



## DNS 服务器缓存失效过程的研究

危 婷<sup>1</sup>, 冷 峰<sup>1</sup>, 张跃冬<sup>1</sup>, 黄向阳<sup>2</sup>, 王 伟<sup>2</sup>, 何 峥<sup>1</sup>, 赵 琦<sup>1</sup>, 于俊锋<sup>1</sup>

(1. 中国互联网络信息中心 北京 100190; 2. 中国科学院计算机网络信息中心 北京 100190)

**摘 要:**在 DNS 中,为了减轻根服务器的负担,递归服务器会缓存一部分资源记录(RR)。如果由于网络拥塞或者其他因素,递归服务器与权威服务器之间的通信中断,那么递归服务器中的 RR 缓存将开始起作用,并最终决定其解析服务的质量(QoRS)。通过对 RR 缓存失效过程进行理论分析和数学建模,研究了上述情况下影响递归服务器的 QoRS 的因素以及这些因素是如何影响 QoRS 的。

**关键词:**DNS; 解析服务质量; 数学建模; 递归服务器

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.09.018

## Study of Resource Record Cache Expiring of DNS Server

Wei Ting<sup>1</sup>, Leng Feng<sup>1</sup>, Zhang Yuedong<sup>1</sup>, Huang Xiangyang<sup>2</sup>, Wang Wei<sup>2</sup>, He Zheng<sup>1</sup>, Zhao Qi<sup>1</sup>, Yu Junfeng<sup>1</sup>

(1. China Internet Network Information Centre, Beijing 100190, China;

2. Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** In domain name system(DNS), in order to alleviate the load of root servers, recursive servers cached some resource records(RR). If communication link to root server (or other authoritative servers) broke due to network and other reasons, the cache of RR in recursive server decided the quality of resolving services (QoRS). It was explored that factors impact QoRS and how through theoretical analysis and mathematical modeling.

**Key words:** domain name system, quality of resolving service, mathematical modeling, recursive server

### 1 域名系统工作机制

域名系统可以分成两大类、4个环节。一类是权威域名系统,包括根域名系统、顶级域名系统,二级及以下各级权威域名系统。权威域名系统由各级域名所有者运行管理域名和IP地址的相关信息,并负责应答递归服务器的请求。另一类是递归域名系统,通常由互联网服务提供商(ISP)运行管理,并负责直接对用户id提供域名解析服务。

在DNS结构和解析机制中,以上4个环节具有很强的关系。为了有效地减轻根服务器的负担,递归服务器会缓存一部分资源记录(resource record, RR)。这些RR带有时间标签,称为生存时间(TTL)。RR的TTL初始值由RR的权威服务器在返回给递归服务器应答结果时指定,同时

也决定了该RR在递归缓存中的存在时间。当用户向递归服务器发起请求时,服务器会首先检查本地缓存。如果缓存中相应RR的TTL仍然有效(TTL的值还没有减小到0),递归将会直接将请求的RR返回给用户,否则,递归需要从根服务器开始逐级向各级权威服务器发出查询请求<sup>[1,2]</sup>。

### 2 问题描述

考虑到可能存在这样一种情况:由于某种原因,如权威域名服务器的性能不好或者不可达,导致递归服务器与权威服务器之间的通信中断(这个情况将作为本文研究的前提),同时随着时间推移,递归缓存中RR的TTL逐渐失效,越来越多的用户查询请求将得不到正常响应。一旦缓存中所有的RR最后都过期,域名解析服务将陷入瘫痪,





其中  $N_0$  表示  $t_0$  时刻, 递归缓存中二级域名 RR 的数目。为了计算  $E(N)$ , 需要讨论  $T_j$  和  $t-T_{cn}$ 。由参考文献[3]可将式(4)展开如下:

$$\begin{aligned} P(X_j \geq t-T_{cn}) \\ &= P(T_j < t-T_{cn}) \times P(X_j \geq t-T_{cn} | T_j < t-T_{cn}) + \\ &P(T_j \geq t-T_{cn}) \times P(X_j \geq t-T_{cn} | T_j \geq t-T_{cn}) \\ &= P(T_j \geq t-T_{cn}) \times P(X_j \geq t-T_{cn} | T_j \geq t-T_{cn}) \end{aligned} \quad (8)$$

由于日常生活中, 大多数指标的测量结果都具有或者近似具有正态分布<sup>[4]</sup>, 同时根据对 CN 二级域的探测, 得到 CN 二级域的 TTL 近似满足均值为  $\mu$  的正态分布。

$$P(X_j \geq t-T_{cn} | T_j \geq t-T_{cn}) = \frac{T_j - (t-T_{cn})}{T_j} \quad (9)$$

