

清 华 大 学

# 综 合 论 文 训 练

题目：基于地址分配和路由表分析的IPv6网络演化研究

系 别：软件学院

专 业：计算机软件

姓 名：蒋小可

指导教师：贺飞讲师

2010年 7月



## 关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解清华大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文的复印件，允许该论文被查阅和借阅；学校可以公布该论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存该论文。

(涉密的学位论文在解密后应遵守此规定)

签 名： 刘小江 导师签名： 胡飞 日 期： 2010.7.6



## 中文摘要

本文采用统计学的方法，从地址分配和路由表的角度进行IPv6的网络测量，测量结果反映了IPv6启用以来的十余年间经历的发展和演化；统计结果可以为紧锣密鼓正在实施的IPv6全面部署提供参考依据，还能够发现新的问题，有助于网络更加稳定、高效和节约的发展。

本文统计工作分为两块，*IP分配*和*路由表分析*。*IP分配*统计从地址块空间、地址块数量入手，分析其时域分布、地理分布、掩码分布。统计发现IPv6地址受到了各个ISP的追捧，目前已经分配了近5000个地址块，然而结合路由表仔细考量这些IP地址的实际使用情况，却发现IPv6地址利用率非常低，仅仅只有40.3%，反映了IPv6在应用上发展并不大，它的发展主要集中在研究上。

对于路由表的统计除时域统计之外，还着重分析了路由表记录的构成和增长的原因。路由表总体在增加，但有很大一部分记录是保持不变的，拿每年上半年跟下半年比，平均有75%保持不变，新产生15%，有10%又消失；路由表和地址分配的都是按照 $O(\text{year}^2)$ 的速度增长，路由表增长原因有两个：一是新的IP被分配和使用，（每年占7% – 15%），二是碎片宣告增加（占30% – 65%）。

以上工作主要反映在第三章“探索研究”部分。

本文的创新点主要如下：

- 统计学的方法，用如此详实系统的统计来做IPv6网络发展和演化尚属首次
- 分析IPv6路由表增长原因，路由表组成也是首例。

**关键词：**地址分配    路由表    IPv6    路由宣告

## ABSTRACT

This thesis takes network surveying of IPv6 on IP allocation and routing table by adopting statistics method. The result reflects more than ten years' development that IPv6 has experienced since it was enabled. The law extracted from the result can be used to predict the future development of IPv6 and provide reference information for the full-cycle deployment of IPv6 and thereby the network will develop more stable, efficiently and economically.

The statistical work can be divided into two parts, which includes IP allocation and routing table analysis. The statistics of IP allocation analyses the distribution in time-domain, geography and at the level of address space and quantity. The statistics shows that IPv6 address is quite popular among ISPs and nearly 5,000 addresses have been allocated by now. However, when the actual maintenance is carefully considered according to the routing tables, it is discovered that the usage of IPv6 address is at an extremely low level(40.3%). It can be concluded that IPv6 cannot develop well in application and its development mainly focuses on the research.

Besides the time-domain statistics, the statistics of routing table analysis of how the routing table records compose and why the records increase. Though the routing table grows as a whole, a large portion of the records have remained. When making a comparison between the first half-year and the latter half-year, we could see that 75% of the records have remained, 15% of those have newly produced and 10% of those have disappeared. There are two reasons for routing table's increasement: New IPs are allocated and used (accounting for 7% – 15% each year); The innovations of this thesis are as follows:

- Statistics method, adopting such an accurate method to do research on the development and evolution of IPv6 network for the first time.
- Analyse of why routing table grows and how it is composed for the first time.

**Key words:** IP Allocation    Routing Table    IPv6    Routing Announcement

# 目 录

|  |   |
|--|---|
| 第 1 章 引言 .....                                 | 1 |
| 1.1 研究背景 .....                                 | 1 |
| 1.2 概念说明 .....                                 | 1 |
| 1.2.1 IPv6.....                                | 1 |
| 1.2.2 IP地址分配 .....                             | 2 |
| 1.2.2.1 IANA and RIRs .....                    | 2 |
| 1.2.2.2 CIDR <sup>[1]</sup> .....              | 3 |
| 1.2.3 AS <sup>[2]</sup> .....                  | 4 |
| 1.2.4 BGP路由表 <sup>[3]</sup> .....              | 5 |
| 1.3 研究现状 .....                                 | 5 |
| 1.3.1 IPv4类似的工作 .....                          | 5 |
| 1.3.2 IPv6演化的工作 .....                          | 6 |
| 1.3.3 数据监测 .....                               | 6 |
| 1.3.3.1 Route Views Project.....               | 6 |
| 1.3.3.2 RIS (Routing Information Service)..... | 6 |
| 1.3.3.3 CAIDA .....                            | 6 |
| 第 2 章 实验环节 .....                               | 8 |
| 2.1 开发环境 .....                                 | 8 |
| 2.1.1 物理机器硬件配置 .....                           | 8 |
| 2.1.2 主机操作操作系 .....                            | 8 |
| 2.1.3 开发语言 .....                               | 8 |
| 2.1.4 数据库 .....                                | 9 |
| 2.1.5 网页服务器 .....                              | 9 |
| 2.2 图形化工具 .....                                | 9 |
| 2.2.1 Google Charts .....                      | 9 |

