

基于 Wi-Fi 和人脸识别技术的智能锁系统设计 *

周 扬, 熊俊俏

(武汉工程大学 电气信息学院, 湖北 武汉 430205)

摘要: 针对传统门锁存在的安全问题, 设计了一款将 Wi-Fi 技术与人脸识别技术相结合的智能锁系统。该系统采用 STM32F103 作为核心控制器件, CC1101 作为通信传输模块, 有效降低功耗的同时实现了信息的交互。同时提出 MULBP 人脸识别算法, 相较于改进前增强了图像灰度均值与每行、每列以及对角线元素的关系, 得到的全新 LBP 算子值更能够反映出局部纹理特征, 再与 2DLDA 算法相结合找到投影矩阵, 使样本更容易被区分, 更便于特征提取。结果表明, 这种融合算法在降低特征维数的同时也提高了识别率, 使得系统达到了智能防盗的目的。

关键词: 智能锁; 无线通信技术; 局部二值模式; 二维线性判别分析

中图分类号: TN929.5 ; TP391.4

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200861

中文引用格式: 周扬, 熊俊俏. 基于 Wi-Fi 和人脸识别技术的智能锁系统设计[J]. 电子技术应用, 2021, 47(6): 57-61.

英文引用格式: Zhou Yang, Xiong Junqiao. Design of intelligent lock system based on Wi-Fi and face recognition technology[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(6): 57-61.

Design of intelligent lock system based on Wi-Fi and face recognition technology

Zhou Yang, Xiong Junqiao

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

Abstract: Aiming at the security problems existing in traditional door locks, an intelligent lock system combining Wi-Fi technology and face recognition technology is designed. The system adopts STM32F103 as the core control device and CC1101 as the communication and transmission module, which can effectively reduce power consumption and realize information interaction. MULBP(Multiple Uniform Local Binary Patterns, MULBP) face recognition algorithm is put forward at the same time, compared with before improvement to enhance the image grayscale average and each row, column and diagonal elements, the relationship between value of new LBP operator is more able to reflect the local texture feature, and combined with 2DLDA(Two-dimensional Linear Discriminant Analysis, 2DLDA) algorithm find the projection matrix, to make the sample more easy to distinguish, easier for feature extraction. The results show that the fusion algorithm not only reduces the feature dimension but also improves the recognition rate, making the system achieve the purpose of intelligent anti-theft.

Key words: intelligent lock; wireless communication technology; local binary mode; two-dimensional linear discriminant analysis

0 引言

随着无线通信技术和物联网技术的不断发展, 人们的财产安全和信息安全意识不断提升, 智能家居的理念也已经成为人们关注的热点问题^[1-2]。文献[3]中介绍的智能锁系统采用了一种蓝牙与 FPGA 相结合的技术, 经验证表明该系统的保密性和安全性都有所增强, 但存在功耗较大和成本较高的问题; 文献[4]中提出了一种基于 LBP 特征和改进 Fisher 准则的方法来提取直方图的特征, 得到了较好的效果, 但忽略了人脸的局部细微特征。因此, 本文采用传输速度快、接入方便的 Wi-Fi 技术来完成智能锁的通信, 选择功耗较低且频段丰富的 CC1101 芯片来完成数据的收发。并结合多重均匀局部二值模式

(Multiple Uniform Local Binary Patterns, MULBP)与二维线性判别分析(Two-dimensional Linear Discriminant Analysis, 2DLDA)融合人脸识别算法采集信息进行身份识别, 经实测表明该系统实现数据稳定传输的同时略微提升了识别的准确率。

1 系统总体结构

智能锁系统的整体结构主要由门锁终端、集中器、后台数据库服务器和远程客户端组成。

智能门锁的终端节点与集中器组成局域网, 它们将人脸识别的信息、门锁的当前状态、告警信息等数据上传到集中器^[5-6]。然后集中器通过 Wi-Fi 模块将数据传输到后台的数据库服务器, 人脸信息与数据库比对通过即完成开锁, 当遇到无法解锁的情况时系统会将此时的状态信息发送请求到移动终端供用户查看, 最后客户端

