radar; superheterodyne; wideband; receiver

0 引言

接收系统作为电子战系统的重要组成部分,承担着发现敌方频谱域目标的重要任务。超外差接收机由于其具有抗干扰能力强、接收灵敏度高等特点作为接收系统的核心功能部分广泛应用于电子战接收系统中。超外差接收机针对不同的应用场合,具有高度定制性的特点。因此,在不同的电子战接收系统中的超外差接收机具有很大的差异性。但随着现代军事的信息化发展,用户对产品的品种、规格、性能、质量及交货周期等方面提出了越来越高的要求,传统的设计方法已难以满足这些要求,因此,能够快速响应接收系统的研制要求,以最少的人力、财力,最短的时间完成超外差接收机的设计方法具有重大的现实意义。共用基础模块 CBB(Common Building Block)架构设计的目的就是简化整机设计难度、

提高产品设计效率、减少重复开发、缩短研制周期、便于整机测试与维修,并使设计经验能传递和继承,以利于进一步提高设计和生产水平,使企业在市场竞争中获得主动权^[1-2]。

产品的共用基础模块^[3-4](CBB)设计思想开始于 20 世纪初。到 20 世纪 50 年代共用基础模块设计概念被正式提出,它是指在对一定范围内的不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上,创建并设计出一系列功能模块,通过模块的选择和组合构成不同的产品,以满足市场不同需求的设计方法。产品的共用基础模块化设计是大势所趋,但基于 CBB 架构宽带通信雷达一体化接收机的具体设计国内外很少有公开的方案、论文介绍。本文以工程实例为依托,对宽带通信雷达一体超外差接收机(频段覆盖 0.1 GHz~18 GHz)进行

基于共用基础模块的设计与实现,为通信雷达一体超外差接收机的模块化设计提供较高的参考价值。

1 CBB架构宽带通信雷达一体超外差接收机工作原理

某工程研制的CBB架构宽带通信雷达一体超外差接收机框图如图1所示,通信雷达一体接收机的CBB功能模块组成包括射频预选前端模块、射频变频模块、雷达中频模块、通信中频模块、频率源模块、电源模块、控制模块。

其工作原理为:接收机接收的射频信号经过射频前端预选滤波器电路后经过宽带大步进混频,把宽带信号压缩到一个较窄的固定频率范围内^[5],再经过固定的频率源把一中频信号搬到二中频信号处理机需要的频段,通过功分器一路给雷达中频支路送雷达信号处理机进行参数测量或采样转发,另外一路给通信中频支路再经过窄带细步第三次混频,把宽带二中信号变到三中通信信号处理机需要的频段与电平,送通信信号处理机进行参数测量或采样转发。该架构的射频超外差接收机特点是采用CBB架构以及通信雷达一体接收的技术,不但可以简化整机设计难度、提高产品设计效率、减少重复开发、缩短研制周期、便于整机测试与维修,而且还可以实现一种类型接收机通信雷达一体同时接收的效果。

2 CBB架构宽带超外差通信雷达一体接收机设计方法

通信雷达一体接收机应用领域宽、平台多,不同系统功能与指标均有较大差异,因此整机的CBB划分与指标分解尤为重要。在顶层策划时,需求分析必须做到全

面细致,划分的CBB才具有通用性;功能、指标分析和模块划分是建立CBB体系过程中最关键的环节,应以结构为载体,功能、性能独立性为主,模块大小适中为原则进行划分;设计系列化模块时需考虑各种需求,形成一定系列;根据模块互联情况统一接口和连接件形式。CBB库可供其他设计师选用开发新产品,最后根据用户所反馈的使用情况,改进模块性能。通信雷达一体接收机CBB划分与建立体系流程可用图2表示。