|         |                                 |    |
|---------|---------------------------------|----|
| 2.2.2   | Fusion Charts, Fusion Maps..... | 11 |
| 2.2.3   | Birdeye .....                   | 12 |
| 2.2.4   | 浏览器 .....                       | 13 |
| 2.3     | 实验流程 .....                      | 13 |
| 2.3.1   | 下载数据 .....                      | 13 |
| 2.3.2   | 解析数据 .....                      | 14 |
| 2.3.2.1 | whois数据 .....                   | 14 |
| 2.3.2.2 | BGP中的RIB数据 .....                | 14 |
| 2.4     | 导入数据 .....                      | 15 |
| 2.4.1   | 数据库设计 .....                     | 15 |
| 2.4.2   | python导入.....                   | 15 |
| 2.5     | 统计 .....                        | 15 |
| 2.5.1   | IP分配层次 .....                    | 15 |
| 2.5.2   | BGP路由层次 .....                   | 16 |
| 2.5.3   | 拓扑层次 .....                      | 16 |
| 2.6     | 方案设计 .....                      | 17 |
| 第 3 章   | 探索研究 .....                      | 18 |
| 3.1     | 定义 .....                        | 18 |
| 3.2     | 统计结果 .....                      | 19 |
| 3.3     | 地址分配与路由表大小的增长 .....             | 21 |
| 3.3.1   | RIRs分配情况 .....                  | 22 |
| 3.3.2   | 各国的IP地址 .....                   | 23 |
| 3.3.3   | 历年的地址分配情况 .....                 | 23 |
| 3.3.4   | 地址掩码分布 .....                    | 25 |
| 3.4     | 地址的使用情况.....                    | 26 |
| 3.4.1   | 使用延迟 .....                      | 26 |
| 3.4.2   | 未使用的IP地址.....                   | 27 |
| 3.4.3   | 地址宣告情况 .....                    | 27 |
| 3.5     | 路由表增长的详情 .....                  | 28 |



|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.5.1 路由表中记录的变化 .....       | 28 |
| 3.5.2 新分配的地址对路由表增长的贡献 ..... | 28 |
| 3.6 碎片宣告分析 .....            | 29 |
| 3.6.1 独立宣告 .....            | 29 |
| 3.6.2 碎片宣告 .....            | 30 |
| 3.6.3 两者的状态的变化 .....        | 30 |
| 3.7 AS级别拓扑 .....            | 31 |
| 3.8 结论和展望 .....             | 31 |
| 插图索引 .....                  | 33 |
| 表格索引 .....                  | 34 |
| 公式索引 .....                  | 35 |
| 参考文献 .....                  | 36 |
| 致 谢 .....                   | 37 |
| 声 明 .....                   | 39 |
| 附录 A 文献翻译 .....             | 41 |
| A.1 概述 .....                | 41 |
| A.2 关键词 .....               | 41 |
| A.3 介绍 .....                | 41 |
| A.4 背景 .....                | 43 |
| A.5 地址分配和路由表规模的增长 .....     | 43 |
| A.6 地址使用 .....              | 43 |
| A.6.1 使用延迟 .....            | 43 |
| A.6.2 未使用的地址 .....          | 44 |
| A.6.3 宣告模式 .....            | 44 |
| A.7 详查BGP路由表的增长 .....       | 44 |
| A.7.1 路由表内容变化 .....         | 44 |
| A.7.2 新分配的地址对路由增长的贡献 .....  | 45 |

|                |    |
|----------------|----|
| A.8 相关工作 ..... | 46 |
| A.9 结论 .....   | 46 |

## 主要符号对照表

|        |                                     |
|--------|-------------------------------------|
| IANA   | Internet Assigned Numbers Authority |
| RIR    | Regional Internet Registry          |
| ISP    | Internet Service Provider           |
| IP     | Internet Protocol                   |
| IPv4/6 | IP version 4/6                      |
| CIDR   | Classless Inter-Domain Routing      |
| AS     | Autonomous System                   |



# 第 1 章 引言

## 1.1 研究背景

2000.1.1 0:00点，世纪之交，美国、法国、日本、澳大利亚等多国元首和计算机彻夜不眠，枕戈待旦，迎接“千年虫”问题；据估计，为解决“千年虫”问题，全球耗资超过6000亿美元，其中美国耗资过千亿。如果“千年虫”只是某一个程序员为了节省两个字节带来的“小问题”，那么32位长度的IPv4地址则是互联网开拓者们始料未及的“大麻烦”。

