

研究论文

根区顶级域名托管情况研究

陈闻宇, 何烁, 李汉明, 谢杰灵, 赵琦, 冷峰*

摘要 域名系统作为互联网核心基础资源,在日常网络访问中发挥着不可或缺的关键作用。根区的稳定性直接决定全球域名体系的运行安全。基于互联网数字分配机构发布的根区顶级域名数据,通过分析顶级域权威服务器的解析服务地址,揭示了当前顶级域名注册与托管的集中化特征。研究发现,1458个活跃顶级域名的解析服务高度依赖少数顶级域名托管机构,其中 Afilias 和 Identity Digital Limited 分别托管了 32.58% 和 32.17% 的顶级域名,前3大机构合计占比超 90%。通过基尼系数量化评估,顶级域名托管资源的中心化程度达到 0.83,显著高于注册管理机构(0.44),表明托管环节存在严重的寡头垄断风险。研究指出,过度集中的托管架构可能引发单点故障隐患(如区域性网络攻击波及多顶级域名解析服务),并削弱域名生态多样性。为此,建议推动顶级域名注册管理机构自建权威服务器、优化托管机构准入机制,并探索基于区块链的分散化域名解析技术,以提升根区抗风险能力与长期稳定性。

关键词 根区;信息分析;域名托管;中心化

域名作为互联网的关键标识^[1],随着互联网的发展而遍布全球。域名不仅是网站的地址,也是品牌和在线身份的象征。当前,根区在运行顶级域名(Top-level domain name, TLD)1458个,二级以下域名达到 3.6 亿个^[2]。域名系统(domain name system, DNS)类似于倒树结构,从上到下包含根域名服务器、顶级域名服务器、二级域名服务器等^[3]。各级域名服务器的区文件中,保存了指向下一级域名服务器的“路标”,根域名服务器的区文件中保存了指向所有顶级域名服务器的互联网地址信息。鉴于根区文件是域名查询的起点,其数据的正确性和稳定性至关重要。然而,根区数据具有动态变化的属性,且目前针对根区数据运行管理的研究较为缺乏。以域名管理机构互联网数字分配机构(Internet Assigned Numbers

Authority, IANA)公布的 TLD 相关数据为基础^[4],对根区 TLD 的基本注册信息进行梳理,分析当前 TLD 注册、托管以及外部主机使用等情况,评估根区 TLD 域名托管聚集程度,并提出了本研究成果的潜在应用场景。

1 全球顶级域名注册情况分析

数据显示,截至 2023 年 11 月 17 日,共有 850 个机构已向 IANA 提交了 TLD 注册申请,当前域名系统中活跃运行的 TLD 总数达到 1458 个。进一步分析 IANA 所提供的根区数据,上述 1458 个 TLD 共涵盖了 5943 条权威服务(name server, NS)记录。每条 NS 记录均包含一个主机名(host name)以及至少一个 IP 地址(IPv4 和 IPv6)。通过进一步的数据梳理,上述 5943 条 NS 记录中,共涉及 5943 个主机名和

中国互联网络信息中心,北京 100080

收稿日期:2024-07-14;修回日期:2024-10-17

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFB3105000)

作者简介:陈闻宇,高级工程师,研究方向为网络安全、区块链,电子信箱:chenwenyu@cnnic.cn;冷峰(通信作者),高级工程师,研究方向为网络安全,电子信箱:lengfeng@cnnic.cn

引用格式:陈闻宇,何烁,李汉明,等.根区顶级域名托管情况研究[J].科技导报,2025,43(8):73-79;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.06.00762

9034 个 IP 地址。为深入探究 TLD 的注册、托管和外部主机使用情况,拟定了以下推进思路。

首先,根据 IANA 发布的 TLD 注册信息,对 TLD 进行分类与整理,依据其所属的注册管理机构。以剖析各域名注册管理机构在 TLD 申请注册环节的表现。

其次,为了解 TLD 的托管现状,依托 TLD 的解析服务 IP 地址进行分析。通过查询,获取这些 IP 地址对应的广播自治域(autonomous system, AS)信息。进一步通过整合 AS 所属机构的数据,明确 TLD 解析服务 IP 地址的管理机构。在此过程中,若 TLD 的注册管理机构与其解析服务的归属机构不一致,判定该 TLD 处于托管状态。