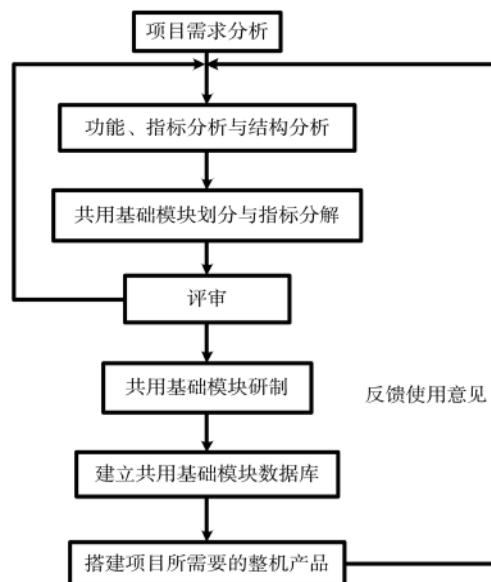


图2 CBB划分与建立体系流程图

2.1 功能分析与模块划分

宽带通信雷达一体超外差接收机主要应用在雷达、

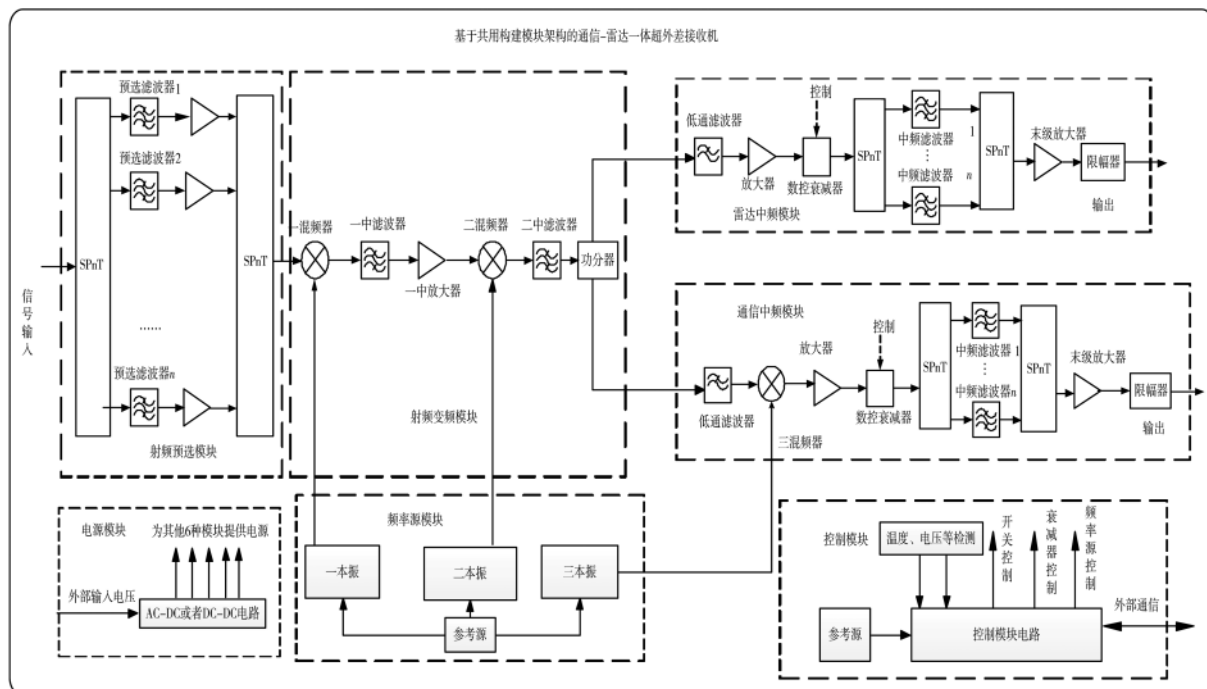


图1 CBB架构通信雷达一体超外差接收机示意图

通信、电子战等领域。不同领域系统对组件战技指标、接口、结构、安装和环境条件等均不同。要使模块体系能满足各种应用,需求分析必须翔实、全面。需求一部分来源于已经研制成功和正在研制的项目,另一部分来源于国内外其他单位的市场需求以及对未来发展趋势的预测^[6]。

根据实际项目需求与图2的流程图对本文研究的CBB架构宽带超外差通信雷达一体接收机(目前设计覆盖0.1 GHz~18 GHz)按照功能划分了7类CBB,分别是射频预选模块、射频变频模块、雷达中频模块、通信中频模块、电源模块、控制模块、频率源模块,模块的划分与连接关系如图1所示。这7类CBB功能相对独立,而且通用性强。

按照图1的电路拼接关系示意图,不同的接收机研制项目只需要按照对应项目的指标要求在这7种CBB库中选择合适的模块,理论上就可以实现拼接完成覆盖0.1 GHz~18 GHz频段的任意类型的接收机或者是接收信道设计,例如:这7种CBB去掉雷达中频模块就是通信接收机、去掉通信中频模块就可以组成雷达接收机、射频预选模块与射频变频模块以及雷达中频模块就可以组成雷达接收信道等多种用户需求组合,但在特殊的新品研制时仅仅只靠通用模块组合可能还有欠缺,如特殊的情况下需要接收机加散热风扇、触摸屏的本控设计以及用户的特殊接口要求等因素,可根据实际情况补充设计专用模块。

