基于查找树的IP地址分类算法研究

王晓勇[1] 邱玉辉[2]

(西南大学信息中心 重庆 400715)[1](西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)[2]

摘 要 随着Internet的大规模发展,越来越多的网络业务需要对IP地址进行适时、快速分类。在分析二叉Trie树的基础上,改进了其结构,提出了基于256-叉查找树的IP地址分类算法,并详细介绍了其实现过程,比较了它们的优缺点。该算法在满足空间要求的情况下,提高了查找分类时间,具有通用性和实用价值。

关键词 Trie树,IP地址,分类,查找树

IP Classification Algorithm Based on Search-tree

WANG Xiao-Yong[1] QIU Yu-Hui[2]

(Information Center, Southwest University, Chongqing 400715)[1]

(Faculty of Computer & Information Science, Southwest University, Chongqing 400715)[2]

Abstract With the development of Internet, real-time and fast IP address classifications have been applied to more and more services. After analyzing the binary-Trie tree, an algorithm of IP address classification bases on 256-branch search tree is introduced. The analysis shows that this algorithm is prior in time and is acceptable in space.

Keywords Trie tree, IP address, Classification, Search tree

1 引言

随着互联网的大规模发展,越来越多的业务需要对IP地址进行适时、快速的分类,比如网络计费系统、网络流量监控、多出口的策略路由等等[1]。IP地址分类问题描述为:当Internet的IP数据包到达计费网关时,计费网关要决定是否允许该IP包通过,并完成计费。计费网关主要根据IP数据包头的目的地址和源地址,在内存的所有类别的IP地址列表中查找,根据查找结果决定丢弃或通过IP包,如允许通过,则根据地址的类别按不同的费率完成计费。内存中的IP地址列表由各种类别的IP地址块组成,如局域网内部地址、免费数据库地址、国内地址等。互联网一般采用CIDR[2](Classless Inter-Domain Routing)表示一个IP地址块,CIDR可把多个IP地址块聚合成一个更大的地址块,减少地址列表的长度。地址块192.168.8.0/24的网络前缀长度为24位,表示IP地址范围:192.168.8.0——192.168.8.255。

因此内存中的IP地址列表是一个个的长度不等的网络地址前缀,而不是单个的IP地址。IP地址分类的过程就是查找数据包的IP地址究竟属于哪块IP地址,查找采用最长网络前缀匹配。比如192.168.8.1即在地址块192.168.0.0/16范围内,也在地址块192.168.8.0/24范围内,但后者网络前缀24更长,则192.168.8.1只属于后者,而不属于前者。

2 Trie树

Trie树是一种用于快速检索的多叉树结构。Trie树把要查找的关键词看作一个字符序列,根据这一序列构造用于检索的树结构。在Trie树上进行检索类似于查阅英语词典。

定义1 $S=\{s_1,s_2,\cdots,s_n\}$是定义在字符集Σ上的字符串集合。S的一个Trie树是一棵k分支树T(其中$k=|\Sigma|$),除根以外的所有非叶子节点(或每条边)表示Σ的一个字符,每个叶子节点l_i对应一个字符串s_i,而且从根到叶子节点l_i的路径上的所有节点(不包括叶子节点)表示的字符连接起来就是字符串s_i。Trie树T具有以下特点:

(1)T最多有n个叶子节点;(2)T的深度为S中最长字符串的长度;(3)T的节点个数为$O(n\times m)$,n为S中字符串的个数,m为S中最长字符串的长度。

根据Trie树的以上特点同样可得其优缺点。优点:在Trie树中查找关键字的时间与树中包含的节点树无关,而只与组成关键字的字符数有关。如果所有关键字的字符数较少而关键字的数量较大时,采用Trie树具有明显速度上的优势。缺点:存储空间浪费较大。

3 基于Trie树的IP地址分类方法

3.1 二叉Trie树算法

有许多研究人员提出采用二叉Trie数来加速IP查找[3,4]。一个IP地址可看作是32个0和1组成的字符串,即$\Sigma=\{0,1\}$,IP地址块的网络前缀是由不大于32个0和1字符组成的字符串。表1是一个IP地址列表,其对应的二叉Trie树如图1。

在分类一个IP地址时,从二叉Trie树的根开始查找,从IP地址的第一位开始依次往后,IP地址的该位是0则指针移到左分支节点,是1则指针移到右分支节点。当下一指针是空指针时,则根据当前节点的标志即可判断该IP地址的类别。

二叉Trie树查找结构简单,但在最坏的情况下,对IPv4来说,查找比较次数多达32次。二叉Trie树的IP地址分类

*)本文受到教育部重点课题资助(No. 104262)。王晓勇 工程师,主要研究方向:计算机应用技术、网络流量监控。邱玉辉 博士研究生导师,主要研究方向:模糊逻辑、多Agent系统、网格计算等。

