

路由器别名解析程度影响分析

任健¹, 姜誉^{2,3}, 高歌²

(1. 黑龙江大学 信息科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江大学 计算机科学技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;
3. 黑龙江省数据库与并行计算重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 路由器别名解析是基于 traceroute 机制的因特网路由器级拓扑测量中的难点和重要环节之一, 生成的路由器级拓扑图的结构特征与别名解析完全性密切相关。以具有幂律分布的拓扑图为基础拓扑图, 采用最短路径方式进行模拟测量。实验结果表明了别名解析不完全可能使测量得到的拓扑图与基础拓扑图的结构特征不一致。更为重要的是, 对于大规模路由器级拓扑测量, 随着测量源点数量的增加, 需同时提高别名解析完全性, 才能使测量得到的拓扑图更接近于实际的拓扑图。

关键词: 网络拓扑; 因特网拓扑测量; 路由器; 别名解析

中图分类号: TP393

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)Z2-0160-07

Analysis on the impact of router alias resolution

REN Jian¹, JIANG Yu^{2,3}, GAO Ge²

(1. School of Information Science and Technology, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;

2. School of Computer Science and Technology, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;

3. Key Laboratory of Database and Parallel Computing of Heilongjiang Province, Harbin 150080, China)

Abstract: Router alias resolution is one of hard problems and important steps for router level Internet topology measurement based on traceroute mechanism, and the topology characteristic of the generated router level topology graph has close relationship with the completeness of alias resolution. The graph with its degrees following power-law distribution was taken as the base-graph, and the shortest paths from one source to others were computed for simulating topology measurement. Experiment results show that it is very probable to see different topology characteristics between the derived graph and the base-graph due to incomplete alias resolution. Most importantly, for large-scale router level topology measurement, the completeness of alias resolution must be improved with the increasing number of probe sources, and in this way the derived topology graph could be approximate to the real topology graph.

Key words: network topology; Internet topology measurement; router; alias resolution

1 引言

跨域的因特网(Internet)路由器级拓扑测量是进行因特网结构及演化行为等方面分析和研究的重要基础, 近十年来已得到研究人员的广泛关注^[1,2]。

目前, 跨域的 Internet 路由器级拓扑测量主要依赖于基于 traceroute 机制的主动测量方法, 首先, 通过发送探测报文, 获得 IP 地址级转发路径和路由器接口 IP 地址级拓扑, 然后经过路由器别名解析(alias resolution)过程, 最后得到路由器级拓扑。所谓路由

收稿日期: 2012-07-10

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(F200823); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目基金资助项目(11551342, 12521432)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of Heilongjiang Province(F200823); The Science and Technology Research Project Foundation of Heilongjiang Education Office (11551342, 12521432)

器别名解析是指将属于同一台路由器不同接口的 IP 地址(称为别名)解析或识别出来,以便进行别名接口合并,得到以路由器为节点粒度的拓扑图。因此,路由器别名解析是基于 traceroute 机制的因特网路由器级拓扑测量中的重要环节之一。

本文以具有节点度幂律分布^[3]的拓扑图为基础拓扑图,依据最短路径原则进行模拟测量。通过实验,一方面量化别名解析程度对拓扑结构的影响,印证了别名解析在路由器级拓扑测量中的重要性。另一方面,对于大规模拓扑测量,随着测量源点数量的增加,需同时提高别名解析完全性,才能使生成的拓扑图更接近于基础拓扑图。

2 实验方法设计

本节以图 1 为例,介绍本文的实验方法和过程。将图 1 作为以路由器为节点的基础拓扑图,其中,标号 A 至 G 代表路由器节点,对每个路由器的接口进行编号,若路由器 R 有 k 个接口,则其接口依次编号为 R₁, R₂, …, R_k, 这 k 个接口互为别名。按路由器级图来看,该图有 7 个节点,有(A, B)、(A, D)、(A, E)、(A, G)、(B, C)、(B, D)、(B, F)、(C, D)、(D, E)等 9 条边。

首先,以每个节点为源点,按 Dijkstra 最短路径算法求出到其他节点的最短路径。根据 IP 转发路径测量中通常返回入口地址的原理,除测量

源点以外,其他节点采用节点标号及进入接口编号表示该节点,例如 B₁;对于测量源点,当其节点度至少为 2 时,采用节点标号及下标号 0 表示该节点,例如 A₀,保证源点的表示唯一和图连通;当其度为 1 时,则采用节点标号及接口编号 1 表示该节点,例如 G₁。这样得到的最短路径信息如表 1 所示。