2.2 CBB结构与接口设计

2.2.1 CBB结构设计方法

结构是承担CBB的载体,设计不合理会导致模块间

出现干涉或者不易互联等问题。结构设计时应考虑模块的机械特性、在整机的结构布局、模块间的互联关系等因素,应注重通用化、小型化、低功耗。保证模块同类型接口统一设计、性能可靠、标志清楚、模块间互联自如,为了增强模块的通用性和扩展性,还应预留调试和测试接口。

2.2.2 CBB接口设计

整机的CBB设计的显著问题就是会增加接口数量,连接互联的射频电缆和控制低频电缆也会数量增多。这样带来的问题是大量的接口间互联电缆占用了大量的空间,而且信号传输信号损耗增加,高频尤为显著。射频互联模块应当紧挨布局,可以减小射频互联电缆带来的损耗。本工程项目对于射频接口统一采用同厂家SMP接头,对于低频接口统一采用同厂家的微矩形连接器,这两种连接器体积小,插拔方便,可以减小接头和高低频电缆带来占用整机空间的问题。

3 CBB系列化设计与开发及工程实例

3.1 CBB条例化设计与开发

CBB系列化开发从产品的功能、性能、使用平台、使用环境等方面考虑,将同类型的CBB进行合理规划,使产品有序发展形成有序系列产品,并用CBB组合成产品或系统,以满足客户对产品个性化的需求。下面根据工程项目规划的7种CBB来开发相应的系列化产品,图3是基于CBB架构宽带超外差通信雷达一体接收机设计方法流程图。

射频预选模块主要由限幅器、开关、预选滤波器、开关、低噪声放大器、镜频抑制滤波器等器件组成,起到对宽带射频接收信号进行分段预选滤波、放大等作用,不

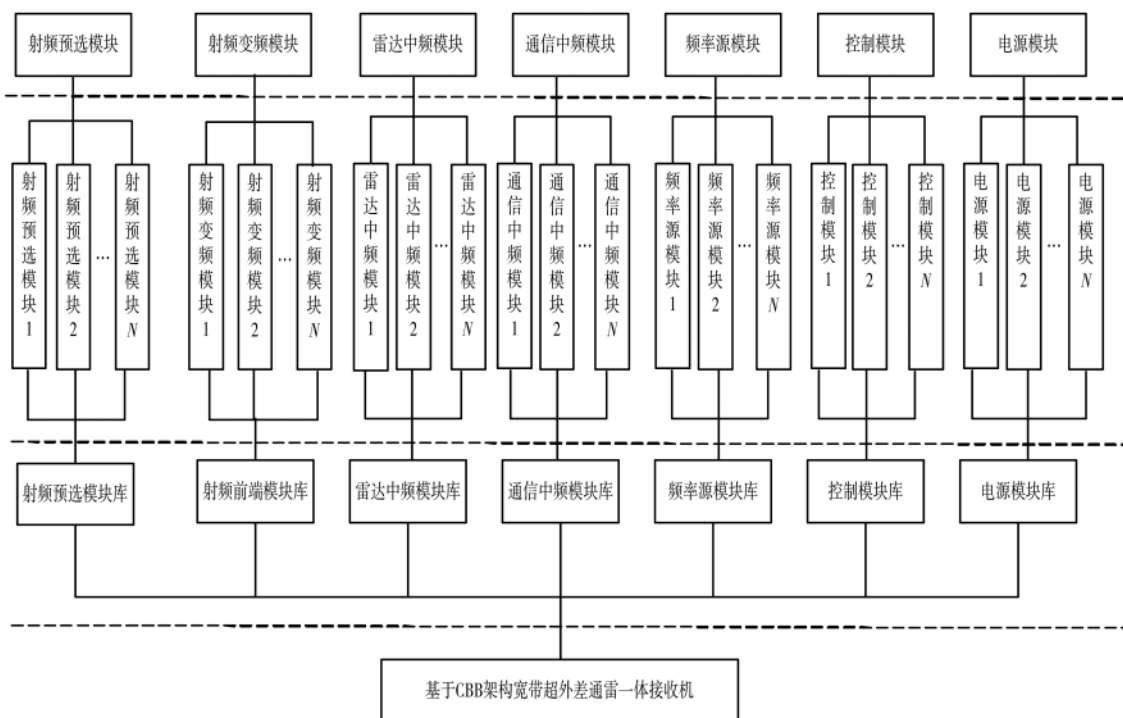


图3 基于CBB架构宽带通信雷达一体超外差接收机设计方法流程图

同项目对预选模块主要是在预选滤波和噪声系数有较高要求,因此预选模块的系列化设计主要就是针对预选滤波器的覆盖频段以及噪声系数进行差异化设计,形成系列 CBB 产品库。在链路设计过程中,部分设计细节需要特别说明,在预选滤波器设计中要考虑预选滤波器间的频率交叠,防止由于设计不当造成宽带信号在接收机前端被抑制,导致信号接收不完整。

