

基于 CCP 模型的 BitTorrent 集群测量研究

林 凯, 王潇斌, 石 碧, 杨 哲

(苏州大学 计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215006)

摘 要: 对 P2P 集群的测量与分析, 有助于理解其现状及演变规律, 从而对其进行优化和管理. 根据赠券收集模型的一般原理并进行了优化, 设计实现了一种主动测量方法及平台, 可用较少的主机对全球 BitTorrent 集群开展持续的主动测量. 该方法能在短时间内, 获取每个集群中超过 90% 的在线节点, 同时对网络本身的影响较小. 在近 9 个月的实验中, 分别测量了从 Torrentz 获取的 3 万多个 BT 集群. 结果表明 BT 集群中的节点分布具有明显的地域性, 而且国内外用户在客户端和端口使用上具有明显的偏好.

关键词: P2P 集群; 主动测量; 赠券收集模型; 地域分布; 用户偏好

中图分类号: TP393.07

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)11-0134-04

Measurements on BitTorrent Swarms Based on CCP Model

LIN Kai, WANG Xiao-bin, SHI Bi, YANG Zhe

(School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: Detecting the P2P swarm, analyzing their distribution is a challenging task, which has not received the deserved attention. We used active measurement methodology to continuously trace the real-world BitTorrent swarms over the Internet from a stub network for a long period of time. Our measurements achieved the ability of real-time scanning the online peers, avoiding the potential copyright infringement and heavy traffic on Internet. During the over eight-month measurements, from July 15 2010 to March 31 2011, we crawled 33,008 swarms, collected 8,963,776 distinct peers. Then we analyzed the distributions and preferences of peers. We find that the geographical distribution of peers in all swarms span quite universally. And there are some quite differences in the preferences between the users in and outside China.

Key words: peer-to-peer swarm; active measurement; coupon collector problem; geographical distribution; user preferences

1 引言

P2P(Peer-to-Peer)应用消耗了大量带宽, 给网络管理和内容监管带来巨大的压力. 有研究者采用拓扑感知或地域感知技术, 来设计邻居节点选择及通信机制, 以减少跨 AS 的流量^[1]. 因此, 了解 P2P 节点的地域分布, 对设计这种 ISP 友好机制十分重要. 但多数 P2P 应用, 如 BitTorrent(BT), 是全球部署的分布式系统, 具有规模大、复杂度高、动态性强

等特点. 被动测量方法, 不能对其拓扑结构、节点分布及集群特性进行有效的分析. 因此, 在真实网络环境中, 通过主动测量才能获取具有代表性且能反映出真实情况的数据.

文献[2]设计出了基于主动探测技术的 P2P 网络监控, 并针对 BT 和 eMule 进行了系统的设计与实现, 主要用于资源的发现与定位^[3]. 文献[3]对 BT 应用进行了为期 3 个月的主动测量. 结果表明, 节点在 AS 中的分布具有明显的地域性, 且节点在

收稿日期: 2012-05-12; 修回日期: 2012-06-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(61070170); 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(11KJB520017); 苏州大学大学生创新创业训练计划项目(111028525); 苏州大学大学生课外学术科研基金项目(KY2012073A)

Tracker 服务器上的分布也极度不均衡。

文献[4]对从 Mininova 和 PirateBay 获取的种子集群进行了连续 103 天的测量,发现 70% 的 BT 集群中都存在内容提供商伪装成普通用户,监视用户下载行为的情况。

文献[5]针对地域感知技术在 BT 集群上的实际效果进行了大规模测量。种子来源分别为 Mininova 和 PirateBay。他们分析了集群大小、集群的动态特征和集群的自治域拓扑结构等特性。

上述研究的测量结果和结论,但还存在两个问题。第一,种子来源较为单一,其结果不能反应一般集群的特性。第二,在测量方法上,现有研究缺乏理论模型的支撑,无法保证对单个集群获取其全部的节点信息,不能反应整个集群的特性。

2 BT 集群主动测量方法

P2P 集群的主动测量^[6],需要根据具体的 P2P 协议构建测量节点,模拟正常节点的行为加入 P2P 集群以获取各种数据。对 BT 集群而言,测量节点加入集群的关键是能够与 tracker 服务器交互,以及通过 DHT 网络,获取集群中大量其它节点的信息。

2.1 赠券收集问题

BT 系统中的 tracker 服务器在收到节点发送的请求后,会随机返回一个已知节点信息的列表。一般来说,列表中包含的节点数有一个最大上限(tracker 服务器默认返回 50 个节点信息)。节点不断发送请求,以尽可能获取集群中全部节点信息的过程,是随机抽样过程。该过程是一个典型的赠券收集问题(CCP, coupon collector problem)。