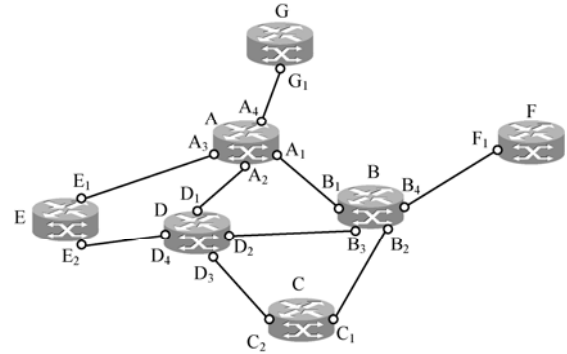


图 1 路由器之间的连接情况

然后,将从每个测量源点得到的最短路径信息中的重复边删除,得到无重复边的接口级拓扑信息,如表 2 所示,相应的接口级拓扑无向图如图 2 所示,共有 36 条边,23 个节点。可以看到,接口级拓扑图中的顶点数是基础拓扑图中的 3 倍还多,边数则是基础拓扑图中的 4 倍,并且在拓扑结构上与基础拓扑图也有很大的差别。这反映出别名解析在路由器级拓扑测量中的重要性。

表 1 不同测量源点得到的最短路径

目的节点	测量源点						
	A	B	C	D	E	F	G
A	-----	B ₀ -A ₁	C ₀ -B ₂ -A ₁	D ₀ -A ₂	E ₀ -A ₃	F ₁ -B ₄ -A ₁	G ₁ -A ₄
B	A ₀ -B ₁	-----	C ₀ -B ₂	D ₀ -B ₃	E ₀ -D ₄ -B ₃	F ₁ -B ₄	G ₁ -A ₄ -B ₁
C	A ₀ -B ₁ -C ₁	B ₀ -C ₁	-----	D ₀ -C ₂	E ₀ -D ₄ -C ₂	F ₁ -B ₄ -C ₁	G ₁ -A ₄ -B ₁ -C ₁
D	A ₀ -D ₁	B ₀ -D ₂	C ₀ -D ₃	-----	E ₀ -D ₄	F ₁ -B ₄ -D ₂	G ₁ -A ₄ -D ₁
E	A ₀ -E ₁	B ₀ -D ₂ -E ₂	C ₀ -D ₃ -E ₂	D ₀ -E ₂	-----	F ₁ -B ₄ -D ₂ -E ₂	G ₁ -A ₄ -E ₁
F	A ₀ -B ₁ -F ₁	B ₀ -F ₁	C ₀ -B ₂ -F ₁	D ₀ -B ₃ -F ₁	E ₀ -D ₄ -B ₃ -F ₁	-----	G ₁ -A ₄ -B ₁ -F ₁
G	A ₀ -G ₁	B ₀ -A ₁ -G ₁	C ₀ -B ₂ -A ₁ -G ₁	D ₀ -A ₂ -G ₁	E ₀ -A ₃ -G ₁	F ₁ -B ₄ -A ₁ -G ₁	-----

表 2 去除重复边后的接口级拓扑

源点	去重后的边	无重复的接口
A	(A ₀ ,B ₁),(A ₀ ,D ₁),(A ₀ ,E ₁),(A ₀ ,G ₁),(B ₁ ,C ₁),(B ₁ ,F ₁)	A ₀ ,B ₁ ,C ₁ ,D ₁ ,E ₁ ,F ₁ ,G ₁
B	(B ₀ ,A ₁),(B ₀ ,C ₁),(B ₀ ,D ₂),(B ₀ ,F ₁),(D ₂ ,E ₂),(A ₁ ,G ₁)	A ₁ ,B ₀ ,D ₂ ,E ₂
C	(C ₀ ,B ₂),(C ₀ ,D ₃),(D ₃ ,E ₂),(B ₂ ,F ₁),(B ₂ ,A ₁),	B ₂ ,C ₀ ,D ₃
D	(D ₀ ,A ₂),(D ₀ ,B ₃),(D ₀ ,C ₂),(D ₀ ,E ₂),(B ₃ ,F ₁),(A ₂ ,G ₁)	A ₂ ,B ₃ ,C ₂ ,D ₀
E	(E ₀ ,A ₃),(E ₀ ,D ₄),(D ₄ ,B ₃),(D ₄ ,C ₂),(A ₃ ,G ₁)	A ₃ ,D ₄ ,E ₀
F	(F ₁ ,B ₄),(B ₄ ,A ₁),(B ₄ ,C ₁),(B ₄ ,D ₂)	B ₄ ,
G	(G ₁ ,A ₄),(A ₄ ,B ₁),(A ₄ ,D ₁),(A ₄ ,E ₁)	A ₄

