

信号指纹识别技术发展与应用*

徐韦佳,汪泽焱,李延标,娄朴根,姚佳,徐劼,白静
(中国人民解放军陆军工程大学 基础部,江苏 南京 211101)

摘要: 由于制造工艺的细微差别,通信辐射源内部电路存在硬件差异,其发射信号会体现出区别于其他辐射源个体的特征,即为信号指纹。利用信号指纹识别技术,可以识别同型号的不同辐射源个体,进行信号追踪、监测,实现军事打击。论述了信号指纹识别技术的原理,分析了国内外关于信号指纹提取与识别的研究现状,展望了该技术未来在军事和民用领域的应用。

关键词: 信号;指纹;识别;应用

中图分类号: TN92

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2097-1788.2023.01.012

引用格式: 徐韦佳,汪泽焱,李延标,等. 信号指纹识别技术发展与应用[J].网络安全与数据治理,2023,42(1): 86-91.

Development and application of signal fingerprint identification technology

Xu Weijia, Wang Zeyan, Li Yanbiao, Lou Pugen, Yao Jia, Xu Jie, Bai Jing
(Basic College, Army Engineering University of PLA, Nanjing 211101, China)

Abstract: Due to the subtle differences in manufacturing processes, there are hardware differences in the internal circuits of communication radiation sources, and their transmitted signals will reflect the characteristics different from other radiation source individuals, that is, signal fingerprints. By using the signal fingerprint identification technology, different radiation source individuals of the same model can be identified for signal tracking and monitoring to achieve military strike. This paper discusses the principle of signal fingerprint identification technology, analyzes the research status of signal fingerprint extraction and identification at home and abroad, and prospects the application of this technology in military and civil fields in the future.

Key words: signal; fingerprints; distinguish; application

0 引言

近年来爆发的阿富汗战争、伊拉克战争以及俄乌战争,无一例外以电磁波为载体作为当代军事战场通信的重要方式^[1]。如今战场电磁环境变化复杂,随着空间军事电磁设备的快速增长、运行模式愈发多样、部署空间从早期的陆地发展到海洋和外太空,电磁信号越来越密集,加大了信号获取难度,造成当今电磁环境日趋复杂多变^[2]。如何在战场复杂电磁环境中捕获敌军信号,提取关键信息,区分出敌我双方的不同辐射源个体,同时获取辐射源的型号、地理位置、信号参数等信息,对于我军掌握战场制信息权、实现精准打击尤为关键。

指纹识别技术最初通过采集生物指纹特征,用于身份识别,是一种技术成熟的身份识别技术^[3]。随着当代通信技术的飞速发展,指纹识别的含义逐渐拓展至辐射源的个体识别。

信号指纹产生的本质原因是由于制造过程中不可避免的硬件误差,使得传输信号产生不会影响正常通信功能的极其轻微的失真,具有稳定性和规律性的特点^[2],可以通过提取特征信号实现对辐射源个体进行识别,即为信号指纹识别技术^[4]。在伊拉克战争中,美军成功运用信号指纹识别技术,精准定位敌方电台并一举摧毁。因此,掌握信号指纹识别技术,实现辐射源的个体识别,已经成为获取情报、把握战场主动权的有效途径^[5]。

信号指纹识别是一种基于物理层的设备识别

* 基金项目:陆军工程大学基础部励志基金(JBLZJJ2017)

方案,其概念来源于雷达识别领域的特定辐射源识别(Specific Emitter Identification, SEI)。传统的雷达识别是通过各种脉冲参数对雷达进行识别,当脉冲参数相似时,雷达系统会表现出相似的电磁特性,此时则难以识别不同雷达个体。