CCP 问题的一般描述为:假设有 n 种赠券,每种赠券获取概率相同。若每次取 1 张赠券,则集齐 n 种赠券需要重复取多少次? 假设 t_i 表示在收集了第 $i-1$ 种赠券以后,到收集到第 i 种赠券需要重复的实验次数,则 t_i 是一个随机变量。服从几何分布,并有期望: $E(t_i) = \frac{1}{p_i}$ 。其中 p_i 表示在收集 $i-1$ 种赠券后,再获得一种新赠券的概率: $p_i = \frac{(n-i+1)}{n}$ 。令 T 表示收集所有 n 种赠券需要重复的实验次数,则 $T = \sum t_i$ 。根据期望的线性性质,则有:

$$\begin{aligned} E(T) &= \sum_{i=1}^n E(t_i) = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} + \cdots + \frac{1}{p_n} \\ &= \frac{n}{n} + \frac{n}{n-1} + \cdots + \frac{n}{1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= n \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n} \right) \\ &= n \cdot H_n \end{aligned}$$

其中 H_n 是 n 的调和级数,当 $n \rightarrow \infty$, 满足:

$$H_n = \ln n + \gamma + O\left(\frac{1}{n}\right)$$

其中, γ 是欧拉-马歇罗尼常数, $\gamma \approx 0.5772156649$, 则:

$$E(T) = n \cdot H_n = n \cdot \ln n + \gamma n + O(1)$$

对于一个有 5000 个节点的集群 ($n=5000$), 大约需要收集 45472 个节点信息, 才能获得集群中全部节点。其中包含了大量重复的节点信息, 重复率 r 为: $r = E(T)/n \approx 9$ 。这对于大集群的测量极为不利, 即使 tracker 服务器每次返回 k 个节点信息 ($k=50$), 也需要重复 909 次请求。而 BT 系统规定了两次请求的最小间隔时间 t_{interval} ($t_{\text{interval}} = 5\text{min}$), 那么 909 次请求至少需要 $909 \times 5\text{min} \approx 3\text{days}$ 。但 BT 集群随着节点的加入和离开, 处于高度动态变化中。只有在较短时间内获取集群的全部节点信息, 形成集群的一个快照, 才能对其进行有效分析。

2.2 模型优化

因此 CCP 模型不适合直接用于 BT 集群测量, 尤其是对大集群, 其会导致节点重复率高, 测量时间过长。本文采用两个方法对其进行优化。

第一, 在不失代表性的前提下降低期望值。CCP 模型开始时可以在较短内收集多种不同的赠券, 但最后全部的赠券则要花很长时间才能集齐, 使得 T 的期望要比 n 大得多, 导致重复率 r 过高。但如果把问题变为: 为获得所有 n 种赠券中的 u 种 ($u/n \rightarrow 1$), 那么需要重复实验的次数的期望为:

$$\begin{aligned} E(T') &= \frac{n}{n} + \frac{n}{n-1} + \frac{n}{n-2} + \cdots + \frac{n}{n-u+1} \\ &= n \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{i} - \sum_{i=1}^{n-u} \frac{1}{i} \right) \\ &= n(H_n - H_{n-u}) \\ &= n \left(\ln n - \ln(n-u) + O\left(\frac{1}{n}\right) - O\left(\frac{1}{n-u}\right) \right) \end{aligned}$$

当 n 和 u 足够大时, 可以忽略最后两项, 可得:

$$E(T') = n \ln \frac{n}{n-u}$$

对于 5000 个节点的集群, 取 $u/n = 0.9$, 则只需要收集 11513 个节点信息。此时的节点重复率 $r' \approx 2.3$, 就可获得集群中 90% 的节点。对这 90% 的节点进行分析, 仍能很好的反映整个集群的特性。虽然该方法减少了需要的请求次数, 但仍需要 19 个小时才

能完成($11513/50 \times 5\text{min} \approx 1151\text{ min}$).

因此,本文采用的第二个方法就是用 m 台主机模拟多个节点同时发起请求.假设对一个 5000 个节点的集群($n=5000$),需要在 30 分钟内($t_{\text{snapshot}}=30\text{min}$),获取 90% 的节点($u/n=0.9$),请求间隔时间 5 分钟($t_{\text{interval}}=5\text{min}$),每次获得 50 个节点信息($k=50$),则需要的主机数 m 为:

$$m = \frac{E(T')/k}{t_{\text{snapshot}}/t_{\text{interval}}} \approx 39$$

3 实验平台与数据分析

3.1 主动测量平台

本文设计并实现了一个对 BT 集群进行主动测量的平台.由 45 台主机构成,分成 4 种功能节点,包括 2 个爬虫节点,2 个数据库节点,40 个测量节点和 1 个调度节点.爬虫、测量及调度节点的机器配置为:P4 1.7G/512M/80G/XP SP2.数据库服务器型号为 Dell PowerEdge 1950,配置为 1 路 4 核 Xeon CPU/8G/146G $\times$ 2 SAS/Windows 7.所有节点通过千兆局域网相连并接入 CERNET,如图 1 所示.