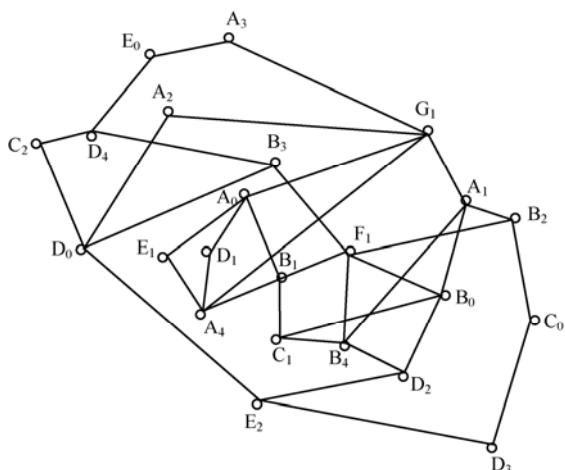


图 2 得到的接口级拓扑图示例

接着，进行别名合并过程来模拟经过别名解析后得到的路由器级拓扑。在这里，具有相同节点标号、只是接口编号不同的节点是别名，例如 A_1 与 A_2 、 D_3 与 D_4 等，分别合并为 A_0 和 D_0 。

可以看到，对于该接口级图，当 100% 的别名得到解析及合并时，恰好得到基础拓扑图，从而能够完全反映出基础拓扑图特征。但是，当只有一部分别名得到解析时，合并后得到的图将与基础拓扑图存在一定差异，正如后续实验所表明，拓扑特征可能不同。

以图 1 中的路由器 B 和 F 为例，B、F 之间只有一条连接，但因为路由器多接口特点以及测量源点不同使得进入路由器 B 的接口不同，导致可能产生 (B_0, F_1) 、 (B_1, F_1) 、 (B_2, F_1) 、 (B_3, F_1) 、 (F_1, B_4) 等 5 条边，因此。别名解析对生成路由器级拓扑至关重要，解析不完全就可能导致的拓扑图不能反映实际的拓扑情况。

此外，在别名合并不完全情况下，与基础拓扑图相比，节点的度可能变大，例如路由器 F 的节点度初始为 1，在图 2 中却体现为 5。

为反映出别名解析的完全程度和经别名合并得到的拓扑图与基础拓扑图特征的差别之间的关联关系，按 0%、20%、40%、60%、80%、85%、90%、95%、100% 的比例，依次对测量中出现的别名接口进行随机选择与相应的合并，分别得到对应的拓扑图，与基础拓扑图特征进行对比。其中 0% 表示对接口级拓扑图未进行别名合并，就是测量得到的接口级拓扑图；100% 表示对接口级拓扑图中出现的全部别名都进行了别名合并后的情形，20% 则表示对接口级拓扑图中出现的别名中的 20% 进行

别名合并后情形。

本文采用高比例包含低比例的原则，例如按 40% 的比例选择别名时，是在前面已随机选择 20% 别名的基础上，再随机选择 20% 的别名，逐渐增加，直到 100%。随机选择百分比的增大代表别名解析程度的提高。与每次都从总量中按比例随机选择相比，这种方式可以更好地观察别名解析程度的影响。为保证统计顽健性(robustness)，除 0% 和 100% 比例以外，其他实验数据为 10 次实验的平均值。

实验总体上分为 2 个阶段。第一阶段的目的是根据以每个节点为测量源点得到的全部最短路径集合，删除重复边后生成接口级拓扑图，按不同的比例进行别名合并，观察别名合并程度的影响。第二阶段的目的是按不同数量的测量源点得到的最短路径集合，删除重复边后分别生成接口级拓扑图，同时按不同的比例进行别名合并，观察测量源点数量以及别名合并程度的影响。为使拓扑测量更完全，实验中的测量目标为基础拓扑图全部节点。