则可得:

$$P(X_j \geq t-T_{cn}) = \frac{T_j - (t-T_{cn})}{T_j} \times \int_{t-T_{cn}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (10)$$

将式(10)代入式(3), 可得:

$$\begin{aligned} E(SRR) &= E\left(\frac{\lambda_i}{\lambda_q}\right) \times \int_{t-T_{cn}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \times \\ &\sum_{j=1}^{N_0} \left( \int_{t-T_{cn}}^{\infty} \frac{x - (t-T_{cn})}{x} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \right) \end{aligned} \quad (11)$$

其中,  $\lambda_i$  是第  $i$  个域名的平均请求速率,  $\lambda_q$  是所有域名的平均请求速率(相当于 QPS), 两者共同反映了用户对域名的请求。

## 4 数值分析

通过对 CN 二级域进行 dig 探测实验, 获得了约 90 万个 CN 二级域的 TTL 值。通过统计分析, 这些 TTL 值近似满足均值为  $\mu=1$  的正态分布。当顶级域 CN 的 RR 还未失效时, 递归服务器仍然能够提供正常的解析服务, 因此其  $SRR=1$ ; 当顶级域 CN 的 RR 失效时, 递归服务器的 SRR 按照式(6)变化。因此, 递归的 SRR 可以用如下的分段函数表示:

$$SRR = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T, \\ & T \sim U(0, T_{cn}) \\ E\left(\frac{\lambda_i}{\lambda_q}\right) \times \int_{t-T_{cn}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \times \\ \sum_{j=1}^{N_0} \left( \int_{t-T_{cn}}^{\infty} \frac{x - (t-T_{cn})}{x} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \right), & t \geq T_{cn} \end{cases} \quad (12)$$

根据以往对云递归服务器的用户查询请求的统计以及 CN 区文件中二级域名 NS 记录的统计, 在数值仿真中设定如下的经验值:

$$\begin{aligned} \sigma &= 2.16, \mu = 1, N_0 = 2\,200\,000, \\ \lambda_i &= 5.796 \times 10^{-3}, \lambda_q = 5\,900, \\ T_{cn} &= 6 \text{ (CN 的 TTL-6 h)}, \\ T &= 5 \text{ (任取)}, T \sim U(0, 6), \\ t_{\max} &= 50\,000 \end{aligned}$$

则可得如图 2 所示的递归解析成功率随时间变化的曲线。

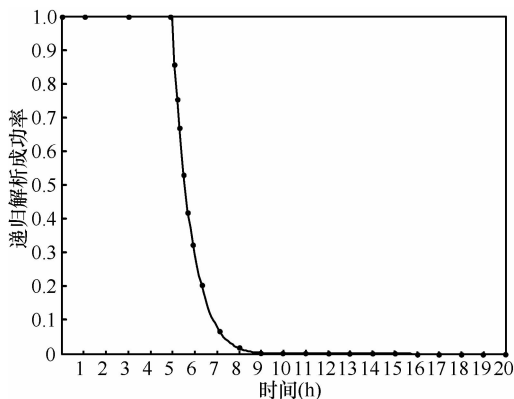


图 2 递归解析成功率随时间变化的曲线

由图 2 中观察: 当顶级域名 CN 的 RR 失效之后, 解析成功率 SRR 开始下降。刚开始, 曲线下降得较快, 1 h 之后趋于缓慢。针对图 2, 有如下讨论。

(1) 曲线的下降速率有一定规律, 可能存在某些特殊的临界点

通过式(6)可知, SRR 的统计规律和各二级域名的访问比例、二级域名的 TTL 分布相关。事实上, 也很容易从直观上理解这一点。TTL 的分布决定了具有特定 TTL 值的二级域名的比例。当这个比例很大时, 说明具有该 TTL 值的域名很多, 一旦过了比 TTL 长的时间, 这些域名 RR 都将失效, 所有对这些域名的访问都得不到正常解析, 而此时, 如果这些域名的访问比例很大, 那么解析成功率就将大大降低。

由于 SRR 的统计规律强烈地依赖于以上两点, 因此在一定的域名访问比例且域名 TTL 具有较精确分布规律的情况下, SRR 的变化可能存在某些临界点。这些临界点可能有利于管理者及时发现递归解析服务异常, 并及时采取有效措施加以应对。要发现这些临界点, 还需要进行更多的实验, 以修正参数和模型, 这是下一步要进行的研究工作。