最后,对 TLD 外部主机的使用情况进行分析。具体来说,当某个 TLD 的 NS 记录中的主机名不以该 TLD 本身作为结尾时,判定该 TLD 采用外部主机。例如,对于 TLD “.za”,其 NS 记录包含“nsza.is.co.za”“za-ns.anycast.pch.net”,以及“za1.dnsnode.net”。其中,“nsza.is.co.za”以“.za”结尾,表明非外部主机;而另外 2 条以“.net”结尾的 NS 记录,显示“.za”这一 TLD 启用了外部主机服务。通过此类数据分析,获得 TLD 在外部主机使用方面的情况。

2 顶级域名运营和管理现状分析

2.1 域名注册管理机构

目前 IANA 授权了 5 个种类的根区 TLD,其中,通用顶级域名(generic top-level domain, gTLD) 1246 个,国家和地区顶级域名(country code top-level domain, ccTLD)316 个,其他类型 TLD 共计 29 个,共计 1591 个,但实际运行数量为 1458 个,剩余 133 个 TLD 目前在域名系统中尚未部署权威服务器。图 1 为根区 TLD 统计结果。

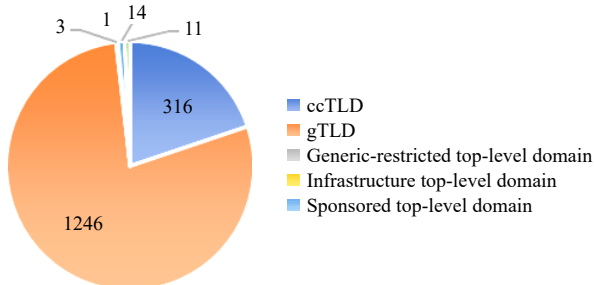


图 1 根区 TLD 统计

经统计,申请注册 ccTLD 和 gTLD 的域名注册管理机构分别为 253 和 579 个,其中有部分域名注册管理机构同时申请了 ccTLD 和 gTLD,如 CNNIC 不仅是 ccTLD .CN 的域名注册管理机构,同时还注册了“.公司”“.网络”等 2 个 gTLD。14 个机构申请注册了赞助顶级域名(sponsored TLD),3 个机构注册了有限制的通用顶级域名(generic-restricted TLD),1 个机构注册了基础设施顶级域名(infrastructure TLD)。此外,在 316 个 ccTLD 中有 60 个为 Punycode 类型的域名^[5]。

2.2 TLD 托管情况分析

1) TLD 解析服务 IP 地址分析。当前互联网是由 AS 组成,而 IP 地址则分散于各个 AS 中,并通过边界网关协议(border gateway protocol, BGP)广播协议实现互联网访问可达^[6]。NS 在互联网中的位置由其 IP 地址进行标记,当用户进行域名查询时,需要根据 IP 地址找到对应 TLD 的 NS 并获取域名解析服务。在数据分析过程中,发现存在大量不同 TLD 所对应的解析服务 IP 地址由同一个 AS 提供广播服务的情况。为了进一步探索 TLD 的 IP 地址与 AS 之间所对应的数据特性,以 5943 条 NS 记录为数据集,对其所对应的 9034 个 IP 地址的 AS 归属情况进行了查询统计。图 2 为 9034 个 IP 的 AS 归属统计结果。

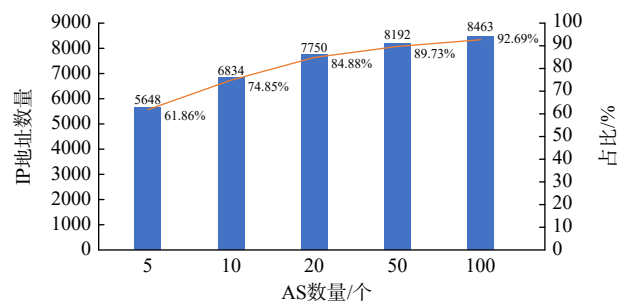


图 2 IP 地址的 AS 归属统计结果

如图 2 所示,约 61.86% 的 IP 地址由 5 个 AS 提供广播;84.88% 的 IP 地址归属于 20 个 AS;92.69% 的 TLD 解析服务地址最终归属于 100 个 AS。由于篇幅有限,图 3 所示仅为 AS 中广播 IP 地址数量排名前 20 的统计结果。