为了解决雷达个体识别问题,以美国为代表的军事大国率先开展关于信号指纹识别技术的研究,迄今为止已取得快速发展。早在1977年,美国海军实验室开展雷达领域SEI的研究,通过提取特征信号成功识别雷达发射器,其项目负责人Goodwin率领团队在该领域上研究十多年,并且因此获得美国海军文职人员卓越贡献奖^[6]。美国陆军于1990年启动测量与特征情报“Measurement and Signature Intelligence(MASINT)”管理计划,是基于SEI技术的延伸,重点研究能反映辐射源个体信息的指纹特征^[7]。此外,欧洲的发达国家也在军事领域加强信号指纹识别技术的研究。英国QinetiQ公司近年研制了CELT Mariner RWR船用告警器,捷克研制了具备SEI技术的VERA-E系统,德国即将研制具备SEI技术的“欧洲鹰”无人机^[7]。信号指纹识别技术不仅可以实现敌我辐射源个体的识别,同时可以获取敌方辐射源地理位置、型号等相关设备信息,进一步获取通信网络、作战指挥等相关信息,在军事上的应用举足轻重。国际上的军事大国重视对信号指纹识别技术的研究,并且已经成功运用到设备研制和战场实例中,例如近期的俄乌战争,美军和欧洲强国的军事装备在战场上取得了良好的军事效果。

20世纪90年代,民用信号指纹识别技术开始发展,且得到广泛应用。由于信号指纹具有独一无二、难以仿冒的特点,可以作为辐射源个体特殊的身份标识。目前,信号指纹识别技术已经被多个无线通信系统验证,例如雷达、Wi-Fi、ZigBee、蜂窝移动网络等。由于指纹识别技术工作在物理层,和上层身份接入机制相辅相成,可以有效弥补传统个体识别技术的不足,提高无线网络接入的安全性^[6]。

近年来,国内开始着手信号指纹识别技术的研究,并且取得了阶段性研究成果。国内多家科研机构 and 高校,例如华中科技大学、电子科技大学、东南大学、西安电子科技大学、电子科技集团第36所和第10所,在理论研究(主要是算法研究和计算机仿真方面)上取得了一定研究成果^[4],通过对信号特征提取算法的不断改进和优化,提高个体识别效

果。华中科技大学的徐书华博士,在理论研究的基础上,采用电台实物个体进行实验验证,实验结果显示,在较低信噪比环境下,可以实现同一型号的不同电台个体识别,证明了信号指纹识别技术的实际可行性^[8]。

随着射频通信设备在军事中逐步得到广泛应用,近年来,国内关于信号指纹识别的研究目标逐渐转移到了射频信号领域,且取得了一定研究成果。然而,由于信号指纹识别技术具有重要军事价值,出于保密原因,难以接触到核心内容,因此共开出版文献记录很少^[9]。加上美国等发达国家针对我国的技术封锁,国内研究起步较晚,因此国内在该项技术的研究上与美国尚存在较大差距。美军已经将该项技术成功应用到伊拉克战争、俄乌战争中,一举摧毁敌方雷达和电台,我国仍停留在以识别算法为主的理论研究层面,实验数据欠缺,目前还没有公开资料显示该项技术已经应用于战况实例。

● 如今,信号指纹识别技术已然成为当代电子战研究领域的热点^[4]。若能在战场复杂电磁环境中有效提取辐射源的信号指纹特征,将不同辐射源装备区分,即可判断敌方通信网络结构和设备工作状态,为我军战斗计划部署提供关键依据。同时,该技术的发展也促进我国通信对抗装备的研制以及诸多民用设备的改进,具有重要战略意义^[7]。

1 国内外研究现状

当前对目标辐射源发射的信号指纹的研究分为两种,分别是暂态信号和稳态信号。

信号辐射源在开机瞬间、通信模式切换时发射的信号称为暂态信号,开机达到稳定状态之后的正常通信过程发射的信号称为稳态信号^[10]。由于刚开机时辐射源内部电路工作尚不稳定,因此暂态信号中包含有丰富的辐射源个体特征信息,当辐射源进入正常工作状态时,内部电路工作状态逐渐稳定,信号指纹差异逐渐减弱^[6]。因此,不同辐射源个体发射的信号会因这些细微特征而存在差异。当前,国内外对暂态信号的研究相对成熟,可是,由于暂态信号发射时间短、信号不稳定,在低信噪比环境中,暂态信号的特征提取存在一定难度。稳态信号虽相对平稳,容易捕获,但是信号特征不如暂态信号丰富,因此当前仍处于研究阶段,也获得了一些研究成果。