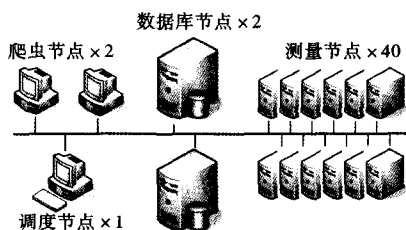


图 1 主动测量平台

爬虫节点上运行爬虫程序,负责从 Torrentz 上获取 BT 种子. Torrentz 是目前最大的种子元搜索引擎,其搜索来源是 33 个主要的种子发布网站.测量节点上运行定制的 BT 客户端,能主动加入其网络,与 tracker、DHT 网络和其他节点交换有用信息,但不下载或上传任何数据.因此对网络流量和正常节点的影响很小.数据库节点负责存储爬虫节点和测量节点所得到的全部种子与节点信息.为了提高数据可用性和系统可靠性,本文采用 2 台服务器互为热备.调度节点,负责任务分配和数据分析.根据每个测量节点的处理负载,将获得的种子分配给适当的测量节点.

3.2 节点信息分析

在获得节点信息后,本文使用两个公共数据库列表分析了节点分布及其种类.首先是 GeoLite 数据库,它能判断节点 IP 的地理信息,如国家和地区

城市等^[7].该数据库在国家级能够达到 99.5% 的精确率.其次是 i-Blocklists 数据库^[8],用于分析节点的 IP 地址类型.本文采用了其中的三种 IP 类型库:Level-1、EDU 和 BOGON. Level-1 库提供了正在监测 P2P 用户的公司、组织或政府机构的 IP 段. EDU 库提供了已知的教育机构的 IP 段. BOGON 库提供了所有未分配的 IPv4 地址空间. BOGON 地址是保留的或具有特殊用途的地址,这些地址不应该出现互联网上.使用这些地址的个人或机构,主要用来隐藏自己的身份,此类现象经常出现在 DoS 攻击、垃圾邮件与其他安全问题中.

4 测量结果与分析

4.1 节点分布

根据对所有 BT 节点的 IP 所对应的国家和地区进行统计,这些节点分布于 215 个不同的国家和地区.图 2 给出了 BT 节点在这些国家和地区中的分布曲线.可以看出,该曲线呈指数分布,说明 BT 节点具有很强的地域分布特性,国家和地区之间的分布极度不均衡.部分国家和地区仅拥有少量的 BT 节点.事实上,69% 的国家和地区拥有的节点总数少于 10000 个,而少数排名靠前的国家和地区拥有大量节点.表 1 中列出了排名前 5 的国家和地区以及各自所拥有的节点数和比例,其节点数量总和占全球节点数的 39.3%.

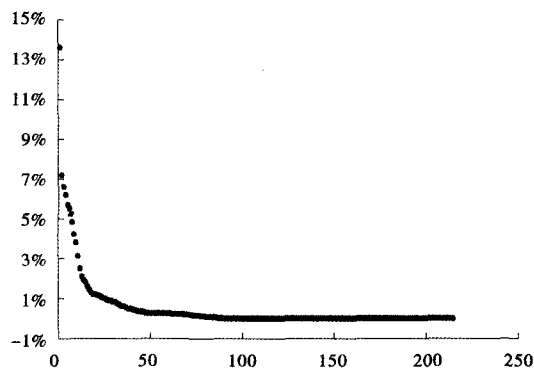


图 2 不同国家(地区)的 BT 节点分布

4.2 客户端的普及度

实验中,一共识别出 37 种已知的 BT 客户端和超过 15 种未知客户端.表 2 列出了国内外流行度排名前 3 以及未知的客户端名称和其所占比例.可以看出,国内外流行的客户端大相径庭.国外用户使用的客户端相对集中,排名前 3 位的客户端总计占 68.68%. 国内用户使用的客户端相对多样,排名前 3 位的客户端仅占 30%. 另外无论国内外,仍有近