从图 3 所示的数据可以看出,AS12041、AS207266、AS397239、AS397233 和 AS42 等 12 个 AS 中广播的 IP 地址明显要多于其他 AS,其中 AS12041、AS207266 中广播的 IP 地址最多,分别为 3302 和 1448 个,这 2

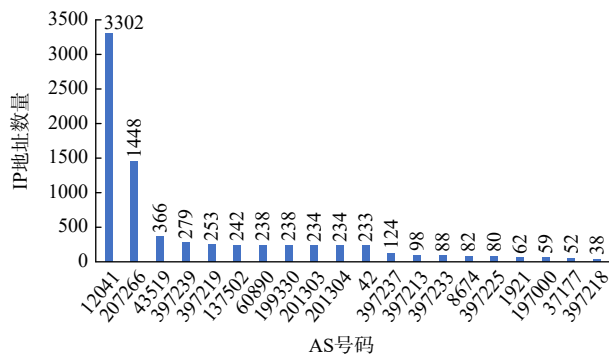


图3 AS广播IP地址数量统计情况(TOP20)

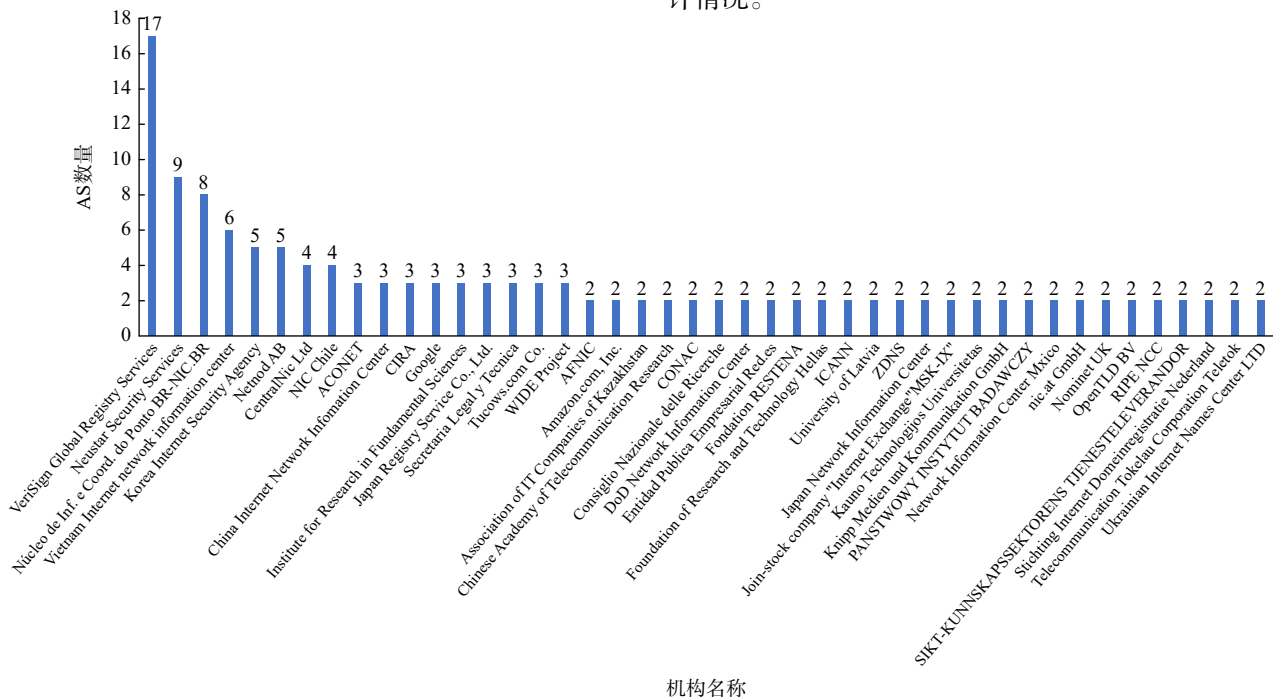


图4 拥有2个及以上AS的域名托管机构

如图4所示, VeriSign Global Registry Services 拥有17个AS, 排名第1; 其次是Neustar和巴西国家信息中心, 分别有9个和8个, 其余机构拥有AS数量相对均衡。