根据亚太网络信息中心(APNIC)区域互联网注册机构数据显示，截至2010年1月，45亿个IPv4地址中，只有少于10%的地址可供使用，并预料于2011年年底IPv4地址将不敷使用。解决燃眉之急的方案是IPv6，所以IPv6的部署成为当务之急，势在必行。2009年12月，中国最大的网络服务提供商（ISP），中国电信表示IPv6将于2012年进入规模商用，IPv4网络和业务平台将在2015年逐步退出。

IPv6的历史可以追溯到1994年，第一块IPv6地址分配于1999年。如果把第一块IPv6地址正式分配算成是IPv6部署的开始，那么IPv6部署工作已经11年。但是为什么在2009年之前，IPv6一直声名不显，默默无闻？这1999 – 2009这十年间IPv6网络发展处于一种什么样的状态？它是如何发展和演化的？这正是本文要研究的问题。

当前IPv6的重要性被广泛认识和接受，大量的人力和财力投到到IPv6的研究和项目中去，研究者需要对IPv6的发展和演化历史有一个比较深入的了解，本文通过大量的数据、细致而可信的统计，展示出IPv6发展演化的足迹，满足了这种需要。

## 1.2 概念说明

### 1.2.1 IPv6

Internet的历史可以追溯到1962年，IP协议的实例则可以追溯到1974，在1980由美国人温顿·瑟夫（Vinton Cerf）提出：计算机网络内部各自使用

自己的通讯协议，在和其它网络通信时使用TCP/IP协议，奠定了TCP/IP协议在互联网通信上不可动摇的地位。

IP协议一个核心作用是给每一台主机分配一个地址，在IPv4协议中，地址用32个bits表示，也就是说地址空间为 $2^{32}$ ，不到43亿；但是Internet规模增长远远超过设计者当初的预想，43亿IP地址根本无法满足需要；在二十世纪90年代初，研究者意识到这个问题，IETF的IPng工作组在1994年9月提出了一个正式的草案“The Recommendation for the IP Next Generation Protocol”，1995年底确定了IPng的协议规范，分配了版本号6（版本号5已经被分配另一种草案），称为“IP version 6”（IPv6），1998年又作了较大的改动，从而形成了现在的IPv6协议。

IPv6协议中，IP地址用128个bits表示，地址空间之大，可以用“地球上任何一粒沙子都可以获得一个IP地址”来形容；改协议除了地址长度之外，在路由结构，安全性，移动支持，Qos支持，可扩展性，地址配置，邻居发现等方面有了较大改进，但是该协议与IPv4协议不兼容

### 1.2.2 IP地址分配

IP地址在使用之前，首先要向相关组织申请，申请成功之后就可以合法使用分配给它的IP地址。<sup>①</sup>连续的IP地址块采用“前缀/掩码”的方式来表示，例如IP地址块 166.111.132.0/16,表示的地址块为166.111.132.0 ~166.111.132.255，而166.111.132.117是166.111.132.0/16这个地址块中的一个IP，该地址块掩码为16，可以称为一个“/16”的地址块。

#### 1.2.2.1 IANA and RIRs

IP地址分配由IANA负责，IANA指定了五个RIRs，分别负责地球上不同地方的机构分配IP地址。地址由RIRs分配给ISPs，ISP再分配给公司或者终端用户使用。表 1.1是五个RIRs各自负责的区域，图 1.1在地图上的直观表示

---

<sup>①</sup> 如果没有经过分配就使用，称之为地址冒认（IP Spoofing）

表 1.1 五大区域性分配机构

| 分配机构名                 | 管理区域       |
|-----------------------|------------|
| ripenncc <sup>①</sup> | 欧洲、中东、中亚   |
| apnic                 | 亚太地区       |
| arin                  | 北美地区       |
| lacnic                | 拉美和一些加勒比群岛 |
| afrinic               | 非洲地区       |

① 同ripe ncc



图 1.1 RIRs管理区域分布<sup>①</sup>

#### 1.2.2.2 CIDR<sup>[1]</sup>

CIDR是一个用于给用户分配IP 地址以及在互联网上有效地路由IP数据包的对IP地址进行归类的方法。

在域名系统出现之后的第一个十年里，基于分类网络进行地址分配和路由IP数据包的设计就已明显显得可扩充性不足（参见RFC 1517）。为了解决这个问题，互联网工程工作小组在1993年发布了一新系列的标准——RFC 1518和RFC 1519——以定义新的分配IP地址块和路由IPv4数据包的方法。

一个IP地址包含两部分：标识网络的前缀和紧接着的在这个网络内的主机地址。在之前的分类网络中，IP地址的分配把IP地址的32位按每8位为一段分开。这使得前缀必须为8，16或者24位。因此，可分配的最小的地址块有256（24位前缀，8位主机地址， $2^8=256$ ）个地址，而这对大多数企业来说太少了。大一点的地址块包含 65536（16位前缀，16位主机， $2^{16}=65536$ ）个地址，而这对大公司来说都太多了。这导致不能充分使用IP地址和在路由上的不便，因为大量的需要单独路由的小型网络（C类网络）因在地域上分得很开而很难进行