实验的算法流程描述如图 3 所示。

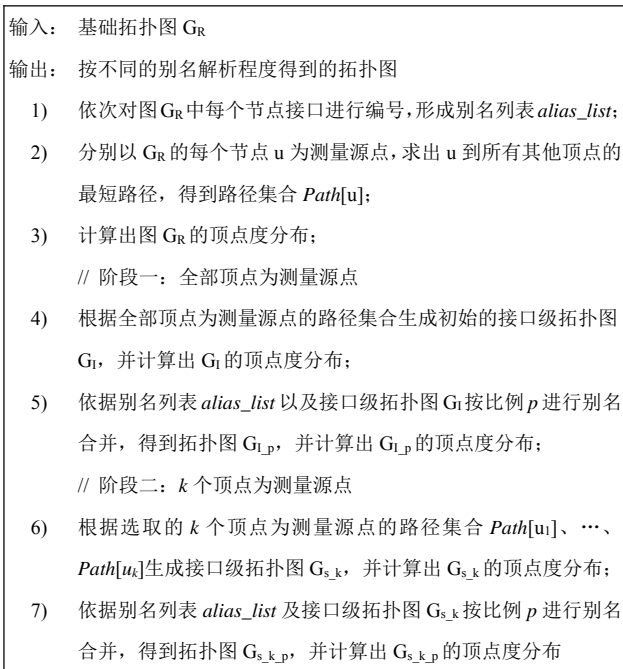


图 3 实验的算法流程描述

3 实验结果和分析

本文采用拓扑生成器 Inet3.0^[4]生成具有节点度幂律分布、4 000 个顶点、6 644 条边的带边权无向连通图，将其作为基础拓扑图(以下简称基图)。

首先通过观察以 4 000 个点为源点时测量得到

的拓扑图(以下简称测图)的节点度—等级(degree-rank)的分布情况变化来反映不同别名解析程度的影响。10 次随机实验的结果十分相似,以其中一次为代表来说明。为突出分布的尾部特征,采用双对数坐标,如图 4 所示。

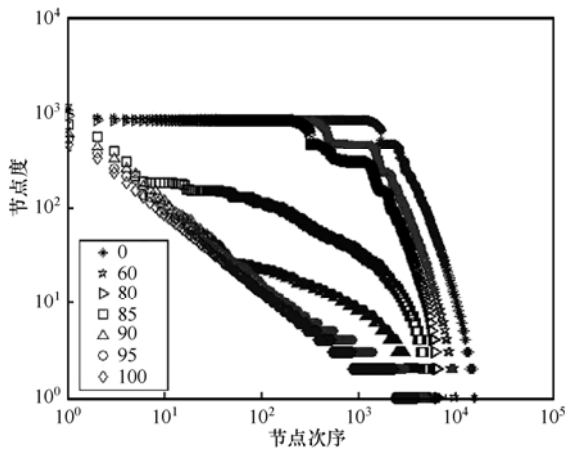


图 4 4 000 个源点、不同合并百分比时的 degree-rank 分布

随着别名合并百分比的增加,分布曲线越来越向完全解析时的曲线靠近,但只有当别名合并比例达到 95%时,测图与基图的差异才比较小。尤其值得注意的是,基图的度—等级分布是幂律分布,即节点度 d 与其等级 r 之间具有关系 $d \propto r^{-\alpha}$,在双对数坐标下呈线性,但别名合并比例小于等 90%时,测图的度—等级分布并不呈幂律分布。

测图的顶点数、边数、最大度以及平均度等随不同的别名合并比例的变化情况如表 3 所示。

只有在别名合并比例达 95%时,测图的顶点数、边数、最大度以及平均度等特征参数才与基图接近。此外,如前所述,与基图相比,未进行别名合并或者合并不完全可能会使测图的最大度变大,特别是在别名合并比例在 20%~60%时最大度却是增长的,这源于少数别名的合并使合并节点的邻居增多。在合并比例不超过 85%时,与基图相比,测图中度较大的节点数量仍然较多(如图 4、图 5 所示),使测图的平均度较大。这里需要说明的是,在基图上求最短路径集合时有 5 条边由于边权较大没有遍历到,因此未体现在初始测图中,从而即使初始测图中 100%的别名都进行了合并,得到的拓扑图也比基图少了 5 条边,但节点数不受影响。