3) 域名托管机构分析。将为TLD提供托管服务的机构定义为域名托管机构。为了进一步分析域名托管机构AS与IP地址的归属情况, 对TLD和域名托管机构之间的关系进行了分析研究。在数据处理过程中, 如果某个TLD至少有1个NS记录的IP地址归由某个域名托管机构AS广播, 那么就认为这个TLD与该机构产生了托管关系。经统计, 1458个TLD与337个域名托管机构共产生了2852次托管关系, 平均每个域名托管机构托管了约8个TLD。图5为托管TLD数量不小于8的机构统计情况。

如图5所示, 在所有域名托管机构中, Afilias,

个AS分别属于Afilias, Inc.和Identity Digital Limited。

2) AS分析。为了得到TLD的解析服务IP地址提供广播的所有AS所属于的域名托管机构, 采取的数据处理过程如下: 根据IP得到为所有TLD提供广播服务的431个AS; 查询并记录431个AS所归属的域名托管机构信息, 共计得到377个产生托管行为的机构; 根据域名托管机构对431个AS进行归属分类统计。图4为拥有2个及以上AS的域名托管机构统计情况。

Inc.和Identity Digital Limited 3家机构托管的域名数量要远大于其他机构, 分别为475、469和377个, 占TLD总数的比例分别为32.58%(475/1458)、32.17%(469/1458)、25.86%(377/1458)。

2.3 外部主机使用情况

在托管分析中, 以域名托管机构为研究对象完成TLD的托管分析, 以TLD的NS记录为主要研究对象, 分析TLD使用外部主机的情况。对于外部主机的定义为: 在TLD的NS记录中存在至少1个主机名(host name)结尾与该TLD不一致。如TLD ad的NS记录host name为ad.ns.nic.es和ns3.nic.fr等, 是以TLD es和fr结尾, 表明ad使用了es和fr的域名作为其外部主机。通常, 基于域名托管机构在全球广泛部署有服务节点, 能够在全局范围内提供更为高