射频变频模块主要由混频器、一中放大器、一中滤波器、二中放大器、二中滤波器等器件组成。不同项目对射频中频模块主要是一中与二中中频频率选择上有较大差异化要求,因此射频变频模块的系列化设计主要就是针对其一中与二中中频频率上进行差异化设计,形成系列 CBB 产品库。

雷达中频模块主要器件包括滤波器、雷达中频放大器、数控衰减器、开关、雷达中频带宽选择滤波器、末级放大器、输出限幅器等。不同项目对雷达中频模块主要是雷达中频带宽选择滤波器与增益有较大差异化要求,因此雷达中频模块的系列化设计就是主要针对雷达中频带宽选择滤波器与增益进行差异化设计,形成系列 CBB 产品库。

通信中频模块主要器件包括滤波器、三混混频器、中频放大器、数控衰减器、开关、通信中频带宽选择滤波器、末级放大器、输出限幅器等。不同项目对通信中频模块主要是通信中频带宽选择滤波器与增益有较大差异化要求,因此通信中频模块的系列化设计就是主要针对通信中频带宽选择滤波器与增益进行差异化设计,形成系列 CBB 产品库。这里要特别指出的是,由于接收的雷达与通信信号带宽不一致(通常雷达信号相对较宽),为了实现通信雷达一体同时接收所对应的频率,就要在通信中频模块在进行一次混频设计,而且要求与其对应频率源模块末级本振是跳频源电路,跳频源的步进和频率根据对应的项目要求进行设定,这样就能实现同一时刻既可以接收雷达信号也可以通过末级本振源扫频来对通信信号无丢失接收,实现一种接收机通信雷达信号同时接收的目的。

频率源模块主要器件包括晶振、鉴相器、DDS、放大器、滤波器、分频器、VCO、运放等。不同项目对频率源模块主要是在输出频率范围、相位噪声、频率步进上有较大差异化要求,因此频率源模块的系列化设计就是主要针对其输出频率范围、相位噪声、频率步进进行差异化设计,形成系列 CBB 产品库。

电源模块电路主要由保险丝、继电器、浪涌抑制电路、EMI 滤波器、DC-DC 或者 AD-DC 电路、共模抑制滤波器等组成。电源模块的系列化设计主要就是针对不同的输入范围、不同的电压输入形式(AC/DC)、功耗、效率、输出电压路数等因素选择进行差异设计,形成系列 CBB 产品库。

控制模块主要由控制芯片(单片机、FPGA 等)、存储器、总线收发器、LDO 等器件组成。控制模块的系列化设计

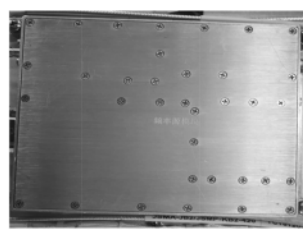
主要就是针对不同的控制 IO 引脚路数、不同的接口、不同的功能要求等因素选择进行差异设计,形成系列产品库。

3.2 工程设计 CBB 设计实例

按照上述的 CBB 接收机设计方法,完成了多种工程 2U-19 寸插箱实物设计,这几种接收机在结构、功能与性能上进行了统型设计,大部分 CBB 单元可实现模块复用。部分 CBB 实物与接收整机实物如图 4、图 5 所示。



(a) 射频前端预选与通用变频模块



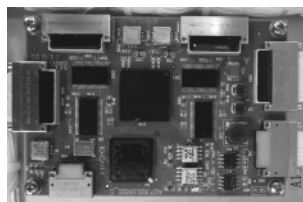
(b) 射频源模块



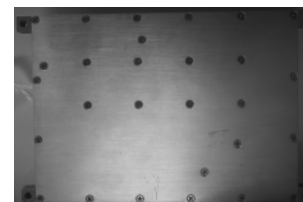
(c) 电源模块



(d) 通信中频模块



(e) 控制模块



(f) 雷达中频模块

图 4 部分 CBB 实物图



(a) 宽带通用遥测接收机



(b) S 频段接收机

图 5 基于此 CBB 架构的 2U-19 寸插箱实物

(下转第 83 页)

测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

传统卫星测试系统功能及性能特点外,在研制成本、系统体积、重构时间及自主程度等方面均有较大改善。通过某型号卫星地面测试任务的充分验证,符合商业卫星快速并行测试技术需求,保证了商业卫星整体研制进度,促进了自动化测试技术的发展。