聚合路由，于是给路由设备增加了很多负担。

无类别域间路由是基于可变长子网掩码（**VLSM**）来进行任意长度的前缀的分配的。在**RFC 950**（1985）中有关于可变长子网掩码的说明。**CIDR**包括：

- 指定任意长度的前缀的可变长子网掩码技术。遵从**CIDR**规则的地址有一个后缀说明前缀的位数，例如192.168.0.0/16。这使得对日益缺乏的IPv4地址的使用更加有效。
- 将多个连续的前缀聚合成超网,以及，在互联网中，只要有可能，就显示为一个聚合的网络，因此在总体上可以减少路由表的表项数目。聚合使得互联网的路由表不用分为多级，并通过**VLSM**逆转“划分子网”的过程。
- 根据机构的实际需要和短期预期需要而不是分类网络中所限定的过大或过小的地址块来管理IP地址的分配的过程。

因为在IPv6中也使用了IPv4的用后缀指示前缀长度的**CIDR**，所以IPv4中的分类在IPv6中已不再使用。

### 1.2.3 AS<sup>[2]</sup>

在互联网中，一个**AS**是指在一个（有时是多个）实体管辖下的所有IP网络和路由器的全体，它们对互联网执行共同的路由策略。参看**RFC 1930**中更新的定义。

最初时，该定义要求一个自治系统由一个单一实体管辖，通常是一个互联网服务提供商或一个拥有到多个网络的独立连接的大型组织，其遵循一个单一且明确的路由策略。参看**RFC 1771**，边界网关协议（**BGP**）的初始定义（现已废止）。由于多个组织可使用各自私有的自治系统编号来与同一个将它们连接到互联网的**ISP**之间运行**BGP**协议，因此得到较多应用的是**RFC 1930**中较新的定义。尽管**ISP**支持了这多个自治系统，但对互联网来说只能看到该**ISP**的路由策略。所以**ISP**必须具有一个公开且正式登记的自治系统编号（**ASN**）。

用于**BGP**路由中的每个自治系统都被分配一个唯一的自治系统编号（**ASN**）。对**BGP**来说，因为**ASN**是区别整个相互连接的网络中的各个网络的唯一标识，所以这个自治系统编号非常重要。互联网地址分派机构将64512到65535的**ASN**编号保留给（私有）专用网络使用。



#### 1.2.4 BGP路由表<sup>[3]</sup>

在计算机网络中，路由表或称路由择域信息库（RIB）是一个存储在路由器或者联网计算机中的电子表格（文件）或类数据库。路由表存储着指向特定网络地址的路径（在有些情况下，还记录有路径的路由度量值）。路由表中含有网络周边的拓扑信息。路由表建立的主要目标是为了实现路由协议和静态路由选择。

在现代路由器构造中，路由表不直接参与数据包的传输，而是用于生成一个小型指向表，这个指向表仅仅包含由路由算法选择的数据包传输优先路径，这个表格通常为了优化硬件存储和查找而被压缩或提前编译。本文将忽略这个执行的详细情况而选择整个路径选择 / 传输信息子系统作为路由表来说明。

BGP路由表决定数据包转发的路径，例如说某个数据包携带目的IP为FF02::A723, 路由器通过查询路由表发现记录FF02::/112, 且目的端口是端口3, 那么就会把这个数据包从端口3转发出去。实际上FF02::/112这条记录决定了FF02:: FF02::FFFF之间目的地址的转发路径。

整个BGP路由表中应该涵盖所有使用的IP的空间，不在路由表涵盖空间里IP按默认路由转发。

### 1.3 研究现状

#### 1.3.1 IPv4类似的工作

IPv6虽然不兼容IPv4，但是IPv6仍然严重了IPv4中许多关键的技术，例如分组交换和路由，IPv4地址分配机构也承担了IPv6地址分配的工作。所以IPv4网络与IPv6的网络又非常大的一致性，可以从IPv4的研究中吸取许多有用的经验。目前关于IPv4网络演化研究以及颇为成熟，已经有多角度的视角，例如从IPv4网络的发展历史来研究Internet的发展<sup>[4]</sup>，从发展的角度来看待IPv4从一个几个学校的学术网发展为世界性的、关系生活方方面面的网络。也有从IP地址分配、BGP宣告、自治系统、互联网拓扑等方面来阐释互联网的演化<sup>[5]</sup>，文<sup>[5]</sup>也是采用统计的方法，对IP分配、路由增长、路由表构成都坐了非常详尽和细致的分析；

当然也有很多具体的技术研究，比如说拓扑推断技术<sup>[6]</sup>，AS关系推断<sup>[7]</sup>等还有从系统的角度来看待IPv4的发展<sup>[8]</sup>，文<sup>[8]</sup>借用生态系统的概念，来类比描