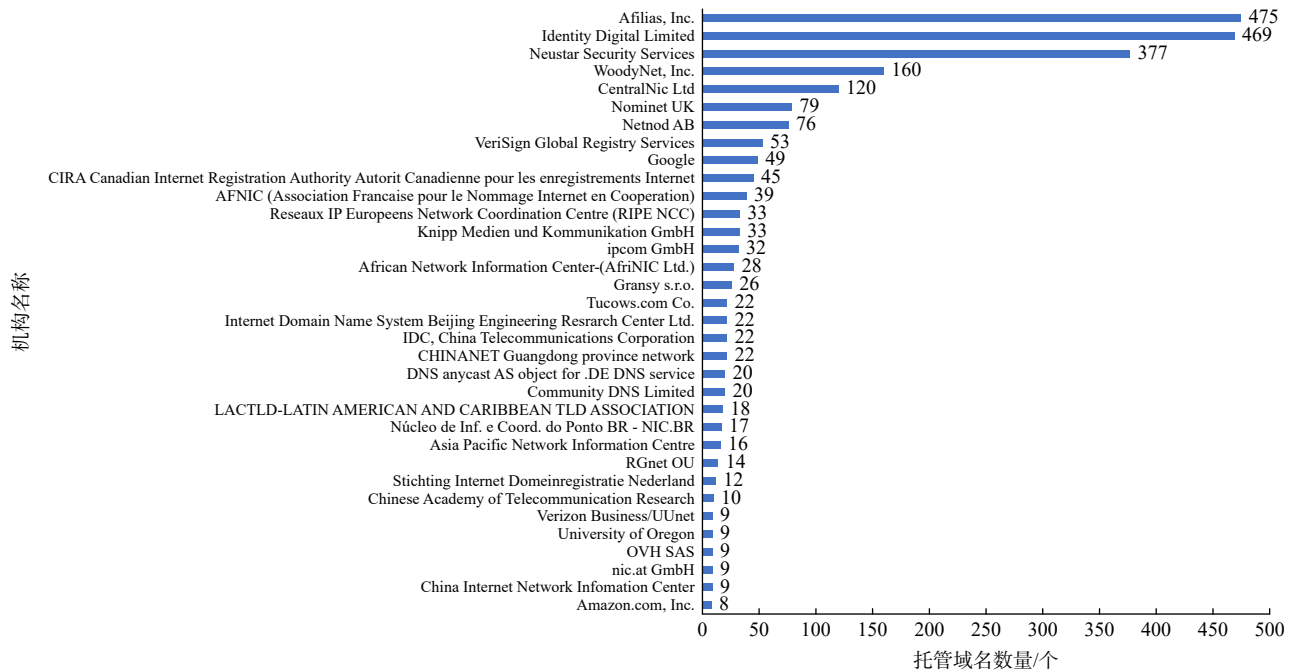


图5 托管 TLD 数量大于 8 的机构

效、稳定的域名解析服务,许多 TLD 的拥有者会考虑使用其他域名托管机构所托管的 TLD 域名部署外部主机。VeriSign Global Registry Services 和 CNNIC 作为 com、net 和 cn 的注册管理机构,同样是域名托管机构,在全球拥有广泛分布的解析服务节点,为众多其他 TLD 提供 TLD 解析服务托管。当前,在根区 1458 个 TLD 中,有 382 个 TLD 使用了外部主机,约占 TLD 总量的 26.2%。被作为外部主机使用的 NS 记录共计 588 个,约占 NS 记录总数的 10%(588/5943)。我们进一步对外部主机所在的 TLD 进行了统计。图 6 为外部主机所在 TLD 的统计情况(由于篇幅有限,仅展示 TLD 域内被用作外部主机的 NS 记录数量达到 5 条及以上的 TLD)。

如图 6 所示,被用作外部主机的 NS 记录主要是以 net、com、info、org 和 cn 等 TLD 结尾的 host name,其中 net 和 com 域内共计 242 个,远超过其他 TLD。

TLD 管理者往往希望能够为用户提供更加高效、稳定和广泛覆盖的域名解析服务,而外部主机服务是性价比较高的一种选择。对于无法搭建大规模权威服务集群的 TLD 拥有者,只需使用具备相对较好服务能力的域名托管机构的外部主机域名,就能在解析过程中享受到这些机构广泛分布的域名服务。就数据结果而言,外部主机的使用无疑增加了各主流域名托管机构托管 TLD 的数量。

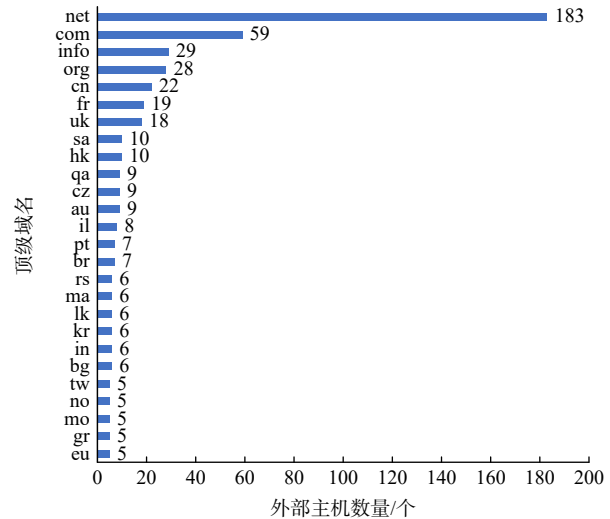


图6 外部主机所在 TLD 统计情况

3 顶级域名托管评估与风险分析

3.1 顶级域名的托管呈现聚集趋势

根据前文数据分析结果,对为 TLD 提供解析服务的 IP 地址所归属 AS 进行探索后发现,TLD 的解析服务存在向域名托管机构聚集。

1) 多次聚集导致 TLD 托管聚集更为严重。在数据分析过程中发现,在 IP 地址-AS-域名托管机构的数据归属方向上存在多次聚集现象,1458 个 TLD 的 5943 条 9034 个解析服务 IP 地址实际上是由 337 个域名托管机构的 431 个 AS 负责提供域名解析的广播

服务,最终呈现出如图 2 所示的聚集程度相对较高的域名托管现象。

2) 外部主机的使用加剧了 NS 记录聚集的趋势。TLD 管理者希望能够为用户提供更加高效、稳定和广泛覆盖的域名解析服务,而外部主机服务是性价比较高的一种选择。对于无法搭建大规模权威服务集群的 TLD 拥有者,只需使用具备相对较好服务能力的域名托管机构的外部主机域名,就能在解析过程中享受到这些机构广泛分布的域名服务。就数据结果而言,外部主机的使用无疑增加了各主流顶级域名解析服务域名托管机构托管 TLD 的数量,如 VeriSign Global Registry Services、Neustar Security Services 和 Google Inc 等,除了其本身拥有的 TLD 的 NS 记录外,还广播了大量其他 TLD 的 NS 记录。