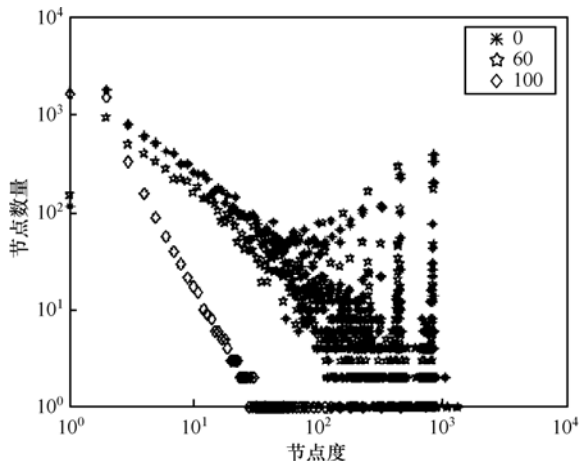
测图的顶点频率—度(frequency-degree)分布随不同的别名合并比例的变化情况如图 5 所示。与通过 degree-rank 分布观察到的情况一样,只有当别名合并比例达到 95%时测图与基图的差异才比较小。

接着再通过观察随不同测量源点数量以及不同的别名合并比例的变化,测图的 degree-rank 分布的变化情况,来反映不同别名解析程度的影响。由于实际通常从桩网络中进行拓扑测量,测量源点相当于 1 度顶点,为反映拓扑测量实际,分别随机选取 2、10、50、100、500、1 000 个节点度为 1 的节点作为测量源点,与 4 000 个测量源点的处理方式类似,分别在对应的初始测图上,依次按不同百分比进行别名合并,相应的 degree-rank 分布情况如图 6 所示。在选取测量源点时,为保证统计的顽健性,

表 3 4 000 个源点时拓扑规模随解析程度的变化情况

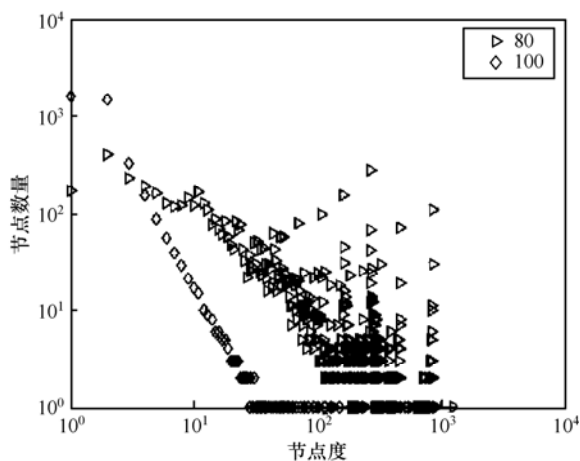
合并百分比	顶点数及减少的比例	边数及减少的比例	最大度及减少的比例	平均度及减少的比例
0%	15 649(0.0%)	1 249 296(0.0%)	1 070(0.0%)	160(0.0%)
20%	14 476(7.5%)	1 055 381(15.5%)	1 223(-14.3%)	146(8.8%)
40%	12 556(19.8%)	859 406(31.2%)	1 478(-38.1%)	137(14.4%)
60%	9 897(36.8%)	651 508(47.8%)	1 557(-45.5%)	132(17.5%)
80%	6 833(56.3%)	421 936(66.2%)	1 383(-29.3%)	123(23.1%)
85%	6 181(60.5%)	60 957(95.1%)	1 491(-39.3%)	20(87.5%)
90%	5 505(64.8%)	16 508(98.7%)	1 120(-4.7%)	6(96.3%)
95%	4 840(69.1%)	8 477(99.3%)	964(9.9%)	4(97.5%)
100%	4 000(74.4%)	6 639(99.5%)	854(20.2%)	3(98.1%)