* 基金项目: 武汉工程大学研究生创新基金(CX2019150)

给出响应再返回给后台服务器。从而建立了一次线程处理业务与客户端的交互过程。系统整体结构图如图 1 所示。

2 门锁系统方案设计

系统的核心处理器采用 STM32F103 的单片机芯片^[7-8]。该芯片是标准的 ARM 结构, 拥有 16 KB 的 SRAM 和 512 KB 的嵌入式 Flash 用于存储程序和数据, 以及多种低功耗模式, 可以满足在任何时间内以最低功耗完成任务的需求。

2.1 门锁整体架构

Wi-Fi 模块采用 ESP8266 串口转 Wi-Fi 无线模块, 主要功能是实现数据的解析和转发; 红外检测模块是通过红外扫描仪来搜索门锁外的人体情况; 摄像头部分采用 OV7670 摄像头进行采集, 其优点是所占空间较小且工作电压较低; 视频数据传输部分采用上海富瀚公司的 FH8610 芯片。该芯片具有较强的图像处理功能, 可实现图像的显著增强和色彩校正, 进一步提升识别的准确率; 系统采用锂电池的供电方式, 并且用专用的 USB 接口来完成充电和数据的传输; 系统内部无线通信模块采用的是 CC1101 射频芯片, 这种芯片的体积小, 频段选择范围广, 功耗低。与集中器构成通信链路后, 可以与后台数据库服务器进行信息的交互。门锁模块的整体结构如图 2 所示。

2.2 无线通信模块

CC1101 芯片的无线通信模块电路图如图 3 所示。SCLK 为同步时钟管脚, 用来数据的读取和写入; CSN 作为芯片选择管脚只有当其处在低电平的时刻 SPI 口才可以完成正常的通信; SO 和 SI 分别用于输出数据和输入数据; GD02 管脚检测从 STM32 传输的数据, 当信道中有数据传输时, GD02 管脚电平发生跳变; 电路中电容 C_8 、 C_{10} 和电感 L_2 、 L_3 组合在一起构成了低通选频网络^[9-10], 将低频率的信号与其他频率完成分离; CC1101 将 SI、SO、SCLK 以及 CSN 的 4 线 SPI 接口用于配置和缓冲器数据的读写, 还可以通过对 SI、SCLK、CSN 接口的重新使用来控制无线

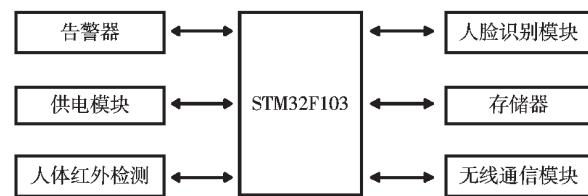
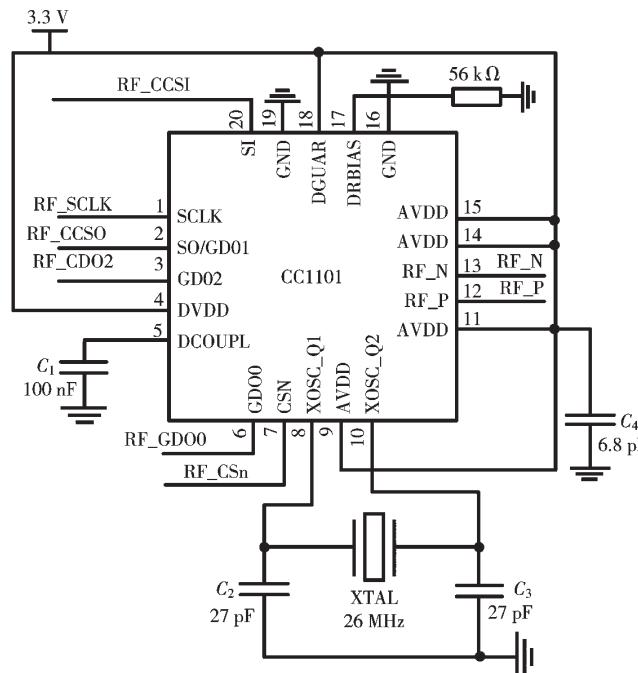
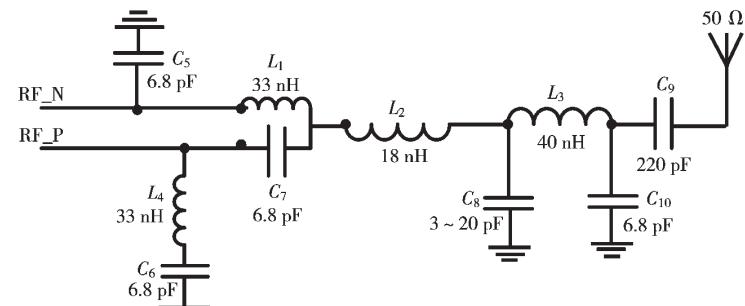


