

基于 Prometheus 的分布式 DNS 性能测试和监测系统研究*

黄 兵, 吴云峰, 张凯欣, 韩庆敏, 张久发, 柴处处

(华北计算机系统工程研究所, 北京 100083)

摘 要: 域名解析服务是互联网访问和流量调度入口, 因此域名系统(Domain Name System, DNS)性能直接影响用户访问体验。基于 Prometheus 时序数据库, 设计实现一种分布式域名系统响应性能自动化测试监测系统, 使用该系统, 不仅可对自研 DNS 系统进行多节点分布式 DNS 性能测试, 而且可以时序化方式长时监测运行, 并以可视化方式实时监测 DNS 服务性能。

关键词: 性能测试; DNS; Prometheus

中图分类号: TP393.4

文献标志码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222624

中文引用格式: 黄兵, 吴云峰, 张凯欣, 等. 基于 Prometheus 的分布式 DNS 性能测试和监测系统研究[J]. 电子技术应用, 2023, 49(1): 91-96.

英文引用格式: Huang Bing, Wu Yunfeng, Zhang Kaixin, et al. Research of distributed performance testing and monitoring system for DNS based on Prometheus[J]. Application of Electronic Technique, 2023, 49(1): 91-96.

Research of distributed performance testing and monitoring system for DNS based on Prometheus

Huang Bing, Wu Yunfeng, Zhang Kaixin, Han Qingmin, Zhang Jiufa, Chai Chuchu

(National Computer System Engineering Research Institute of China, Beijing 100083, China)

Abstract: Domain name resolution service is the entrance for Internet access and traffic scheduling, therefore the performance of the Domain Name System (DNS) directly affects the user access experience. Based on the Prometheus time series database, this paper designs and implements a distributed automatic test and monitoring system for response performance of domain name system. This system can not only test the multi-node distributed DNS performance of the self-developed DNS system, but also monitor the operation in a time series mode for a long time, and monitor DNS service performance visually in real time.

Key words: performance test; Domain Name System; Prometheus

0 引言

域名系统(Domain Name System, DNS)^[1]将域名和 IP 地址相互映射, 是一种面向大用户量提供长时服务的系统。随着网络安全需求的发展, 为提升 DNS 的服务性能和安全服务能力, 很多公司采用自主研发实现 DNS 服务软件。因此, 实现对自研 DNS 的性能测试和实时检测是非常有必要的。

1 研究背景

DNS 在基于域名的网络访问过程中有着重要作用, 同时现网中大量的 DNS 解析请求对 DNS 服务器的性能提出很高的要求。测试 DNS 服务的性能, 首先需要选择 DNS 服务的测试方法。

对 DNS 服务器进行性能测试的常用工具^[2]有 Queryperf、Namebench、DNSPerf 等。

Queryperf 为 Bind 自带的 DNS 测试工具, 可以读取测试文件实现对 DNS 服务器性能的自动测试, 该测试文件的一条记录是一次测试。

Namebench 是由 Google 公司发布的一项服务, 可为用户搜索用户附近提供 DNS 服务最快的服务器。默认情况下, Namebench 对每个附近 DNS 服务器发送 125 个测试请求, 选择响应时间最快的服务器返回给用户。

DNSPerf 来自 Prospect One 公司, DNSPerf 从全世界超过 200 个城市节点来检测 DNS 服务器速度、反应时间及上线率。除此之外, DNSPerf 还有针对一般使用者会用到开放式 DNS 解析服务(Public DNS)进行监测记录。

* 基金项目: 国家重点研发计划“宽带通信与新型网络专项”(2018YFB1800704)

以上几种 DNS 性能测试工具的测试原理均是从本机读取测试文件,然后向目标服务器发起查询请求,最终在本机上统计结果进行报告。这些方法存在的问题是测试机器单一,导致测试结果具有局限性,仅可以反映测试机器所在的网络访问 DNS 服务的情况,但不能够反映实际全网实际环境的测试结果。