这 1 662 个测量源点互不相同。

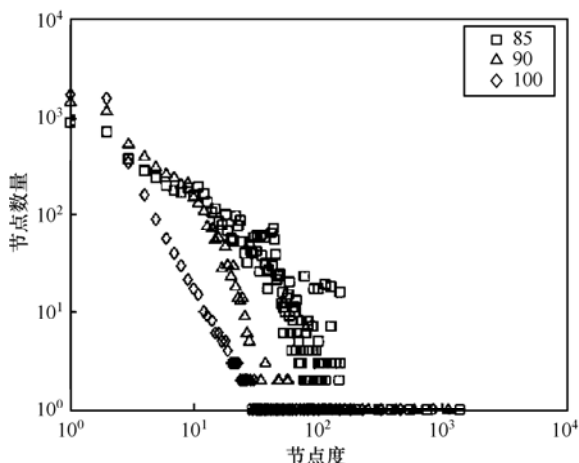


(a)随机选择百分比为0%、60%、100%

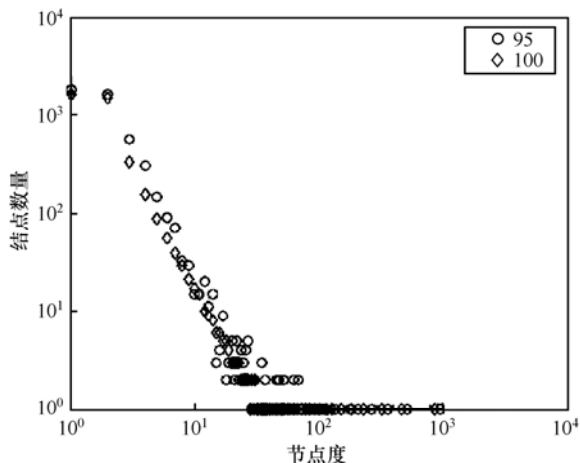
合并比例的变化，测图的 frequency-degree 分布的



(b)随机选择百分比为80%、100%



(c)随机选择百分比为85%、90%、100%



(d)随机选择百分比为95%、100%

图 5 4 000 个源点、不同百分比的 frequency-degree 分布

从图 6 中可以看到，别名解析的影响程度与测量源点的数量有关。1)当源点数量为 2 时，测图与基图的 degree-rank 分布按不同的别名合并百分比的变化并不明显，也就是说，即使不进行别名合并，其幂律分布指数也非常接近，别名合并百分比在 0%至 80%时，分布曲线总体上只是略向上平移一些。2)当源点数量增加到 10 或 50 时，别名合并程度的影响开始显现，合并百分比在 0%至 80%时，测图的 degree-rank 分布开始呈现不符合幂律特征的分布，尤其是数量较多的低度节点。只有合并百分比不低于 85%才使测图与基图的 degree-rank 分布比较接近。3)当源点数量不少于 100 时，别名合并程度的影响进一步凸显。源点数量为 100 或 500 时，合并百分比需达到 90%测图才可能反映出基图特征。4)当源点数量达到或超过 1 000 时，合并百分比需达到 95%才有可能用测图代表基图。

观察随着不同测量源点数量以及不同的别名

变化情况(限于篇幅省略该图)与观察测图的 degree-rank 分布的变化情况得到的结论相同。

还可以看到，当测量源点数量很少时(例如 5 个及以内)，即使别名合并可能不完全，测图依然能够反映基图的节点度幂律分布特征参数。

4 相关研究工作

目前，与路由器别名解析有关的研究工作主要集中在研究别名解析的方法方面，先后提出了基于相同源地址的方法^[5]、基于域名的方法^[6]、基于图进行分析的方法^[6]、基于 IP 报文标识符的递增性和邻近性及其改进的方法^[6,7]、基于 IP 地址指派惯例及网络构成的方法^[8-10]、基于 IP 报文时间戳选项的方法^[11,12]、以及综合运用已有方法进行别名解析的方法^[13]等。此外，赵洪华等人^[14]针对别名解析过程中的效率问题研究了别名过滤技术，减少探测的数量，以提高别名解析效率。