参考文献

- [1] 肖潇.商业遥感卫星市场现状及发展研究[J].卫星与网络, 2017(7): 62-64.
- [2] 薛永军,王东伟.国外商业遥感产业创新动态及相关启示[J].中国航天, 2017(8): 6-10.
- [3] 袁媛,葛宇,李楠,等.关于商业卫星质量与可靠性控制的思考[J].质量与可靠性, 2016(6): 21-23.
- [4] JONES H. Integrated systems testing of spacecraft[C]. The 37th International Conference on Environmental Systems (ICES). Chicago: Aviation Industry Development Research, 2007.
- [5] 富小微,王华茂,闫金栋,等.航天器系统级测试现状分析[J].航天器工程, 2017, 26(1): 120-126.
- [6] 张伟东,董振兴,朱岩,等.星载固态存储控制器标准化通用仿真测试平台设计[J].电子技术应用, 2019, 45(7): 117-120.
- [7] 吴伟,张威,潘顺良,等.自动判读系统在载人航天器电测中的应用[J].航天器环境工程, 2011, 28(6): 628-631.
- [8] 戴润峰,袁媛,冯孝辉.基于工作流的小卫星自动化测试系统设计方法研究[J].计算机测量与控制, 2011, 19(12): 2912-2915.
- [9] 何永丛,潘顺良,李鸿飞.载人航天器自动化测试系统设计与应用[J].计算机测量与控制, 2015, 23(10): 3258-3259, 3263.
- [10] 储海洋,何晓宇,宋宏江,等.航天器综合测试信息管理平台的构建与应用[J].航天器工程, 2015, 24(6): 123-128.
- [11] 何铭俊,洪雷,曹丽君.一体化小卫星综合测试系统的设计[J].计算机测量与控制, 2016, 24(9): 15-18.
- [12] 郭恩全,苗胜.测试总线发展的回顾与展望[J].电子测量与仪器学报, 2009, 23(8): 1-6.
- [13] 何俊,郑靖,梁斌.基于 PXI 的高速并行数据采集系统设计[J].自动化应用, 2010(11): 19-20, 23.
- [14] 龚潺,张丹,桑小冲.基于 PXI 的卫星地面测试信号采集控制系统[J].电子测量技术, 2015, 38(3): 129-132.
- [15] 高茹,曹丽君,曾鸿.基于 PXI 总线的小卫星扩频应答机模拟器的设计与实现[J].计算机测量与控制, 2016, 24(10): 226-229.

(收稿日期: 2019-08-16)

作者简介:

徐婧(1989-),通信作者,女,博士研究生,中级研究员,主要研究方向:卫星测试、图像处理, E-mail: xujing.bei-hang@163.com.

邢斯瑞(1987-),男,硕士研究生,副研究员,主要研究方向:卫星总体、测试。

刁国影(1985-),女,硕士研究生,中级研究员,主要研究方向:卫星通信、射频测试。

(上接第 18 页)

4 结论

通过采取本文基于 CBB 架构宽带通信雷达一体超外差接收机设计方法,运用文中的 7 种 CBB 研制出 2U (1U=44 mm) 19 寸通信雷达一体接收机,频段覆盖 0.1 GHz~18 GHz,只需要更换射频预选前端 CBB 就可以满足目前项目所需要的多种接收机要求。随着 CBB 库的种类的不断增多,后续可以满足更多项目的接收机快速拼接设计。

采用 CBB 技术进行接收机设计,可以最大限度地继承与利用已有的硬件和软件研究成果,从而降低研制风险,避免同一水平上的重复研制,缩短研制周期,节省研制费用。基于以上分析,CBB 架构的设计方法必将成为接收整机的主流设计模式。

参考文献

- [1] 张宝辉.模块化总体设计研究[D].长沙:国防科学技术大学, 2004.
- [2] 金烈元.武器装备的通用化、系列化、组合化[M].北京:国防工业出版社, 2008.
- [3] 周辉.产品研发管理[M].北京:电子工业出版社, 2012.
- [4] 张昌菊.军品研制中的 CBB 管理研究[J].航天标准化, 2012(2): 4-8.
- [5] 马嵩.一种超宽带高精度侦测接收机的设计[J].电子设计工程, 2019, 27(3): 189-193.
- [6] 成彦. Ka 频段收发组件模块化设计技术[J].电讯技术, 2012, 52(6): 960-963.

(收稿日期: 2019-12-20)

作者简介:

马嵩(1986-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:宽带微波电路设计。

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