为了获得 DNS 服务器在突发流量的情况下的本地解析性能和非本地解析性能,在文献[3]中,作者以现有的层次结构 DNS 为例,从客户端连续地向 DNS 服务器发送请求包,每次发包的数量不一样,每次递增发送数据包,最大为一次连续发送 2 000 个请求包,发包的源地址在多个地址之间随机选择,评测服务器的性能主要是统计发送的请求数与接收的回应数。而文献[4]中,利用 PlanetLab 平台对 DNS 服务进行基于实际网络环境的性能测试,作者在分布于全球的计算机群 PlanetLab 部署 DNS 服务性能测试程序,通过分布式部署的测试程序反映 DNS 服务器的性能水平。

因此,在实现对 DNS 服务器的性能测试和实时检测时,需要设计反映实际全网实际环境的测试方式,并提供将实时监测结果进行可视化展示的平台,以提供可度量的指标评估和分析能力^[5]。同时面对海量 DNS 时序数据存在的收集和监控压力,搭建实时监控系统可以进一步实现信息化转型^[6]。本文设计实现一种针对自研 DNS 系统进行分布式、在线长时、自动化性能测试的系统,并能以可视化方式对 DNS 运行性能进行常态化实时监测。

2 相关技术

2.1 Prometheus 实时数据库

Prometheus^[7]是一个开源的系统监控和报警系统,用来收集和存储时间序列数据。作为新一代的监控框架,Prometheus 具有以下特点:

(1)Prometheus^[8]是按时间存储的所有数据,每一个时间序列数据由(度量指标名称,标签值)对唯一确定。所有的度量指标名称都可以设置任意的多维标签值,可以对数据模型进行聚合、切割和切片操作。

(2)在同一个查询语句,可以对多个度量指标进行乘法、加法、连接、取分数位等操作。

(3)平均每个采样点仅占 3.5 bit,同时采用 push gateway 引擎把数据推送至 Prometheus 服务器,一个 Prometheus 服务器可以处理数百万的度量指标。

因此,用于记录时间序列数据,Prometheus^[9]具有很大的优势。

2.2 Grafana 可视化平台

Grafana^[10]是一个跨平台的开源的度量分析和可视化工具,可以通过将采集的数据查询然后可视化的展示,经常被用作基础设施的时间序列数据 and 应用程序分

析的可视化,在其他领域也被广泛使用,包括工业传感器、家庭自动化、天气和过程控制等。

Grafana 支持许多不同的数据源,如:Graphite、InfluxDB、OpenTSDB、Prometheus 等。每个数据源的查询语言和能力都是不同的。Grafana 可以把来自多个数据源的数据组合到一个仪表板,但每一个面板被绑定到一个特定的数据源,它就属于一个特定的组织。

3 系统设计

3.1 系统架构

本系统基于 Prometheus 的分布式^[11]DNS 系统响应性能自动化测试监测系统由管理节点、中控节点、测试节点群三部分组成,如图 1 所示。

管理节点中要完成针对 DNS 性能进行测试管理及测试过程实时监测,并提供友好的可视化监测数据展示。

中控节点通过测试控制服务实现一方面接收来自管理节点的测试指令,另一方面同步调用测试节点群发分布式节点测试命令,并将测试节点群测试后结果数据进行汇聚、清洗回传给管理节点。

测试节点群的所有节点负责按中控节点的同步测试指令,向被测试 DNS 服务系统发起 DNS 性能测试流量数据包,并收集测试结果。

3.2 管理节点

管理节点提供两种服务:测试管理和测试监控。测试管理服务下达测试命令完成 DNS 性能测试,并将测试数据回传,测试监控服务基于 Prometheus 时序化数据库存储测试实时数据,并基于 Grafana 设计友好的 DNS 性能测试可视化监控界面。

3.2.1 测试管理和测试监控设计

由于 Prometheus 时序化数据库专门针对常时在线运行的设备或服务进行监控^[12],这一工作机制要求被监控对象一直在线有效运行,而本系统 DNS 性能测试是基于事件驱动对象,因此需要基于 Prometheus 的 Pushgateway 引擎^[13]提供 DNS 测试数据时序化拉取源,进而在测试管理服务中针对 Pushgateway 引擎设计了一种测试数据主动推送服务。整个 DNS 测试中的数据流如图 2 所示。

首先由测试管理服务下达测试命令完成 DNS 性能测试后,完成测试数据回传清洗后,通过测试数据推送模块将数据时序化后,主动推送测试监控服务中的 Pushgateway 引擎。一旦完成数据推送,Prometheus 就可以按设定时间间隔从 Pushgateway 引擎自动拉取数据,并形成 DNS 性能测试时序数据库,为 Grafana 提供可视化展示数据源。