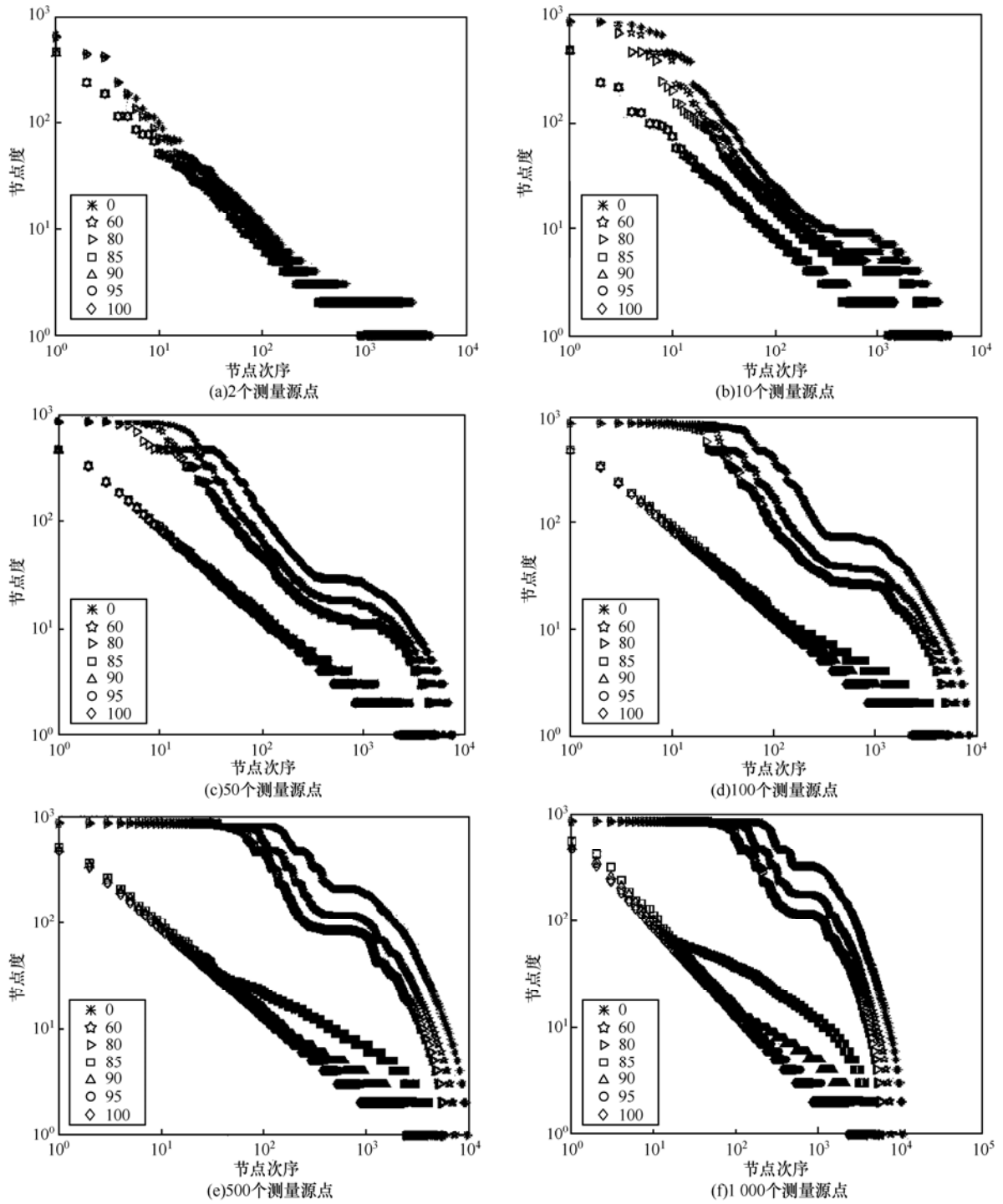


图 6 不同源点数量、不同合并百分比时的 degree-rank 分布

对于别名解析程度的影响分析还不多见。姜誉等人^[15]在研究中注意到，一方面，从不同地理位置对同一组接口地址进行别名解析的结果是不同的，多点解析有利于发现不同的接口；另一方面，别名解析不完全使测量图中的节点粒度不统一，有些节点代表的是路由器，有些节点代表的是路由器接口。因此，努力提高别名解析的完全性和准确性对

基于 traceroute 机制的路由器级拓扑测量来说是至关重要的。Gunes 等人^[16,17]则从图的有关特征角度对别名解析程度的影响进行一定的量化分析。他们是从少量的测量目标且测量源点与测量目标数量相等(测量目标最多 300 个)以及测量目标较多但测量源点个数仅为测量目标的 1%(测量目标最多 3 000 个)这 2 个方面进行的分析，反映了提高别

名解析的完全性是十分重要的。本文的实验与他们的互补,是从测量目标较多且测量源点与测量目标数量相等(源点数量为 4 000 个)以及测量目标较多且测量源点数量从少到多变化(源点数量分别为 2、10、50、100、500、1 000 个)这 2 个方面进行的分析,进一步说明了不同别名解析程度产生的影响。

5 结束语

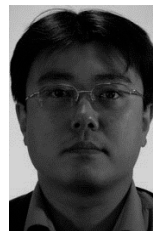
本文主要针对路由器级拓扑测量过程中别名解析程度的影响问题进行分析。实验结果表明了别名解析不完全可能使测量得到的拓扑图与基础拓扑图的结构特征不一致,而且可能使图的规模、边数以及最大度都偏大。