1.1 辐射源暂态信号的提取与研究现状

国外对信号指纹识别技术开始研究起步较早,研究对象主要是辐射源的暂态信号^[4]。暂态信号是指信号辐射源在非稳定工作状态下的开机信号,具有瞬时性、样本数少、信号不稳定的特点。当电台刚开机或切换工作模式时,电台内部元器件处于不稳定工作状态,其暂态信号具有非线性和非稳定性特点^[4]。通过提取暂态信号特征,能够实现通信辐射源的个体识别。

暂态特征研究主要集中在两方面,一是信号端点检测,二是信号特征提取^[11]。对于信号端点检测,早在1995年,Choe提出可以利用暂态信号特征进行通信辐射源的识别,该项技术的识别过程主要包括暂态信号的起始点定位和特征提取两部分^[12]。Shaw通过计算滑动窗口中信号幅度的方差,对暂态信号的起始点进行定位,设计实验定位暂态信号的结束点^[13],最终根据信号的幅度变化定位暂态信号过程^[14]。2015年,Wang提出一种波形特征流行法,从二进制小波包变换得到的波形特征空间中提取弱特征^[14]。2016年,Digulescu提出了一种基于递归图分析方法用于暂态信号的端点检测^[15]。对于暂态特征提取,早期主要研究多项式系数特征提取方法,由于当阶数较高时,该方法精度较差,因此当前主要采用的是小波系数特征变换域方法。2012年,Rehman将暂态信号进行短时傅里叶变换得到变换域特征,获取暂态信号的指纹特征,取得了较好效果^[16]。2016年,Huang提出一种归一化置换熵的方法来描述暂态信号指纹特征,虽取得较好的识别效果,但该方法效果受数据量的影响较大^[17]。

综上所述,暂态信号是辐射源在非稳定工作状态时发射的信号具有非线性特征,带有强烈的个体色彩,其中,以开、关机时的特性研究最为普遍,其个性特征具有不可比拟的优势,因此在国内得到广泛研究,且已形成上述诸多研究成果^[18]。暂态信号的研究适用于阶数低、样本数据量大、信噪比高的条件。当前国内外对信号指纹的识别多集中于暂态信号中的开机信号,再利用特征提取方法实现辐射源的个体识别。然而,在非协作式通信条件下,通信对抗环境中的暂态信号往往都是存在时间短、不稳定、样本数目少,从而造成对于暂态信号的捕获具有一定难度,且暂态信号和噪声具有一定程度上的相似性,所以暂态信号研究不适用于低信噪比环

境和样本数目少的情况^[8]。

1.2 辐射源稳态信号的提取与研究现状

稳态信号虽容易获得,但是特征信息含量比暂态信息少,且具有时变、非平稳等特点,常规的阶统计方法准确率较低,因此常用高阶方法^[10]。1993年,Tugnait使用高阶统计量提取稳态信号的J特征和R特征,作为稳态信号特征^[19]。1998年,Huang提出一种自适应分析方法,称为希尔伯特-黄变换(Hilbert-Huang Transform, HHT)方法,成为后续研究重要方法^[20]。由于变换域方法可以检测到辐射源内部器件产生的无意调制,且识别效果良好,因此变换域方法得到深入研究。2011年,王磊构造出模糊函数,对信号进行切片处理后得到特征参数^[21]。2012年,Li Jingchao构造holder系数作为信号特征^[22]。2015年,刘明骞提出用广义累积量和瞬时相位作为信号特征,效果较好^[23]。2018年,Yang通过构建高阶累积量检测函数提取信号包络,效果良好且能有效抑制噪声^[24]。

综上所述,辐射源在稳定工作状态下,其产生的稳态信号持续时间比较长,信号的监测和捕获都相对容易,其频率特性、调制特性和杂散特性等呈现出个体差异。这时需要采取多种信号处理方法,从时域、频域和高阶谱等不同角度,对稳态信号进行处理和特征提取。稳态信号所包含的细微特征差异也可以反映辐射源的个体差异。可作为指纹特征参数主要包括载频和码速率、杂散输出信号、高阶谱、矩形积分双谱、噪声特性、频率特性等^[8]。

2 信号指纹识别技术原理

信号指纹识别技术通过捕获通信辐射源信号、进行分析计算,从而获取辐射源参数及工作状态,再通过比对辐射源信号指纹库,最终实现辐射源个体的识别。其工作原理框图如图1所示^[25]。