述IPv4网络的发展

### 1.3.2 IPv6演化的工作

主流对于IPv6发展和演化的演技虽然没有IPv4那么丰富和翔实，但是也有不少研究非常有见地。例如对IPv6地址分配的观察<sup>[9]</sup>来观察IPv6的发展状态，通过对IPv6地址分配的调查和细致的探究，甚至得到了与我们料想的非常不一致的结论

### 1.3.3 数据监测

除了在应用具体工作上的研究之外，在基本数据上的收集工作也早就开始了。

#### 1.3.3.1 Route Views Project

该项目由美国俄勒冈大学高级网络技术中心开发和维护，目的是为网络管理者和研究者，提供一个来自世界各地、多个主干网的实时信息。这个项目思路是在全球各骨干网部署监测点，采集路由信息（包括RIB数据和UPDATE数据）RIB数据每两个小时采样一次，UPDATE数据每15分钟采样一次。把这些数据保存起来，根据这些历史数据，可以还原某个时刻网络路由的大致状况。该项目目前在全球有10个监测点，监测数据最早可以追溯到1997年11月8日，数以百计的论文选择用该项目的数据作实验，还有一些非常有名的项目，如Cyclops, BGP: Inspectd 等是建立在Route Views Project之上的。笔者所做的项目也是建立在Route Views Project之上的

#### 1.3.3.2 RIS (Routing Information Service)

这是由全球五大区域性地址分配机构RIPE开发和维护的项目，目标和方法与Route Views Project大致相同。它有17个监测点，数据最早可以追溯到1999年9月6日，其中RIB数据每一个小时采样一次，UPDATE数据每10分钟采样一次。

#### 1.3.3.3 CAIDA

CAIDA是一个集经济、政府和研究三方面合作与一体的组织，它的目标是推进安全和可扩展的网络设施的设计和维护。它的研究包括路由、拓扑、DNS、

安全、流量分析、政策制定、虚拟化等方面。

## 第 2 章 实验环节

### 2.1 开发环境

#### 2.1.1 物理机器硬件配置

在实验中使用的主机机型是DELL OptiPlex 755 商用台式机，它的CPU是Intel E6750（双核，主频是2.66GHz），内存4GB，由两条2G的NECC DDR2（800 MHz SDRAM Memory）组成，硬盘空间250G ATA硬盘。

作为一款商用机，这款机器硬件稳定，2.66Gx2的CPU处理能力，4G的内存保证了比较快的处理能力。机器售价5000¥，性价比非常高。

其它详细信息可以从 Dell官网查询获得。

#### 2.1.2 主机操作操作系统

对于一个计算机网络相关的研究项目来说，linux下面用非常多的开源、免费的软件，包括数据处理、网络流监测、图形化插件、网站制作等各种软件，而windows平台这方面相对较弱，所以实验中我选择了Ubuntu 9.04（Jaunty）作为操作系统，Ubuntu 系统是linux的一个分支，近年来发展迅速，是用户人群增长最快的linux操作系统，以稳定、高效和友好的用户体验著称。并且继承了Debian系统对apt命令的支持，再加上清华官方的软件源，安装软件非常方便。

Jaunty的Kernel是版本是Linux version 2.6.28-16-generic (gcc version 4.3.3编译)，

可以在shell中使用 `cat /proc/version`命令查看操作系统详细情况

#### 2.1.3 开发语言

该使用选择python作为计算机编程语言，django作为网站开发的框架。python 语言是一种解释型的计算机语言，开发效率高，极易上手；django是python做网站使用最广泛的框架，它提供了良好的MVC框架（即模型M，模版T和视图控制器V三者分离的框架），使得数据层、逻辑层、表现层

耦合性特别低，使用类来操作数据库，非常简单，在开发时基本不用写SQL语句就可以完成非常复杂的数据库操作

Python 版本号为2.6.2， django版本号为1.1.1

使用 `python --version`, 和 `django-admin --version`可分别查看python和django的版本

#### 2.1.4 数据库

采用linux下大名鼎鼎的mysql作为数据库服务器。实际上本实验数据量非常大，采用Oracle数据库是最佳选择，但考虑到Oracle昂贵的价格（以及非常有趣的计价方式）和本实验的研究的性质，最后还是选用了mysql作为数据库服务器。mysql是个小型关系型数据库管理系统，对于个人用户和中小型企业来说，最适合不过。

mysql版本为Distrib 5.0.75(Ver 14.12, for debian-linux-gnu (i486) using readline 5.2)，使用`mysql --version`命令可以查看

#### 2.1.5 网页服务器

本实验最后会用网站的形式展现出实验成果，并且长期跟踪，实时监测，动态更新。网页服务器使用了Apache2——毫无疑问，这是意料之中的结果。既然已经用了Linux (L), Mysql (M), Python (P), 使用Apache2 (A), 便早就了LAMP经典组合。