(2) 所有递归的 SRR 应该具有与此不同的统计规律

由于简便, 在数值分析时个别参数做了特定的取值, 因此这个曲线可以认为是某个特定递归服务器 SRR 的统计规律。由于不同递归服务器保持  $SRR=1$  的时间是在区

间(0,6)上均匀取值,即有些递归SRR在 $t=0$ 的时候就开始下降,而有些在 $t=6$ 的时候下降,因此所有递归SRR的加权统计规律应该比图2的曲线下降得缓慢一些。

因此,顶级域CN的TTL取值影响了SRR保持为1的时间,也就能影响所有递归SRR总体曲线的下降速率,因而可以猜想,CN的TTL取值可能存在一个优化值(可能不是现在的6h)。这个优化值既能够兼顾到域名更新频率的需要,也能使得管理者在递归解析成功率下降的情况下,及时采取应对措施。此外,尽管所有递归SRR的加权统计规律可以在一定程度上反映总体解析服务质量的变化,但要获得这一统计规律,还需要采用一定的加权方式用以修正模型。这些都是下一步的研究工作。

(3)考虑3级域名影响的情况下,曲线应该有更长的长尾

为了简便,本文中以顶级域CN为例,只考虑了CN二级域名对递归SRR的影响。事实上同理,只要递归缓存中二级域名RR存在,对应的3级域名就仍然能够提供正常的解析。因此,基于本文的假设和推导方法,可以得到在考虑3级域名失效的情况下,递归SRR的数学描述。这种情况下,对递归缓存内RR失效过程的描述就更加准确和全面。

(4)本文的建模思想可以用于其他顶级域及其二级以下域名解析成功率的研究

根据本文的建模思想以及上面第二点的分析,在已知其他顶级域(如com、net的二级域)访问比例和TTL分布规律的情况下,也可以得到它们的SRR统计规律。这也是下一步的工作。

## 5 结束语

本文研究了递归服务器在只靠缓存的资源记录提供解析时的解析服务质量问题,即解析成功率。同时研究了影响解析成功率的2个重要因素,并通过数学建模分析了这2个因素对解析成功率的影响规律,该研究对于优化DNS配置,保证DNS解析服务质量等具有重要的参考意义。本文的工作是一个试探性的工作,未来还需要更多的实验进行验证和扩展。

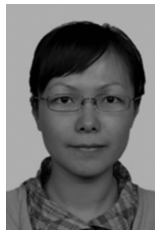
## 参考文献

- 1 李晓东,毛伟,阎保平. 域名服务体系安全问题研究. 计算机工程与应用,2007,43(34)
- 2 王垚,胡铭曾,李斌等. 域名系统安全综述. 通信学报,2007,

28(9)

- 3 柳金甫,李学伟,王军. 应用随机过程. 北京:中国铁道出版社,2009
- 4 叶中行,杜之韩,柳金甫等. 概率论与数理统计. 北京:科学出版社,2010
- 5 金键,毛伟,李晓东等. 域名服务系统安全框架技术要求. ICS 35.100.70, L79,2010
- 6 李晓东,王伟,金键等. 域名系统授权体系技术要求. ICS 35.100.70, L79,2010

## [作者简介]



危婷,女,博士,中国互联网络信息中心助理研究员,主要研究方向为国家域名DNS平台规划以及域名解析服务优化。

冷峰,男,中国互联网络信息中心工程师、运行中心主任助理,主要研究方向为国家域名DNS平台规划以及域名解析服务优化。

张跃冬,男,博士,中国互联网络信息中心副高级工程师、运行中心主任,主要研究方向为国家域名DNS服务平台的规划设计、建设实施及持续优化改进。

黄向阳,男,中国科学院计算机网络信息中心主任、研究员,兼任中国互联网络信息中心主任,主要研究方向为互联网基础资源建设及服务、信息化科研支撑与服务(ARP、数据、科普、e-Science)。

王伟,男,博士,中国科学院计算机网络信息中心科技处主任、副总工程师,主要研究方向为互联网基础资源建设及服务、战略规则与支撑、信息化科研支撑与服务。

何峰,男,中国互联网络信息中心副高级工程师、运行中心主任,主要研究方向为国家域名DNS运行及网络安全。

赵琦,男,中国互联网络信息中心工程师,主要研究方向为国家域名DNS服务平台的规划设计、建设实施及持续优化改进。

于俊锋,男,中国互联网络信息中心工程师,主要研究方向为国家域名DNS服务平台的规划设计、建设实施及持续优化改进。

(收稿日期:2013-06-04)