根据图1原理框图所示,辐射源信号指纹识别

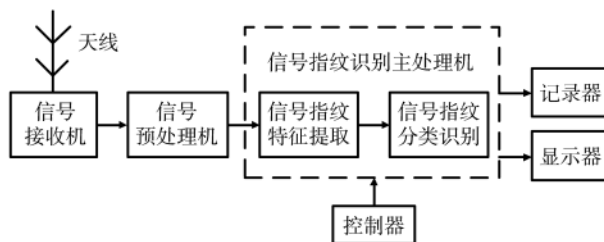


图1 信号指纹识别技术原理框图

分为四个步骤,包括信号接收、信号预处理、信号指纹识别和显示输出^[6]。首先天线捕获辐射源发射的无线信号,经过信号预处理机对接收信号进行降噪等预处理,选取用以识别的信号,采用特定算法提取信号特征并进行分类识别,最后显示输出。其中最为关键的环节为信号特征提取和分类识别,直接决定了辐射源个体识别的准确率^[25]。

2.1 信号接收

信号接收机截获通信辐射源发射的无线信号,通过测量、采样和量化得到可以用矩阵或向量表征的一维波形或二维图像,之后传递给下一级的信号预处理机^[18]。

2.2 信号预处理

信号预处理主要包括:信号能量归一化、信号同步、偏频相频估计补偿和目标信号截取四个部分^[6]。由于战场电磁环境复杂,不可避免会携带噪声,实际获取的信号不可以直接进行特征提取和参数识别,需要进行预处理。预处理的主要目的是对能量进行归一化处理,截取合适的目标信号段,去除噪声,提高信噪比,有利于后续信号指纹提取与识别,提高识别的准确率。

2.2.1 信号能量归一化

由于辐射源功率不同或者距离远近等因素,会造成接收的信号功率不是恒定的,变化的功率会影响指纹识别效果,因此要对信号能量进行归一化处理^[6]。

2.2.2 信号同步

由于指纹识别算法研究的目标信号段不同,因此不同类型的信号检测方法不同,需要对信号的起始点和结束点进行检测,即为信号同步,具体可分为瞬态信号检测和稳态信号检测两类^[6]。

2.2.3 偏频相频估计补偿

在不同的应用场合中,可以考虑提取频偏和相偏作为信号指纹特征之一,辅助提高指纹识别精度。有时又需要补偿掉频偏和相偏,防止对提取的指纹特征产生干扰。这两种情况都需要先对频偏和相偏进行估计^[6]。

2.2.4 目标信号截取

不同通信系统中的信号标准不同,需要根据信号的具体形式对接收信号进行目标信号段截取^[6],尽可能去除噪声,减小噪声影响,提高信噪比,提高识别准确率。

2.3 信号指纹特征提取与分类识别

信号指纹特征提取与分类识别是信号指纹识别技术的关键内容。特征提取通过对原始数据进行变换和处理,得到最能反映信号本质的特征参数,进行有效分析;分类识别是采用统计方法,基于特征空间中的信息将被识别对象进行分类^[18]。其中,特征提取技术是识别的核心部分,涉及信号处理领域的诸多理论以及方法,选择提取信号的哪些特征作为特征参数以及特征提取质量的好坏,都影响后续分类识别算法的复杂程度以及最终识别效果^[8]。特征提取和指纹识别虽然是两项技术,但是两者相辅相成,只有根据提取的信号指纹特征,匹配合适的指纹识别技术,才能达到理想的识别效果^[6]。

理论上,为了保证发射信号的可辨性和独特性,不同辐射源个体的辐射信号应具备明显的信号特征。然而,在战场复杂电磁环境中,出于抗干扰、防攻击的目的,会使用相同型号的辐射源以及信号调制模式,辐射源信号参数之间只存在较小的差异,这时要实现辐射源个体识别的难度较大^[25]。因此,提高信号特征提取和分类识别技术的准确性尤为重要。

3 信号指纹识别技术展望

信号指纹识别技术由于具备较高的军事价值,已经广泛应用于军事领域,由于近年来随着该项技术的发展和不断成熟,其应用也拓展到了民用领域。当前世界各国重视国防力量的发展,想要及时获取情报、把握战场主动权、取得战场制电磁权的绝对优势,必须加强对信号指纹识别技术的研究,该项技术也定会在未来得到长足发展。