3.2.2 可视化设计

为达到 DNS 性能测试数据在 Grafana 中进行多维护

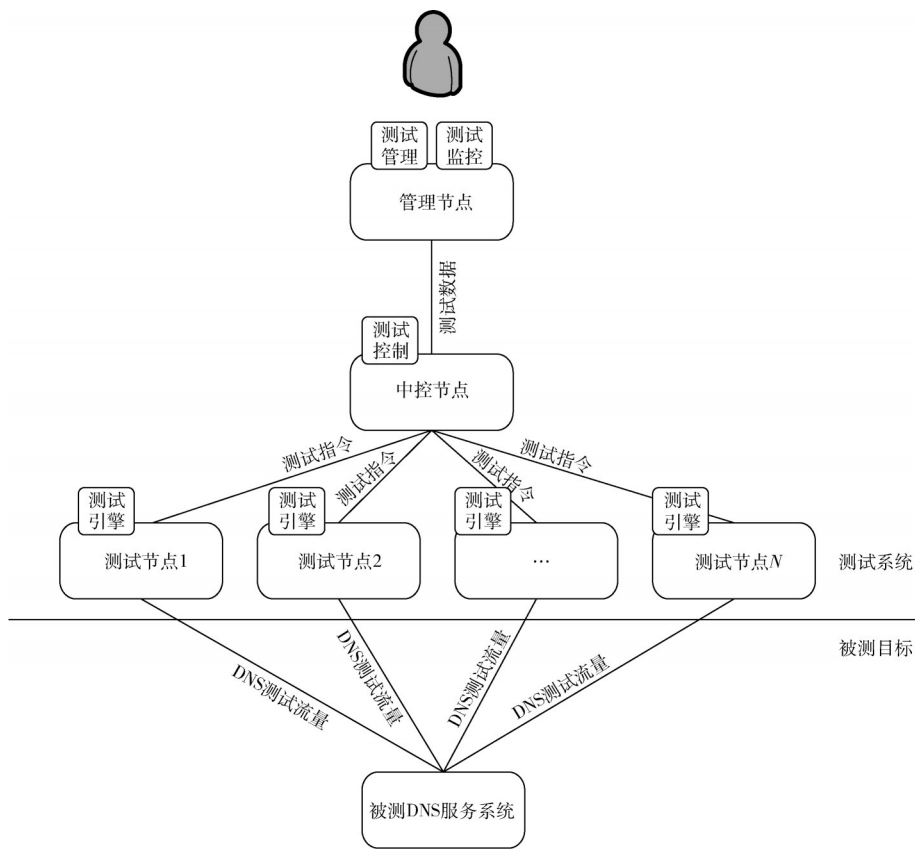


图1 基于Prometheus的分布式DNS系统响应性能自动化测试监测系统架构图

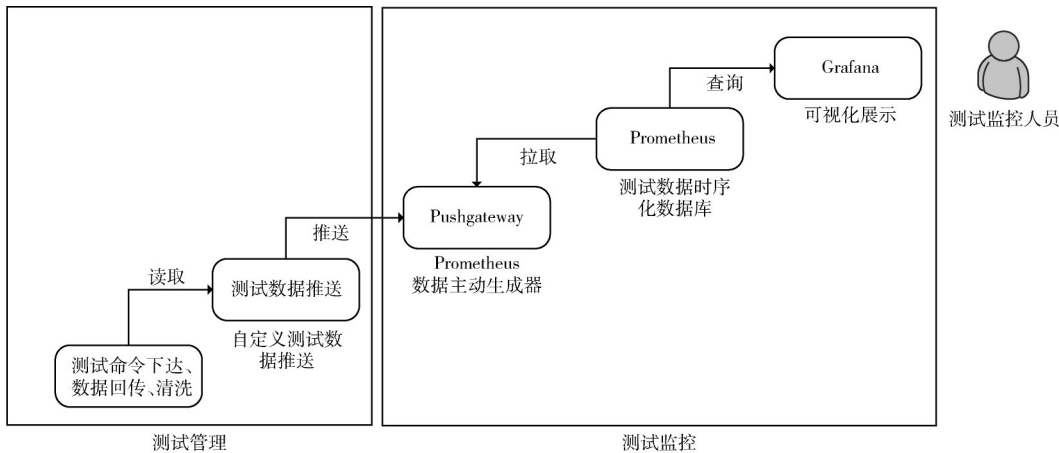


图2 本系统中的DNS测试数据流图

展示^[14],本实验设计了一种基于Prometheus的时序化变量Metric数据格式,自定义了DNS性能测试数据格式,如图3所示。分别设计了DNS测试查询数、完成数、成功数、时间消耗值以及QPS(每秒查询数)值Metric时序变量,针对本系统多节点分布式机制,增加目标DNS和测试节点两个数据属性。

3.2.3 测试数据推送模块设计

图2中,测试数据推送模块负责将测试数据时序化后,主动推送测试监控服务中的Pushgateway引擎,数据封装推送模块的流程设计如图4所示。

首先遍历所有节点DNS性能测试日志,从日志中清洗出相关监测变量,如DNS_Server_IP等,并按针对DNS性能测试数据设计的Metric时序标准格式,对变量进行封装,再将封装好的数据写入文件中。然后继续遍历其他节点DNS性能测试日志,直到完成所有节点性能测试日志。最终将得到所有节点的DNS性能测试Metric标准化数据后,推送给Pushgateway引擎。数据一旦推送到给Pushgateway引擎,Prometheus就可以按指定时间间隔进行数据拉取,并存入时序数据库中,为Grafana提供可视化展示数据源。

	属性1:	属性2:	DNS测试查询包数
DNS测试查询数Metric变量	DNS_server_IP	Node_IP	DNS_Queries_sent