此外,对于目标地址较多的大规模因特网路由器级拓扑测量来说,从少量源点(例如 5 个以内)进行测量虽然可能使拓扑测量不完全,但从节点度幂律分布结构特征参数来说,测量得到的拓扑图依然能够代表实际的拓扑,基本不受别名合并比例的影响。但随着测量源点数量的增加,需同时提高别名解析完全性,才能使测量得到的拓扑图更接近于实际的拓扑结构。

参考文献:

- [1] DONNET B, FRIEDMAN T. Internet topology discovery: a survey[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2007, 9(4): 2-15.
- [2] HADDADI H, RIO M, IANNACONE G, *et al.* Network topologies: inference, modeling, and generation[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2008, 10(2): 48-69.
- [3] FALOUTSOS M, FALOUTSOS P, FALOUTSOS C. On power-law relationships of the internet topology[J]. ACM Computer Communication Review, 1999, 29(4): 251-262.
- [4] WINICK J, JAMIN S. Inet-3.0: Internet Topology Generator[R]. University of Michigan, Technical Report: CSE-TR-456-02,2001.
- [5] PANSIOT J J, GRAD D. On routes and multicast trees in the Internet[J]. ACM Computer Communication Review, 1998, 28(1): 41-50.
- [6] SPRING N, DONTCHEVA M, RODRIG M, *et al.* How to resolve IP aliases[R]. University of Washington, Technical Report: UW- CSE-04-05-04, 2004.
- [7] BENDER A, SHERWOOD R, SPRING N. Fixing ally's growing pains with velocity modeling[A]. Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (IMC)[C]. Vouliagmeni, Greece, 2008, 337-342.
- [8] GUNES M H, SARAC K. Analytical IP alias resolution[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC)[C]. Istanbul, Turkey, 2006. 459-464.
- [9] 史怀洲, 朱培栋. 一种新的路由器多址综合方法[J]. 计算机工程. 2009, 35(13): 102-104.
- [10] 胡博, 陆余良, 杨国政. 基于 IP 地址指派惯例的路由器别名识别方法[J]. 计算机工程. 2009, 35(20): 117-120.
- [11] HU B, LU Y L, YANG G Z. Method of router's alias recognition based on IP address assignment practice[J]. Computer Engineering, 2009, 35(20): 117-120.
- [12] GARCIA J S, MAGANA E, MORATO D, *et al.* Techniques for better alias resolution in Internet topology discovery[A]. Proceedings of the IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management[C]. USA, 2009. 513-520.
- [13] SERRY J, KATZ-BASSETT E, PIMENOVA M, *et al.* Resolving IP aliases with prespecified timestamps[A]. Proceedings of the 10th Internet Measurement Conference (IMC)[C]. Melbourne, Australia, 2010. 172-178.
- [14] KEYS K. Internet-scale IP alias resolution techniques[J]. ACM Computer Communication Review, 2010, 40(1): 50-55.
- [15] 赵洪华, 白华利, 陈鸣等. 别名解析中的别名过滤技术[J]. 软件学报, 2009, 20(8): 2280-2288.
- [16] ZHAO H H, BAI H L, CHEN M, *et al.* Alias filtering technique in alias resolution[J]. Journal of Software, 2009, 20(8): 2280-2288.
- [17] 姜誉. Internet 路由器级拓扑测量与分析技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005: 1-132.
- [18] JIANG Y. Study on the Techniques of Router-Level Internet Topology Measurement and Analysis[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2005. 1-132.
- [19] GUNES M H, NIELSEN N S, SARAC K. Impact of alias resolution on traceroute-based sample network topologies[A]. Belgium,2007. 260-264.
- [20] GUNES M H, SARAC K. Resolving IP aliases in building traceroute-based internet maps[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2009, 17(6): 1738-1751.

作者简介:



任健(1971-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,黑龙江大学副教授,主要研究方向为网络与信息安全。

通信作者 姜誉(1968-),男,黑龙江伊春人,博士,黑龙江大学教授,主要研究方向为网络与信息安全、Internet 测量。E-mail: jiangyu@hlju.edu.cn。

高歌(1986-),女,黑龙江哈尔滨人,黑龙江大学硕士生,主要研究方向为网络与信息安全。