图 2 门锁模块结构图



(a) 无线通信模块电路图



(b) 低通选频网络

图 3 无线通信模块整体电路图

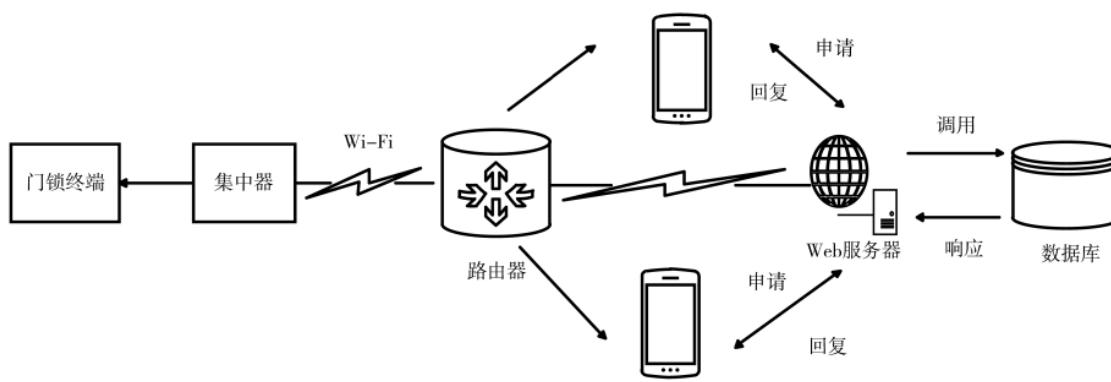


图 1 系统结构图

的主要状态，如 Sleep、IDLE、RX、TX 等。

另外，无线模块的主要功能是及时地向集中器传输数据以及准确接收集中器转发的数据进行数据处理。CC1101 模块可以在低功耗的情况下对数据传输、缓冲数据和信道评估等功能给予硬件支持，同时其配置的无线唤醒功能允许其收到与自身匹配的数据包时能将 CC1101 周期性地从 SLEEP 状态唤醒^[11-12]，并执行开锁的命令，不需要 MCU 监听输入的数据包，从另一方面也降低了功耗。无线通信模块的工作流程如图 4 所示。