	属性1:	属性2:	DNSDNS测试查询完成数
DNS测试查询完成数Metric变量	DNS_server_IP	Node_IP	DNS_Queries_completed
	属性1:	属性2:	DNS测试成功数
DNS测试成功数Metric变量	DNS_server_IP	Node_IP	DNS_Complete_percentage
	属性1:	属性2:	DNS测试时间消耗
DNS测试时间消耗Metric变量	DNS_server_IP	Node_IP	DNS_ElapseTime
	属性1:	属性2:	DNS测试QPS值
DNS测试QPS值Metric变量	DNS_server_IP	Node_IP	DNS_Queries_Per_Second

图3 基于Prometheus的时序化变量Metric数据格式自定义DNS性能测试数据格式

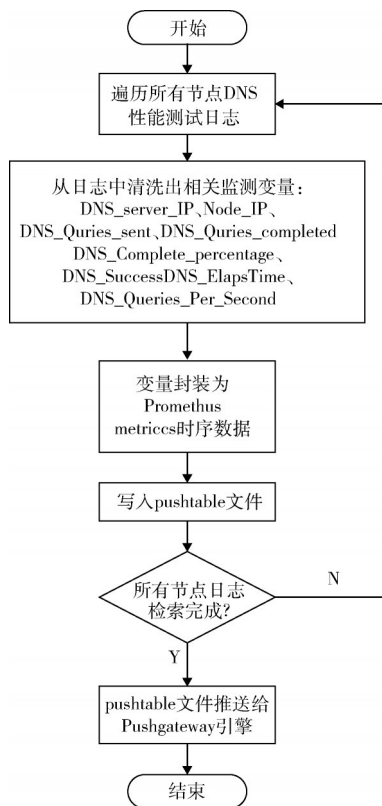


图4 Pushgateway引擎的测试数据封装推送模块图

3.3 中控节点和测试节点群

测试节点群中所有节点基于DNSperf产生DNS性能测试数据包,并采集性能测试结果。

为实现测试节点群中所有节点同时发起测试数据包,在中控节点设计了测试控制服务,实现基于SSH安全隧道的远程命令多线程执行机制,如图5所示。测试控制服务首先对测试控制参数进行合法化解析后,开始检测并集结可用于DNS性能测试节点群,形成可用测试资源和测试指令数据。接着基于SSH通道远程命令技术,向每个测试节点发起测试线程,且所有节点测试线程同步运行,以便达到对被测DNS服务系统最大响应性能极限。待所有测试线程结束后,收集、合并、保存测试