3.1 军用领域

3.1.1 通信侦查

利用信号指纹识别技术,可以在战场上快速实现对通信辐射源个体的识别,同时监测敌方重要电台的位置变化,获取敌方设备型号、通信网络架构等关键信息,有针对性地进行干扰和军事打击,起到事半功倍的效果^[4]。

3.1.2 掌握战场电磁态势

当前电磁环境日趋复杂,获得战场制电磁权是获取胜利的关键。在复杂的战场电磁环境中获取敌方通信设备信息,进而获取通信网络结构、武器装备系统等信息尤为重要。信号指纹识别技术通过截获敌方辐射源无线通信信号,进而获取辐射源的个

体信息,有助于推测敌方战争部署以及各级指挥等信息,有利于我军掌握战场电磁态势,把握战场主动权^[7]。

3.1.3 无人作战

当代战争已经彻底告别冷兵器时代,打的是信息化战争,很多场合采取的是无人作战方式,其中最具代表性的就是无人机作战。无人机作战作为一种新型作战方式,适用于恶劣的战场环境、节省人力物力,具有极大优势,在当今战场上随处可见。无人机通过电磁波与地面保持无线通信,通过捕获目标无人机发射的无线信号,采用信号指纹识别技术,可以在第一时间内对目标无人机进行敌我识别,对敌方无人机采取军事措施,进行监测、跟踪、干扰或者击落。

3.1.4 建立信号指纹库

以雷达、电台为代表的通信辐射源具备信号指纹特征,同种类型的辐射源指纹在某些方面具有一定的相似性,可以建立信号指纹库,将不同类型的辐射源信号指纹进行整理、归类。在对战场上捕获的信号进行识别后,与指纹库进行比对,可以迅速判断目标信号的敌我属性,识别辐射源个体,第一时间制定军事作战方案,采取军事行动,有力提高作战效率。

3.2 民用领域

3.2.1 保障正常通信

随着当代无线通信技术的不断发展,其应用愈发广泛,为了保障无线通信业务的正常进行,我国政府频谱监测部门需要加强对信号辐射源的监测与管理,利用信号指纹识别技术掌握信号辐射源的通信情况,防止无线电之间的相互干扰,及时识别和排除非法通信^[10]。

3.2.2 识别非法用户

由于无线通信开放性的传输特性,其带来的安全性问题不容小觑。由于无线通信主要采用电磁波进行信号传输,没有固定的接入点,无法通过设置物理安全边界来防止非法接入,因此容易被非法用户进行攻击,包括主动攻击(非法接入、数据拦截、数据伪造、数据篡改等)和被动攻击(监控、窃听、流量分析等)^[6]。针对此,可以通过收集合法辐射源的信号指纹,建立合法的辐射源指纹数据库,形成合法用户和非法用户判断机制。该判断机制不但可以随时检测合法用户的通信状况,并且及时识别、追

踪和清除非法用户,保障人民财产安全^[10]。

3.2.3 监测产品质量

由于当前制造工艺的限制,即使是同一台流水线上生产出来的同种型号的辐射源,内部电路仍存在细微差别,这种差别会通过信号指纹体现出来。由于是同种型号辐射源,因此指纹特征会存在良好的一致性,如果某台辐射源的指纹特征出现较大差异,基本可以判断其产品质量存在问题。因此,信号指纹识别技术可以应用于产品质量检测,尤其是大批量的产品检测时,非常省事省力。

4 结论

随着当代无线通信技术的飞速发展以及信息化战争的要求,通信辐射源信号指纹识别技术具有重要研究价值,并且已经在电子对抗、信息侦查、通信安全等军事和民用领域得到广泛应用。在未来战场复杂电磁环境中,争夺制电磁权已成为成败关键,以美国为首的发达国家在无线电研究领域已取得巨大发展,并且利用现有技术通过电磁通信窃取他国机密,严重威胁国家安全。因此,打赢信息化战争,关注以信号指纹识别技术为代表的电磁信息安全研究,是我国国家信息安全、国防安全的重要保障。