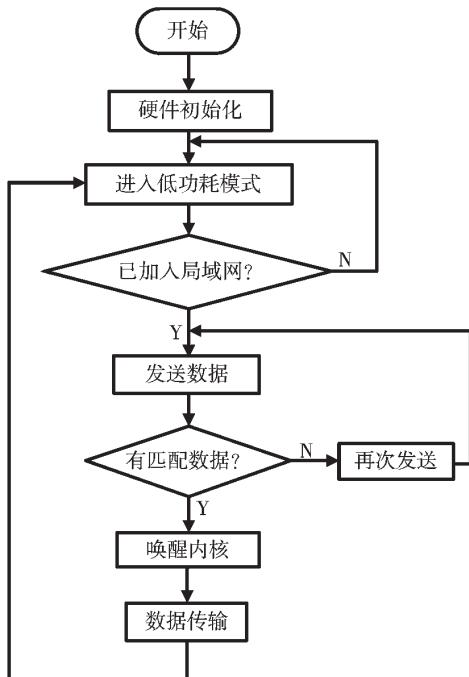


图 4 无线通信模块工作流程

2.3 人脸图像识别

人脸识别效果的好坏主要取决于所采用的特征算法。局部二值模式是一种描述图像局部纹理特征的算子，它具有旋转不变性^[13-14]和灰度不变性^[15]等优点。原始的 LBP 算子是定义在九宫格内，以窗口的中心像素为阈值，把相邻的 8 个像素的灰度值与其进行比较，如果周围大于中心点的像素值则被标记为 1，否则标记为 0。这样 8 个点产生的二进制数转换为十进制后即为窗口中心像素点的 LBP 值。但是，传统的 LBP 算子容易受到噪声的影响以及特征提取方面的限制。所以本文在此基础上提出了基于 MULBP 和二维 2DLDA 相结合的算法^[16]。在九宫格中，邻域个数 $p=8$ 的情况下，先将中心像素值 p_c 分别与水平方向的每行像素值，竖直方向的每列像素值还有对角线方向的像素值相加求其平均值。这样做的好处是相较于传统的 LBP 算子不再仅仅考虑邻域像素值与中心像素值的大小关系，还把每一行、每一列以及对角线的像素值也包含进来。最后将此时得到的平均值再与图像的灰度均值进行大小比较，所得到的结果更

准确地反映了该部分的纹理特征^[17]。算法原理图如图 5 所示。

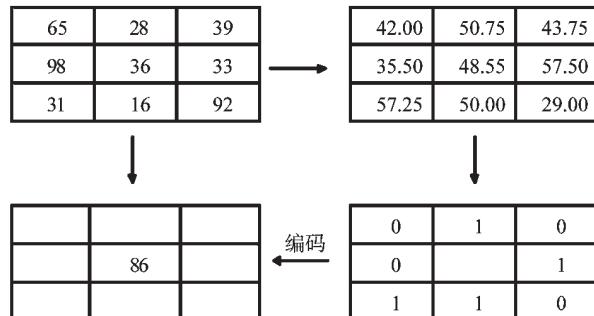


图 5 MULBP 算法原理

2DLDA 则是负责寻找类内样本与类间样本之间的差别从而获得最佳投影矩阵的识别分类法^[18-19]，具体方法是将 LDA 在一维空间中的特征提取转移到二维的矩阵中，线性分析判别的方法如下。

假定 m 为样本类别数目， N 为训练样本总数， N_i 表示第 i 类样本数， X_j^i 表示图像分类第 i 类中的第 j 个样本， \mathbf{U}_i 代表第 i 类样本均值矩阵， \mathbf{U} 代表总体均值矩阵， S_b 代表类间离散度矩阵， S_w 代表类内离散度矩阵，由矩阵定义可得：

$$\mathbf{S}_b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m N_i (\mathbf{U}_i - \mathbf{U})^T (\mathbf{U}_i - \mathbf{U}) \quad (1)$$

$$\mathbf{S}_w = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} (X_j^i - \mathbf{U}_i)^T (X_j^i - \mathbf{U}_i) \quad (2)$$

通过 2DLDA 找到投影方向，并利用 Fisher 准则函数求取最大结果^[20]，准则函数定义为：

$$J(\mathbf{W}) = \text{argmax} \frac{\mathbf{W}^T \mathbf{S}_b \mathbf{W}}{\mathbf{W}^T \mathbf{S}_w \mathbf{W}} \quad (3)$$

对 $J(\mathbf{W})$ 求取极大值，即对 \mathbf{W} 求偏导即可。

$$\begin{aligned} \frac{\partial J(\mathbf{W})}{\partial \mathbf{W}} &= \frac{\partial \left(\frac{\mathbf{W}^T \mathbf{S}_b \mathbf{W}}{\mathbf{W}^T \mathbf{S}_w \mathbf{W}} \right)}{\partial \mathbf{W}} = \\ &\frac{\mathbf{S}_b \mathbf{W} (\mathbf{W}^T \mathbf{S}_w \mathbf{W}) - \mathbf{S}_w \mathbf{W} (\mathbf{W}^T \mathbf{S}_b \mathbf{W})}{(\mathbf{W}^T \mathbf{S}_w \mathbf{W})^2} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