LAMP组合广泛应用，其中P代表PHP, Python, Perl中的一种。

Apache2 的版本是Server version: Apache/2.2.11 (Ubuntu)，使用`apache2 -v`命令可以查看。

表 2.1对列举了以上内容，总体上说是一个基于LAMP的项目

## 2.2 图形化工具

### 2.2.1 Google Charts

Google Charts是由Google提供的网络服务，通过url访问Google的服务器，并传递图表的参数和数据，就能够返回图表。把该url作为html代码写入到网页文件中，通过浏览器访问页面时，页面就展示出相应的图标。这是一个Google Code上的开源项目，用户可以自由免费下载代码

表 2.1 服务器配置

| 项目    | 配置                | 查看命令                 |
|-------|-------------------|----------------------|
| 硬件    | Dell Optiplex 755 | Dell官网               |
| 操作系统  | Ubuntu 9.04       | cat /proc/version    |
| 开发语言  | Python 2.6.2 7    | python -version      |
| 开发框架  | Django 1.1.1      | dango-admin -version |
| 数据库   | mysql 5.0.75      | mysql -version       |
| 网页服务器 | apache2 2.2.11    | apache2 -v           |

并使用；不过对于一版用户可以只要使用Google服务器提供的服务，按照API手册规定的参数（包括大小、颜色，数据格式等定义），例如指定url: <http://chart.apis.google.com/chart?cht=p3&chd=t:106,169,73,14&chds=0,169&chs=300x150&chtt=Ocean+Area&chdl=Atlantic|Pacific|Indian|Arctic&chma=0,0,0,0|70&chco=3366CC|DC3912|FF9900|109618&chp=4.7> 通过这个url就可以访问到图 2.1 在url中，对图 2.1作了规定：图标类型是p3，即3D pie图，大小为300x150像素，图标标题为“Ocean Area”，包含五组数据。可见Google Charts的使用是比较简单，不过缺点是：

- 依赖Google服务器，在无法与Google相连的情况下图片无法显示；
- Google Charts生成的图标通常是png格式的图片，缺乏动态效果；并且图片有大小限制；
- 对于数据量大图标，将数据传到Google服务器，再由服务器生成图片，返回到浏览器整个过程中响应时间比较长（尤其是一次性获取大量图片的情况）。

关于Google Charts相关信息可以从 [http://code.google.com/apis/chart/docs/making\\_charts.html](http://code.google.com/apis/chart/docs/making_charts.html) 获得

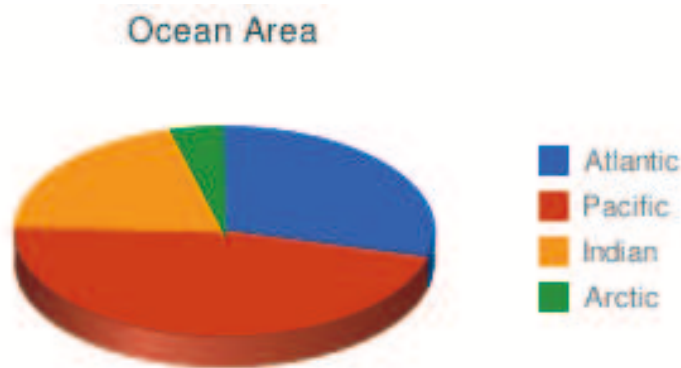


图 2.1 Google Chart图例

## 2.2.2 Fusion Charts, Fusion Maps

Fusion Charts 和 Fusion Maps是由 InfoSoft Global (P) Ltd.公司开发的动态图  
标展示插件。Fusion Charts和Fusion Maps售价都是499美元，但是也提供未注册  
版，未注册版在功能上与注册版没有区别，展示在生成图标（或地图）的左上  
角有一个Infosoft链结的广告。

该软件可以下载源代码，采用插件的形式（本质是JS代码）放在网站服务  
器端，在网页中文件简单写入JS类并配置图表的类型、大小、配色方案，再配  
置好XML格式的数据文件之后，在浏览中访问对应的网页既可以按照XML数据  
动态的生成图表。比如说在example.html中插入下列代码：

```

1  <script type="text/javascript">
2      var chart = new FusionCharts("../Charts/Column2D.swf",
3          "ChartId", "500", "300", "0", "0");
4      chart.setDataURL("Data/Column2D.xml");
5      chart.render("chartdiv");
6  </script>

```

在同目录Data/Column2D.xml文件中写入：

```

1  <chart palette='2' caption='Unit Sales' xAxisName='Month'
2      yAxisName='Units' showValues='0' decimals='0'
3      formatNumberScale='0' useRoundEdges='1'>
4      <set label='Jan' value='462' />

```

```

5      <set label='Feb' value='857' />
6      <set label='Mar' value='671' />
7      <set label='Apr' value='494' />
8      <set label='May' value='761' />
9      <set label='Jun' value='960' />
10 </ chart>