从目前的分析数据看,域名的托管和外部主机使得 TLD 运行管理机构能够获得更多自身之外的服务资源,有效提升了其域名解析服务的稳定性和高效性。但是 TLD 的托管所产生的聚集趋势也会带来一定的风险,若同一个 AS 中广播了许多不同 TLD 的解析服务地址,当这个 AS 遭受攻击或因误操作产生故障时,所有在该 AS 内广播服务地址的 TLD 都将受到影响。

3.2 顶级域名托管聚集程度评估

基尼系数作为经济学中对于财富分配均衡程度的重要描述指标,能够较好地评估财富分配情况,也有研究人员将基尼系数用于评估区块链去中心化程度^[7]。对于根区授权的 TLD,其分散于不同域名注册管理机构和域名托管机构的情况与社会财富分配统计具有高度的相似性。从上述分析情况看,目前根区 1458 个正在域名系统中运行的 TLD 最终由 337 机构提供解析服务,结合之前分析可以看出,当前的根区 TLD 存在着一定程度的中心化情况。本文使用基尼系数量化评估当前根区 TLD 的中心化聚合程度。根据基尼系数的计算方式,以域名注册管理机构和域名托管机构为主体,将 TLD 作为“财富”,那么 TLD 向域名注册管理机构和域名托管机构中心化聚集程度的计算方式可以表示为

$$G_{\text{root}} = 1 - \sum_{i=1}^n \text{Org}_i \times (2S_i - \text{TLD}_i) \quad (1)$$

式中, G_{root} 表示根区域域名注册管理机构和域名托管机构当前实际注册/广播 TLD 的基尼系数。 $S_i =$

$\sum_{k=1}^i \text{TLD}_k$ 表示拥有各域名托管机构广播 TLD 数量的累计求和。将域名注册管理机构和域名托管机构注册/广播的 TLD 从低到高进行排序, TLD_i 为第 i 个域名服务提供域名服务数量占有所有 TLD 的比重, Org_i 表示第 i 个机构在所有机构中的比重(这里暂将所有 Org 比重记为相同)。为构造数据集,对所查询到的根区数据进行预处理,整理域名注册管理机构和域名托管机构所拥有的“域名财富”,表 1 和表 2 为它们所对应的根区 TLD 数量情况。

表 1 TLD 注册量排名 TOP10 的机构

机构	TLD数量/个
Binky Moon, LLC	196
Amazon Registry Services, Inc.	53
Dog Beach, LLC	49
Charleston Road Registry Inc.	46
Registry Services, LLC	36
XYZ.COM LLC	35
Identity Digital Limited	23
Not assigned	21
National Internet Exchange of India	16
Dish DBS Corporation	11

表 2 TLD 运行托管数量排名 TOP10 的机构

机构	TLD数量/个
Afilias, Inc.	475
Identity Digital Limited	469
Neustar Security Services	377
WoodyNet, Inc.	160
CentralNic Ltd	120
Nominet UK	79
Netnod AB	76
VeriSign Global Registry Services	53
Google	49
CIRA Canadian Internet Registration Authority	45
Autorit Canadienne pour les enregistrements Internet	

在表 1 和表 2 中,数据集由域名注册管理机构和 TLD 数量 2 个特征类型的数据组成,其中,根区域域名注册管理机构数据从 ICANN 和 IANA 的 WHOIS 查询而来。根据前文分析结果,由于外部主机和域名托管等情况,同一个 TLD 可能存在多个 NS 记录指向并且不同域名托管机构 AS 的情况,即 TLD 与域名托管机构实际上是“多对多”的对应关系。为了充分反应

出 TLD 与机构的对应关系,本文定义只要 TLD 的 NS 记录最终指向的是某个域名托管机构的 AS,这个 TLD 就对该域名托管机构建立了对应的托管关系。图 7 和图 8 为根据上述基尼系数计算公式得到的注册和托管的洛伦兹曲线图。