算法在最坏情况的时间复杂度是 O(32)，空间复杂度是 O(32n)，n 是以前缀形式表示的 IP 地址块数。

表 1　IP 地址块列表 1

序号前缀类别				
K1	K2	K3	K4	K5
0*	01*	10*	100*	1101*
L1	L2	L3	L4	L5

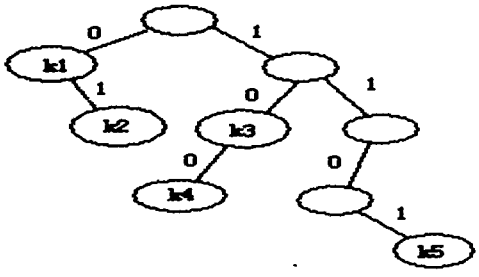

图 1　二叉 Trie 树

3.2　256-叉 Trie 树算法

显然，随着网络流量的增大，基于二叉 Trie 树的 IP 地址分类算法在时间效率上难以满足要求。本文提出对二叉 Trie 树做改进，在存储空间允许的情况下，减少 Trie 树的最大深度，加快查找时间。

32 位 IP 地址由 4 个字节组成，而一般内存的最小寻址单位是字节，把 IP 地址看作是 4 个字符组成的字符串，每个字符由 8 个二进制位(bit)组成，字符集的字符个数是 256，$\Sigma=\{0,1,2,\cdots,255\}$。

256 叉 Trie 树的每个节点有 256 个指针，分别指向 256 个分支，但一般大部分指针是空指针，每个节点增加一个标志位存储单元，存储该节点前缀的 IP 地址类型。因每个字符由 8 个二进制位组成，对 IP 地址块的前缀长度不是 8 的整数倍的，需要扩展成多个前缀长度为 8 的整数倍的地址块。比如 192.168.0.0/22 扩展成 4 个地址块：192.168.0.0/24、192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24。表 2 是一个 IP 地址列表，其对应的 256-叉 Trie 树如图 2。

序号 前缀 类别
K1 10.0.0.0/8 L1
K2 192.168.100.0/15 L2
K3 204.228.64.52/24 L3

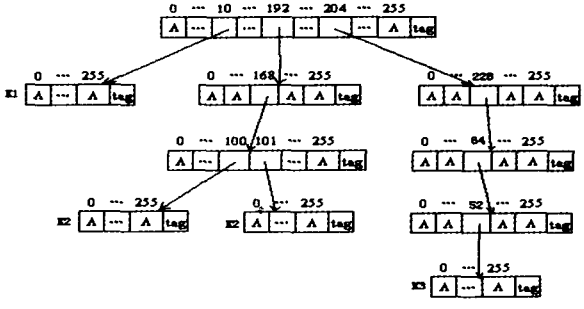

图 2　256 叉 Trie 树

256 叉 Trie 树降低了查找树的深度，减少了平均和最坏情况下的查找时间。在最坏情况下，对 IPv4 来说，查找比较次数是 4，时间复杂度是 O(4)。但需要的存储空间增加，在最坏情况下，空间复杂度为 O(256 * 4 * n)，其中 256 是每个节点的存储空间大小，n 是以前缀形式表示的 IP 地址块数。

互联网可分配 IPv4 地址数量有限，IP 地址块的数量不会大量增加，而网络流量持续成倍增加，因此，通过适当增加内存空间加快查找速度是值得的。

3.3　算法程序

下面是 C 语言描述的基于 256 叉 Trie 树的 IP 地址分类算法。

```
int TREESEARCH (TREE * T, unsigned int ip)
{
//T 是指向 256-叉 Trie 树的根节点的指针，ip 是需要查找的 IP 地址
//返回值 tag 表示 ip 的类别
int i,j,tag;
TREE * p, * q;
p = T;//p 指向 256-叉 Trie 树的根节点
q=p;
j = 1; //j 初值为 1，表示从 IP 地址的第一字节
tag=0;
while (P<>NULL){
    i=(ip>>((4-j) * 8))& 0x000000ff; //取 ip 的第 j 字节赋值给 i
    q=p;
    p=p->branch[i] ; //p 指向第 i 个分支节点
    j++;
 }
  return q->tag;
}
```

算法程序中用到的主要数据结构：

```
typedef struct branch_node_str {/ * Trie 树节点的数据类型定义 * /
    TREE * branch[256]; //指向分支节点的指针
    int tag;//tag 值表示 IP 地址块的类别
}TREE;
```

结束语　据统计[5]，90%的网络流量集中在 10%的 IP 地址中，即查询主要集中在少数的 IP 地址。据此特点，可在内存中设置一个较小缓存区，先在缓存区查找，不成功再到 256 叉 Trie 树查找，可加快平均查询分类速度。

参 考 文 献

1　邢东旭，王静宇，谭跃生，等. 一种基于 linux 软中断机制的计费网关系统[J]. 大连理工学报，2005，45(增刊)：95～99

2　Classless Inter-Domain Routing (CIDR) Overview. http://public.pacbell.net/dedicated/cidr.html

3　郑丽英. 数据结构 Trie 及其应用[J]. 现代计算机，2004(8)：20～22

4　Gupta P，McKcown N. Packet classification on multiple fields[J]. ACM Computer Review，1999，29：146～160

5　程光，龚俭. 大规模高速网络流量测量研究[J]. 计算机工程与应用，2002(5)：17～19