因式(4)分母不能为 0，故满足分子为 0。所以最大值求取公式为：

$$\mathbf{S}_b \mathbf{W} = \lambda_i \mathbf{W} \mathbf{S}_w \quad (5)$$

由于 \mathbf{S}_w 为非奇异矩阵，对矩阵直接取特征值降序排列，获得前 n 个非零特征值对应的特征向量即得到最优投影矩阵 $\mathbf{W} = [\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \dots, \mathbf{W}_n]$ 。又由于 2DLDA 对光照敏感存在局部信息描述不完整的问题，故将上述两种算法结合刚好达到优势互补的效果。

3 系统软件结构与性能测试

3.1 系统管理

为了方便用户能够实时地查看门锁周围的情况，将软件系统设计分为手机客户端和服务器端两个部分。客

客户端可以控制集中器与后台服务器相连接,从而建立了与所有门锁的连接。服务器端则响应并处理客户端发来的业务需求以及存储门锁状态和用户信息。首先进行门锁的添加,先在 Wi-Fi 列表选择一个 Wi-Fi 输入密码并连接,配置完成后即完成锁的添加。门锁添加过程如图 6 所示。



图 6 门锁添加过程

在完成设备的添加后,用户首先需要完善自己的个人信息,待用户填写完毕后,系统会将用户填写的信息发送至后台数据库服务器进行存储和验证。门锁开启的流程为:系统首先通过红外检测识别到门外的人员,而后对人脸信息进行采集,采集结果与后台数据库的用户信息进行比对,如果已完成注册则开启门锁。人脸开锁成功如图 7 所示。



图 7 人脸开锁

而如果是尚未注册的陌生人系统则会向手机客户端发出警告,并调用此时的监控给用户,若用户认可则需输入远程开锁密码,服务器端收到允许开锁的指令后完成此次开锁。远程开锁界面如图 8 所示。



图 8 远程开锁

3.2 数据测试

对于无线传输而言,数据传输的可靠性也是很重要的一项衡量指标,只有数据传输可靠才能够确保网络的稳定。因此,先要对丢包率进行量化分析,采用一端发送,另一端接收的方法,最后计算没有被接收的数据帧占总数据帧的比例,即为丢包率。为测得丢包率,将通信环境定于室内,模块两端的发射功率都设置为 10 dbm,固定发送 47 B 数据,数据循环发送次数为 1 000 次,根据测试误码率的结果来确定最佳的通信距离。经过多次测量,结果如表 1 所示。从表中数据可以看出,传输距离在 20 m 以内时可以实现数据的稳定传输。另外,针对改进前后不同样本的算法识别率进行了测试,最后根据识别效果可以看出效果较传统算法与文献[4]的准确率有略微的提升,测试结果如表 2 所示。

表 1 误码率测试结果

| 室内通信距离/m | 发送数据包数量/个 | 接收数据包数量/个 | 丢包率/% |
|----------|-----------|-----------|-------|
| 5 | 1 000 | 1 000 | 0 |
| 10 | 1 000 | 1 000 | 0 |
| 15 | 1 000 | 1 000 | 0 |
| 20 | 1 000 | 1 000 | 0 |
| 25 | 1 000 | 947 | 5.3 |
| 30 | 1 000 | 798 | 20.2 |

表 2 算法识别率对比 (%)

| 算法 | 样本数 | | | |
|-------------|------|------|------|------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 传统 LBP | 69.7 | 72.4 | 76.2 | 79.1 |
| 文献[4] | 75.2 | 85.1 | 88.5 | 93.3 |
| MULBP+2DLDA | 82.1 | 87.3 | 91.7 | 94.8 |

4 结论

本文提出了一种将 Wi-Fi 技术和人脸识别技术相结合的智能锁系统的设计方案,详细说明了系统的硬件选择和软件环境搭建,提出的融合算法增强了识别的准确率。系统结合了远程客户端,用户可以通过客户端查看门锁的实时情况,可以有效地实现智能监控的目的,有着较为广阔的市场前景。然而该系统仍存在待优化的地方,如信号的绕射能力较差、客户端界面有待优化等。