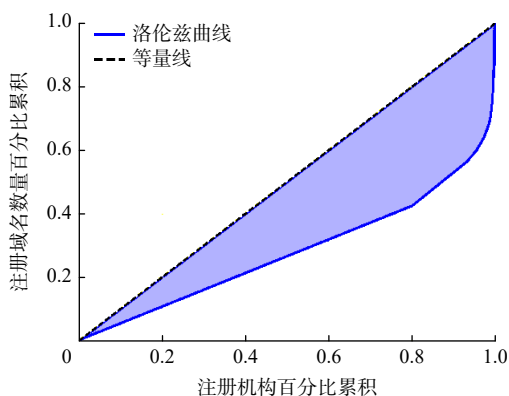


图 7 域名注册管理机构的洛伦兹曲线

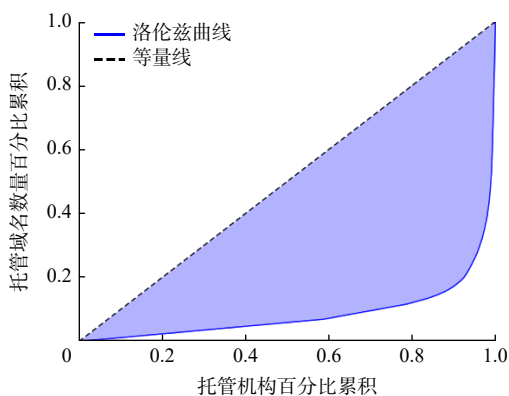


图 8 域名托管机构的洛伦兹曲线

根据上述 2 个数据集进行了域名注册管理机构和域名托管机构的基尼系数后得到的结果分别约为 0.44 和 0.83。根据基尼系数的定义可以基本判断出,当基尼系数大于 0.382 时^[8],表明目前 TLD 的注册和托管现状均存在一定的中心化聚集情况,而就域名托管而言,其中心化聚集程度要远远高于域名注册,这也符合对 TLD 的 NS 记录,以及 AS 向机构中心化聚合的分析结果。

3.3 风险分析

在域名系统中,从层级关系上看,顶级域作为与根直接相连的一层,是“域名倒树”的枝干,据数据分析结果可知,目前顶级域在注册和托管运行等方面已经展现出一定的中心化聚集趋势。域名的托管和外部主机使得 TLD 运行管理机构能够获得更多自身之

外的服务资源,有效提升了其域名解析服务的稳定性和高效性。但是 TLD 的托管所产生的聚集趋势也会带来一定的风险,本文从技术、管理和发展等 3 个方面考虑其中存在的风险。

1) 在技术方面,根据统计数据显示^[9],越是受欢迎的域名遭受攻击的可能就越高,从中心化聚合分析中不难发现,目前根区 TLD 的权威记录在向着一些比较受欢迎的 AS 和其所属机构聚集。近年来,大多域名攻击是以域名劫持、路由劫持等手段对目标域展开攻击,从攻击原理看,域名服务器所在广播自治域遭受攻击的风险性相对较高,而根区 TLD 的向域名托管机构中心化聚合程度的不断提升无疑会加剧这种风险^[10]。

2) 在管理方面,由于历史原因,全球 DNS 有且只有 13 个根,从域名体系本身看,倒树型体系本身也带有较强的中心化聚合性。近年来,随着对区块链技术研究深入,有研究人员提出并实践了基于区块链的去中心化的 DNS 系统^[11],目前看,传统的 DNS 系统仍然是当前主流的选择。但是,这并不能掩盖传统 DNS 系统中心化所带来的各种风险和隐患^[12]。根据分析得到的数据可以看出,抛开 DNS 系统的本身存在的历史性中心化问题,目前根区文件中 TLD 的中心化聚集趋势也是令人担忧的一个问题,当越来越多的 TLD 集中到一些“头部”机构中去,最终逐渐形成一种在现有 DNS 中心化体系内的另一个中心化发展趋势。从技术角度上看,当前的众多域名托管机构无疑也可以实现类似关停被托管 TLD 解析服务的操作。

3) 在发展方面,高度中心化聚合的 DNS 体系,将不断提升现有顶级域名托管资源拥有者在域名体系中占比的权重。由分析可知,如 Afilias, Inc.、Identity Digital Limited 和 Neustar Security Services 等域名托管领域内的巨头机构企业,其具备更大的优势,在现有情况下,能够吸引更多的域名托管,使域名体系背后托管及运行的组成机构多样性严重降低,在一定程度上阻碍了域名系统的健康发展。