```

通过浏览器访问 example.html文件，既可以看到图 2.2<sup>①</sup>

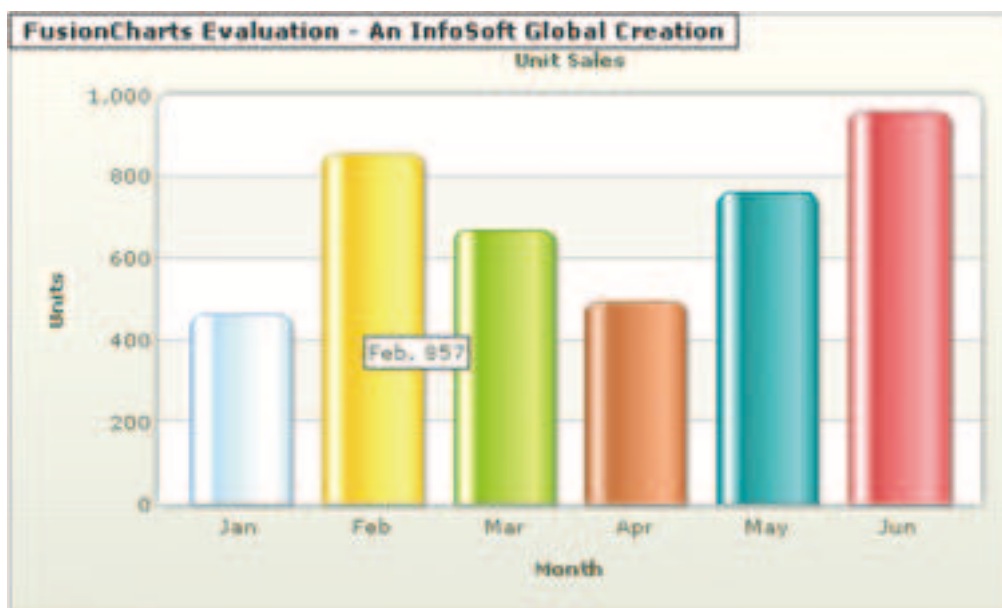


图 2.2 Fusion Chart图例

Fusion Charts和Fusion Maps生成的图标是Flash格式，所以动画效果可以做的非常炫。比如说这幅图中添加了鼠标事件，当鼠标移到每一个横条上，就会显示该横条所表示的数量；并且在这幅图加载的时候还显示了动画效果，横条是从下到上增量加载的。

### 2.2.3 Birdeye

Birdeye是在Google Code上运作的一个开源项目，可以自由免费下载，才使用Flex编写，使用起来相对复杂，如果要做出比较炫的动画效果，需要用

<sup>①</sup> 该图左上角是未注册版的广告链接



到Flex编程，而且工作量比较大，不过它的优点在于对鼠标事件支持的特别晚上，可以动态效应鼠标事件。总体上说Birdeye视觉效果较好，动画效果最佳。

#### 2.2.4 浏览器

开发过程中使用到著名的开源浏览器firefox，配上firebug插件之后对于编程有很多帮助。

浏览时推荐采用firefox 3.6.3，屏幕分辨率设为1680x1050

表 2.2 图形化工具

| 项目                 | 性质                  | 使用             | 效果 | 生成格式      |
|--------------------|---------------------|----------------|----|-----------|
| Google Charts      | 开源 <sup>①</sup> 、免费 | 容易             | 一般 | png图片     |
| Fusion Charts/Maps | 开源、可免费 <sup>②</sup> | 容易             | 极好 | swf Flash |
| Bireeye            | 开源、免费               | F较难            | 较好 | swf Flas  |
| Firefox            | 开源、免费               | — <sup>③</sup> | —  | 全局浏览      |

① 依赖Google服务器

② 未注册版免费，无使用限制

③ 不对firefox进行改动，仅仅使用

## 2.3 实验流程

### 2.3.1 下载数据

- whois

从whois下载数据 <ftp://ftp.arin.net/pub/stats/arin/>，五个分配机构每一个结构都要一个文件，下载的截止日期是2010年5月17日。该文件以gz压缩格式保存解压数据。可用 `tar xvf` 命令解压数据，可以获得文本文件。

`tar xvf`

- Route Views Project

首先从RouteViews Project下载数据 <ftp://archive.routeviews.org/>，该文件以bz2格式保存,使用tar xvf解压数据，可以获得文本文件。使用 `tar xvf` 即可以解压.bz2文件成为MRT格式的数据文件

- 为设么没有下载更多的数据？

网络上可以用到的数据有很多，前面提到到RIS数据，已经Route Views Project里提供的路由UPDATE数据，已经whois更加详细的，含有IP块获得者详细资料的数据。实际上在实验时，这些数据都被下载和参阅过，但是考虑到开发的速度，并没有使用所有的数据，而只是使用了whois数据库里基本数据，Route Views Project里某个监测点（route-views6.oregonix.net）的数据，这个监测点监测IPv6数据<sup>①</sup>，数据时间2003年8月1日到2010年4月30日<sup>②</sup>，每天采样一次。

退一步说，目前使用的数据数据量已经比较大，可以满足目前开发的需要

## 2.3.2 解析数据

### 2.3.2.1 whois数据

whois地址分配数据格式比较简单，举例需要处理的一条记录格式是

```
registry|cc |type |start |value|date |status
```