参考文献

- [1] 王洁.不止于引领工控显示,欣瑞达正瞄准智能家居[J].
电子技术应用,2017,43(5):5.
 - [2] 阮小林.从锁开始的智能家居[J].中国建筑金属结构,
2018(8):16-19,21.
 - [3] 柏佳,魏鑫,朱广.基于 FPGA 蓝牙通信技术的智能电子
锁系统[J].电子技术应用,2019,45(8):128-130.
 - [4] 刘斌,徐岩,米强,等.LBP 特征和改进 Fisher 准则的人脸
识别[J].计算机工程与应用,2017,53(6):155-160.
 - [5] 张焕兰,肖明波.基于 433 MHz 频段安全的智能锁系统设
计[J].计算机工程与设计,2018,39(9):2736-2742,2747.
 - [6] 陈慧.基于 Si4432 无线传感器网络的温湿度监测系统设
计[D].贵阳:贵州大学,2018.
 - [7] 肖道.基于 STM32 的家居安防系统设计与测试[D].石家
庄:河北科技大学,2019.
 - [8] 陈国童,邱兴阳.基于 WIFI 的 Android 手机智能家居控
制[J].辽宁大学学报(自然科学版),2020,47(1):91-96.
 - [9] 孔春丽.基于 FPGA 的便携式选频向量仪设计[D].哈尔滨:
哈尔滨理工大学,2016.
 - [10] 张学文,司佑全.关于 RC 串联并联选频网络实验的改进[J].

(上接第 50 页)

Journal of Solid-State Circuits, 2016, 51(9):2106–2118.

- [15] MALCOVATI P, MALOBERTI F, FIOCCHI C, et al. Curvature-compensated BiCMOS bandgap with 1-V supply voltage[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2001, 36(7): 1076–1081.

(收稿日期:2020-12-22)

湖北师范大学学报(自然科学版),2017,37(2):68-71.

- [11] 于飞,曹炳尧,张俊杰.基于 CC1101 的智能门锁无线低功耗休眠唤醒机制设计[J].电子测量技术,2019,42(17):142–147.
 - [12] 吴少龙,杨国为,邓燕.MSP430 和 CC1101 的电磁波唤醒功能设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2014,14(11):9–10.
 - [13] 孙伟,赵玉普.增强旋转不变 LBP 算法及其在图像检索中的应用[J].计算机科学,2019,46(7):263–267.
 - [14] 亢洁,李珍,王晓东,等.基于 MB_LBP 旋转不变特征的 AdaBoost 人脸检测算法研究[J].陕西科技大学学报,2017,35(4):164–167.
 - [15] 陆聪.基于灰度 LBP 共生矩阵和空间加权 k-means 的织物图像疵点分割[D].杭州:浙江大学,2019.
 - [16] 蒋阿娟.基于改进的 LBP 与 2DLDA 算法的人脸识别研究[D].淮南:安徽理工大学,2019.
 - [17] KAPLAN K, KAYA Y, KUNCAN M, et al. An improved feature extraction method using texture analysis with LBP for bearing fault diagnosis[J]. Applied Soft Computing, 2020, 87(C): 106019.
 - [18] 朱根发.基于 2DLPP 与 2DLDA 的车标识别方法研究[D].重庆:重庆大学,2018.
 - [19] Wu Chen, Song Yonghong, Zhang Yuanlin. Multi-view gait recognition using NMF and 2DLDA[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(1): 08153–4.
 - [20] 徐小雨,赵龙章,程晓月,等.基于改进 Fisher 判别准则的卷积神经网络设计[J].计算机工程,2020,46(11):255–260, 266.

(收稿日期:2020-08-24)

作者简介：

周扬(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能信息处理、无线通信网络。

熊俊俏(1966-),男,博士,教授,主要研究方向:扩频通信与短波通信网、无线传感网络的应用。



扫码下载电子文档

作者简介：

翟鹏飞(1991-),男,博士研究生,主要研究方向:电源完整性
和模拟集成电路设计。

周雄(1987-),男,博士,副教授,主要研究方向:模拟及数模混合信号集成电路设计。

李强(1979-),男,博士,教授,主要研究方向:模拟及数模混合信号集成电路设计。



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