4 结论

1) 为降低根区 TLD 注册和托管聚集提供数据和理论支撑。根区目前的中心化聚合情况使域名系统的稳定运行存在一定的风险隐患,在这种情况下,随

着域名聚集程度的增加,存在的潜在风险也将不断提升。分析结果为后续探索解决方案提供了理论支撑,未来可以考虑通过鼓励申请者自己搭建并运行 TLD 权威服务器、完善根区 TLD 托管管理办法和提供技术和管理相关支持等方法 and 措施降低根区 TLD 的 centralized 聚集程度。

2) 用于二级及以下域名托管聚集情况。基于根区基本信息对 TLD 托管涉及的 IP 地址、AS 和机构等情况进行了详细梳理,并使用经济学方法对根区 TLD 的 centralized 聚集程度进行了分析,从研究结果看,该方法能够较好对域名托管聚集程度进行量化。考虑到二级及以下域名同样也是互联网域名体系的重要组成部分,因此,使用的 centralized 程度评估方法也可用于顶级域内二级域名的 centralized 聚集分析,便于顶级域注册管理机构加强其域名管理,降低风险隐患,促进域名系统稳定运行。

参考文献 (References)

- [1] 钱杰. 基于域名流量活动的网络服务特征发现[D]. 南京: 东南大学, 2022.
- [2] DNIB. The Domain name industry brief quarterly report: Q4

- 2023 data and analysis[EB/OL]. (2023-11-15) [2024-01-25]. <https://dnib.com/articles/the-domain-name-industry-brief-q4-2023>.
- [3] Internet Assigned Numbers Authority. Root zone database [EB/OL]. (2024-02-04) [2024-02-25]. <https://www.iana.org/domains/root/db>.
- [4] Mockapetris P. Domain names: Implementation and specification[EB/OL]. [2024-02-25]. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.17487/RFC1035>.
- [5] Costello A. Punycode: A Bootstring encoding of Unicode for Internationalized Domain Names in Applications (IDNA) [EB/OL]. [2024-02-25]. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3492>.
- [6] Rekhter Y, Li T, Hares S. A border gateway protocol 4(BGP-4): RFC 4271[S]. San Francisco: IETF, 2006.
- [7] 武岳, 李军祥. 区块链共识算法演进过程[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(7): 2097-2103.
- [8] 谢亚凡. 基尼系数[J]. 教学与研究, 1990(3): 72.
- [9] Fortra's P. Top 10 TLDs abused[EB/OL]. (2021-09-14) [2024-01-25]. <https://www.phishlabs.com/blog/top-10-tlds-abused>.
- [10] Wikipedia. 2021 Facebook outage[EB/OL]. (2021-10-04) [2024-01-25]. https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Facebook_outage.
- [11] 覃潇俊. 基于区块链的标识解析关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [12] 黄逸翔. 基于区块链的解决DNS体系单点故障问题研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2021.

A study of top-level domain name hosting in the root zone

CHEN Wenyu, HE Shuo, LI Hanming, XIE Jiuling, ZHAO Qi, LENG Feng*

China Internet Network Information Center, Beijing 100080, China

Abstract The Domain Name System, as a core foundational resource of the internet, relies on the stability of its Root Zone to ensure the operational security of the global domain name system. Based on Root Zone top-level domain data released by the Internet Assigned Numbers Authority this study analyzes resolution service addresses of top-level domain authoritative servers to reveal the centralized characteristics of current Top-level domain name registration and hosting practices. The research findings indicate that resolution services for 1,458 active Top-level domain name s exhibit significant dependency on a limited number of Top-level domain name hosting institutions. Specifically, Afiliast and Identity Digital Limited host 32.58% and 32.17% of Top-level domain name s respectively, with the top three institutions collectively accounting for over 90% of hosted Top-level domain name s. Quantitative evaluation using the Gini coefficient shows that Top-level domain name hosting resources reach a centralization degree of 0.83, substantially higher than the 0.44 measured for registry management, indicating severe oligopolistic risks in the hosting sector. The study warns that overly concentrated hosting architectures may introduce single points of failure risks (such as regional cyberattacks affecting multiple Top-level domain name resolution services) and undermine the diversity of the domain name ecosystem. To address these challenges, the research suggests promoting self-built authoritative servers by Top-level domain name registries, optimizing hosting institution qualification mechanisms, and exploring blockchain-based decentralized domain name resolution technologies, aiming to enhance the Root Zone's risk resilience and long-term stability.

Keywords root zone; information analysis; domain name hosting; centralization ●



(责任编辑 王微)