参考文献

- [1] 杨林茂.复杂电磁环境下跳频电台仿真与通信效能研究[D].长沙:中南大学,2011.
- [2] 张世影.深度学习在辐照效应下射频电路指纹识别与可靠性分析中的应用研究[D].北京:北京邮电大学,2019.
- [3] 任毅.指纹识别系统的研究和实现[D].南京:南京邮电大学,2019.
- [4] 吴启军.电台指纹识别算法研究[D].西安:西安电子科技大学,2010.
- [5] 张谦,王吉,唐泽宇,等.基于深度学习的通信电台个体识别技术[J].电子信息对抗技术,2021,36(2):36-40.
- [6] 邢月秀.无线设备指纹的提取与识别方法研究[D].南京:东南大学,2021.
- [7] 谢阳.通信信号指纹特征提取与个体识别技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2016.
- [8] 徐书华.基于信号指纹的通信辐射源个体识别技术研究[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [9] 张宁,黄建冲,邹鹏,等.辐射源指纹识别及其关键技术的发展[J].飞航导弹,2011(5):42-46.
- [10] 王炳程.通信设备指纹识别关键技术研究[D].北京:

北京邮电大学, 2017.

- [11] 高伟. 通信电台信号指纹识别技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [12] CHOE H, PCOLE C E, YU A M. Novel identification of intercepted signals from unknown radio transmitters[C]// Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, 1995: 504–516.
- [13] SHAW D, KINSNER W. Multifractal modelling of radio transmitter transients for classification[C]// IEEE Proceedings of ICCPC '97, 1997: 306–313.
- [14] WANG Y, XU G, LIANG L, et al. Detection of weak transient signals based on wavelet packet transform and manifold learning for rolling element bearing fault diagnosis[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2015, 54–55: 259–276.
- [15] DIGULESCU A, MURGAN I, CORNEL I, et al. Applications of transient signal analysis using the concept of recurrence plot analysis[C]// Springer in Physics. Springer Proceedings in Physics, 2016.
- [16] REHMAN S U, SOWERBY K, COGHILL C. RF fingerprint extraction from the energy envelope of an instantaneous transient signal[C]// Communications Theory Workshop, 2012: 90–95.
- [17] HUANG G, YUAN Y, WANG X, et al. Specific emitter identification based on nonlinear dynamical characteristics[J]. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 2016, 39(1): 34–42.
- [18] 岳文卿. 基于包络高阶特性的 OFDM 电台识别技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [19] TUGNAIT J K. Detection of non-gaussian signals using integrated polyspectrum[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 42(11): 3137–3149.
- [20] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for non-linear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1998, 454: 903–995.
- [21] 王磊, 姬红兵, 史亚. 基于模糊函数特征优化的雷达辐射源个体识别[J]. 红外与毫米波学报, 2011, 30(1): 74–79.
- [22] Li Jingchao, Li Yibing, Lin Yun. LFM signal parameter estimation based on holder coefficient algorithm[J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 7: 5749–5756.
- [23] 刘明骞, 李兵兵, 石亚云. Alpha 稳定分布噪声下数字调制识别新方法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2015, 42(6): 1–5.
- [24] YANG Y, GUO Y, LI H, et al. Fingerprint feature recognition of frequency hopping based on high order cumulant estimation[C]// 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). IEEE, 2018: 2175–2179.
- [25] 温玉仓, 孙严冬, 朱荣法. 基于指纹识别的通信电台识别仿真算法研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(3): 198–201.

(收稿日期: 2022-09-29)

作者简介:

徐韦佳(1989–), 女, 硕士研究生, 讲师, 主要研究方向: 电磁学、电子技术。

汪泽焱(1972–), 男, 硕士研究生, 教授, 主要研究方向: 数学教育与管理。

李延标(1976–), 男, 硕士研究生, 副教授, 主要研究方向: 物理学、实验室研究与管理。



版权声明

凡《网络安全与数据治理》录用的文章，如作者没有关于汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权等版权的特殊声明，即视作该文章署名作者同意将该文章的汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权授予本刊，本刊有权授权本刊合作数据库、合作媒体等合作伙伴使用。同时，本刊支付的稿酬已包含上述使用的费用，特此声明。

《网络安全与数据治理》编辑部

www.pcachina.com