结果。

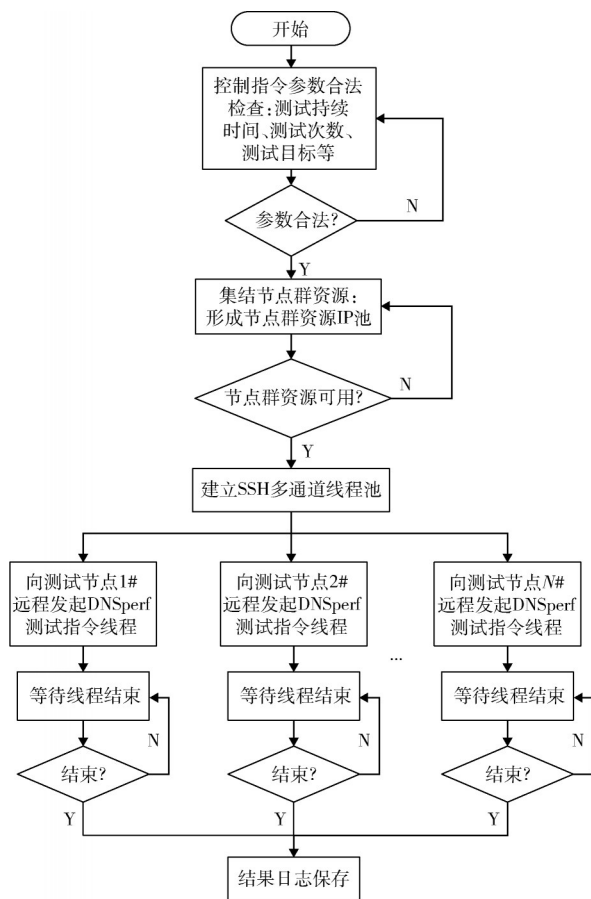


图5 中控节点多布式多线程执行机制流程图

3.4 系统设计关键点

本系统可以针对自研DNS服务系统进行性能测试,具有以下关键点:

- (1) 以分布式的方式实现节点群同步DNS服务请求机制完成DNS性能测试;
- (2) 测试监控服务基于Prometheus时序化数据库存储测试实时数据,基于Grafana设计有友好的DNS性能测试可视化监控界面,实现时序化长时运行监测;

(3) 自定义了 Prometheus 时序数据库 Metrics 数据格式,利用 Grafana 可视化框架实现 DNS 性能测试多维可视化展示;

(4) 基于 Prometheus 的 Pushgateway 引擎的 DNS 测试数据时序化机制。

4 系统实现

4.1 系统配置和环境

本系统的系统设备配置表如表 1 所示。

表 1 系统设备配置表

设备	配置
自研 DNS 系统	与测试节点网络可达
4 台云主机	Linux 系统、部署 DNSperf 工具
管理节点	Linux 系统、部署 Prometheus 数据库、Grafana 平台
中控节点	Linux 系统、部署多线程测试控制服务

4.2 系统实现方法

下面介绍基于 Prometheus 的分布式 DNS 系统性能自动化测试监测系统在自研 DNS 服务系统性能测试系统的实现方法。

4.2.1 测试节点群实现

选取多个运行有 Linux 系统云主机,本实例选用 4 个,作为分布式 DNS 性能测试节点,且保证所有云主机与自研被测 DNS 系统网络可达,所有节点上部署 DNSperf 工具,并针对自研 DNS 服务系统中可解析域名,构造测试域名数据集。

4.2.2 中控节点实现

在中控节点完成与所有云主机测试节点 SSH 安全访问授权,启动中控节点测试控制服务,测试控制服务可以接收被测 DNS 系统服务 IP 和测试时间等参数,如果要对不同的被测 DNS 系统进行性能测试,可以输入不同 DNS 系统服务 IP。测试控制服务会同步启动 4 个线程,分别调用 4 个云主机发出 DNS 性能测试数据包,并在完成各自 DNS 性能测试后,将数据拉取合并到中控节点上。

4.2.3 管理节点实现

管理节点会周期性地从中控节点回读 DNS 性能测试数据,然后将需要进行监测的 DNS 性能测试数据清洗、封装为 Prometheus 的时序化变量 Metrics 数据,本实