1/4 左右的用户使用了未知的客户端。

表 1 排名前 5 的国家(地区)及其拥有的节点数

排名	国家(地区)	节点数	比例
1	US	1 222 062	13.6%
2	GB	645 473	7.2%
3	JP	594 926	6.6%
4	TW	555 069	6.2%
5	CA	510 570	5.7%

表 2 国内外排名前 3 及未知的 BT 客户端

排名	国外		国内	
	名称	比例	名称	比例
1	Azureus	36.23%	XunLei	14.54%
2	uTorrent	27.41%	BitComet	11.22%
3	Mainline	5.04%	uTorrent	4.24%
未知		23.61%		28.39%

4.3 节点类型

表 3 中给出了 Level-1、EDU 与 BOGON 类型的 IP 比例. 其中仅有 0.006% 的 IP 属于 BOGON IP, 这与之之前文献中的结论截然不同, 而属于 Level-1 的 IP 比例较之前的测量结果有了较大的下降。

表 3 BT 节点 IP 类型的比例

IP 类型	Level-1	EDU	Bogon
比例	0.456%	1.441%	0.006%

4.4 端口分布

图 3 所示为所有节点的端口分布状况. 国外用户倾向于使用 10000 号之后的端口, 但国内用户则偏好使用小端口, 几乎 83% 的节点使用的端口号均小于 30000. 表 4 中列出了国内外最常用的 5 个端口, 可以看到传统的 6881 和 16881 端口, 在国内外虽仍然排在前五位. 但从各端口所占比例来看, 即便前 5 位的端口也只占很小的份额. 这充分说明, BT 系统已经普遍采用动态端口技术来躲避检测。

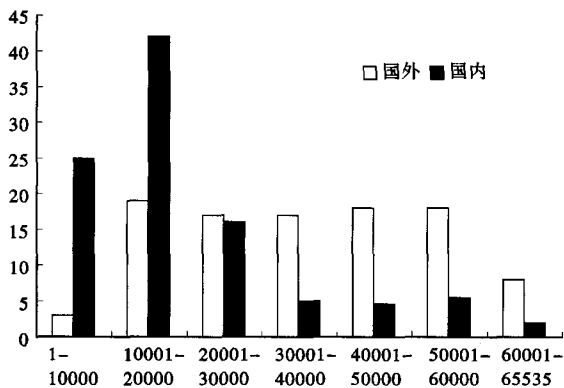


图 3 BT 节点的端口分布

表 4 最常用的 5 个 BT 端口

排名	国外		国内	
	端口	比例	端口	比例
1	51 413	1.95%	80	5.33%
2	6881	0.72%	16 881	1.28%
3	45682	0.70%	8 284	1.16%
4	16881	0.24%	51 443	0.94%
5	1500	0.12%	6 881	0.51%

5 结束语

了解 P2P 节点集群的分布与使用偏好等特性, 对 P2P 模型的分析 and 流量优化具有重要意义. 本文基于赠券收集问题, 设计并实现了一个优化的主动测量平台, 对 BT 集群开展了近 9 个月的测量, 分析了节点的分布规律, IP 类型与常用端口等. 下一步将研究 P2P 系统的动态特征与拓扑结构等内容。

参考文献:

- [1] Karagiannis T, Rodriguez P, Papagiannaki K. Should internet service providers fear peer-assisted content distribution [C]// Proc of the ACM IMC. 2005: 63-76.
- [2] 余彦峰, 秦海权, 郭志博. 基于主动探测技术的 P2P 网络监控[J]. 信息安全, 2008, 11(11): 76-79.
- [3] Liu Jiang-chuan, Wang Hai-yang, Xu Ke. Understanding peer distribution in the global internet [J]. IEEE Network, 2010, 24(4): 40-44.
- [4] Blond S L, Legout A, Lefessant F, et al. Spying the world from your laptop-identifying and profiling content providers and big downloaders in BT [C]// Proc of the LEET, 2010: 24-32.
- [5] Hobeld T, Hock D, Oechsner S, et al. Measurement of BT swarms and their AS Topologies [R]. University of Wurzburg Institute of Computer Science, 2010.
- [6] 刘琼, 徐鹏, 杨海涛. Peer-to-Peer 文件共享系统的测量研究[J]. 软件学报, 2006, 17(10): 2131-2140.
- [7] GeoIP. [EB/OL]. [2012-05-12]. <http://www.maxmind.com/>
- [8] iBlocklists. [EB/OL]. [2012-05-12]. <http://iblocklist.com/lists.php>

作者简介:

林 凯 男, (1992—), 研究方向为计算机网络测量与分析.
杨 哲 男, (1978—), 博士, 讲师. 研究方向为网络测量与管理、流量检测与分析。