例主要封装形成如图 6 所示,保存入 pushtable 文件中,并送给 Pushgateway 引擎, Prometheus 系统便会自动定时拉取数据。

在 Grafana 中引用 Prometheus 数据源,并定义 DNS 性能测试数据图表可视化界面,如图 7 所示。

5 结论

本系统设计了一种基于 Prometheus 时序数据库的 DNS 性能测试监测机制,解决了 DNS 性能测试数据时序化问题,以分布式方式模拟节点群同步 DNS 服务请求的方式,实现对 DNS 性能测试数据时序化监测;并利用 Grafana 可视化框架,对 DNS 性能测试数据多维度可视化展示,实现 DNS 性能测试数据在 Grafana 中进行多维展示效果,解决 DNS 服务面向大用户量服务测试的需求。也可通过此方式测试 DNS 服务器在面对大量用户访问、高并发请求的状态,进一步对 DNS 服务系统升级处理,具有较高的现实意义。

参考文献

- [1] 郑先伟. Facebook 断网警示:保障 DNS 服务安全[J]. 中国教育网络,2021(11):47.
- [2] 阮晓龙. DNS 协议测试软件的设计与实现[J]. 软件,2016,37(6):113-121.
- [3] 郭亚杰,李华,敖腾河,等. DNS 服务器解析性能测试方案设计[J]. 广西大学学报(自然科学版),2011,36(S1):55-60.
- [4] 李云春,许可,张建华. 基于 PlanetLab 平台的校园网 DNS 服务性能测试方法[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2015(S1):163-173,196.
- [5] 贾煦,赵哲浩,冯宇. 互联网业务质量监测平台架构设计[J]. 电子测试,2020(15):60-62.
- [6] 钟子涵,张立臣. 基于时序数据库的 CPS 实时监控系统设计[J]. 现代计算机,2021,27(25):102-106.
- [7] 布莱恩·布莱希. Prometheus 学习手册[M]. 宋佳洋,薛锦,译. 北京:中国电力出版社,2020.
- [8] 朱政科. Prometheus 云原生监控[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
- [9] 谢超群. 基于 Prometheus 的容器云监控平台应用研究[J]. 西安文理学院学报(自然科学版),2022,25(4):23-26.
- [10] 王博远,梁子阳,刘雪萌,等. 基于 Telegraf+InfluxDB+Grafana 搭建长输供热系统的监控平台研究[J]. 中国设备工程,2021(22):177-178.
- [11] 王鹏,杨妹,彭勇,等. DDS 在分布式仿真系统中的应用

```

DNS_Queries_sent{DNS_server_IP="$DNS_server_IP",Node_IP="$Node_IP"} $DNS_Queries_sentS
DNS_Queries_completed{DNS_server_IP="$DNS_server_IP",Node_IP="$Node_IP"} $DNS_Queries_completed
DNS_Complete_percentage{DNS_server_IP="$DNS_server_IP",Node_IP="$Node_IP"} $DNS_Complete_percentage
DNS_Success{DNS_server_IP="$DNS_server_IP",Node_IP="$Node_IP"} $DNS_Success
DNS_ElapsedTime{DNS_server_IP="$DNS_server_IP",Node_IP="$Node_IP"} $DNS_ElapsedTime

```

图 6 Prometheus 的时序化变量 Metrics 自定义数据实例



图7 DNS性能测试数据Grafana可视化实例

研究[C]// '21 全国仿真技术学术会议论文集, 2021: 254-259.

- [12] 黄静, 陈秋燕. 基于 Prometheus + Grafana 实现企业园区信息化 PaaS 平台监控[J]. 数字通信世界, 2020(9): 70-72.
- [13] 赵伟, 王蓓, 张士祁, 等. 基于 Prometheus 的 openGauss 监控系统的关键技术及验证[J]. 郑州大学学报(理学版), 2022, 54(6): 74-81.
- [14] 郭彬, 杨晨, 刘庆涛, 等. 基于 InfluxDB 与 Grafana 的物联网监测系统设计[J]. 现代电子技术, 2022, 45(18): 41-46.

(收稿日期: 2022-02-11)

作者简介:

黄兵(1983-), 通信作者, 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 基于网络流量安全技术、互联网标识解析技术, E-mail: langrenhb@163.com.

吴云峰(1977-) 男, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向: 网络标识分析技术、互联网域名安全。

张凯欣(1998-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络安全、互联网域名解析。



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