其中cc指的是ISO 二字母国家或地区的代码，例如

```
arin |US |ipv6 |2001:400:: |32 |19990803 |allocated
```

③

各个域之间用”|”隔开，arin指的是改地址的分配机构，US指获得者所在国家代码，US指美国，ipv6表示这是一个IPv6地址分配记录,2001:400::是这个地址块的前缀,32 是该地址块的掩码，19990803表示分配事件是 1999年8月3日，allocated指分配，另一种状态是assigned指使用。

### 2.3.2.2 BGP中的RIB数据

BGP中的RIB数据是以MRT格式的文件进行保存的，一条RIB记录的格式如下：

```
BGP protocol|unix time in seconds |Withdraw or Announce|
PeerIP|PeerAS|Prefix|AS_PATH|Origin|Next_Hop |
Local_Pref|MED|Community|AtomicAGG|AGGREGATOR
```

① 有部分监测点不监测IPv6数据

② 严格说这是被使用的数据的时间范围，有部分下载数据未使用

③ 本实验中只处理IPv6的数据，非IPv6数据有其它的格式

各个域之间也是用”|”隔开。在本实验中根据RIB数据提取了两项信息

- BGP路由表信息：由此可以计算路由信息，这部分数据大小是2.7GB
- AS的链结关系：由此可以推断出AS级别的路由，这部分数据大小是2.3GB

## 2.4 导入数据

### 2.4.1 数据库设计

为了存储相应的数据，设计了数据库，比较重要的数据表有三个：

- 表Allocation: (prefix, bit\_prefix, mask, registry, country\_code, date, status)
- 表Prefix: (prefix, bit\_prefix, mask, date, monitor\_lookback\_ip, origin\_as)
- 表Hop: (id, as\_near, as\_far, previous\_hop\_id, hop\_type, date, monitor\_lookback\_ip)

表中prefix指的是IP块的前缀，采用16进制表示，bit\_prefix则是prefix的二进制表示方式，monitor\_lookback\_ip指的是监测点的ip，origin\_as是该地址所在的AS号码，previous\_hop\_id指的是指的是路径中上一对的AS的id号。

### 2.4.2 python导入

用django访问数据库非常容易，建立相应的Allocation, Prefix, Hop三个类，表的域作为对应类的成员。从文本文件中读入每一条记录，生成类的实体，调用save()函数，即可把记录存入到数据库

```
1 ip = Allocation(2001:1200::,  
2     001000000000000010001001000000000, 32, 1,  
3     MX, 2003-1-10, 1)  
4 ip.save()
```

## 2.5 统计

### 2.5.1 IP分配层次

IP分配的统计可以发现很多的问题，比如说自从IPv6产生以来IPv6的发展情况，各个国家IPv6的区域性发展状况。

在IP层次的统计主要突出在IP地址的分配次数和大小在时间和空间上的分布:

- **IP分配次数**：即五个**IP分配结构**分配**IP地址块**的次数
- **IP分配空间**：每个被分配的**IP地址块**大小不一样，考虑到最小地址块的掩码大于64，统计时候按照  $\text{space} = 2^{(64-\text{mask})}$  来计算其大小，其中**mask**为该**IP地址块**的掩码
- **时间域分布**：**IP分配**随着时间的变化，比如从1999年到2009年每年分配的**IP次数**
- **空间域分布**：**IP分配**在空间范围内的分布，比如每个国家**IP分配**的情况

### 2.5.2 BGP路由层次

IPv6在BGP中路由中的记录直接反映出IPv6在网络实际运行中发挥的作用，主要统计IP地址自从宣告之后使用的情况，根据这种统计可以算出IPv6地址活跃程度。

### 2.5.3 拓扑层次

在拓扑层次主要是找到支持IPv6的AS级别的拓扑结构。

图 2.3是用Bireeye实现的Flash，每一个彩色的点表示一个AS，点击AS下的数字就可以形成以该AS为中心的图，拖动左下角的游标<sup>①</sup>，可以控制显示的层数。

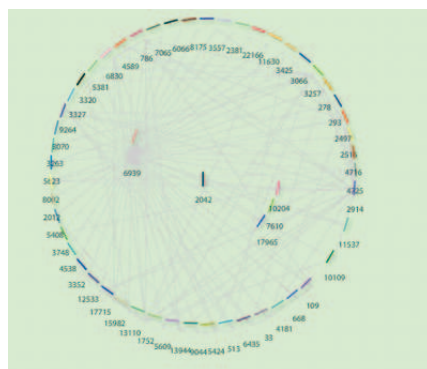


图 2.3 自动拓扑生成

① 该游标不在截图中

2.6 方案设计

考虑到这是一个研究性的项目，可能存在非常多潜在的内容，所以采用增量开发的模型。为了实现目标，采用数据层、逻辑层、表现层三层结构，这种结果也很符合django框架的架构。

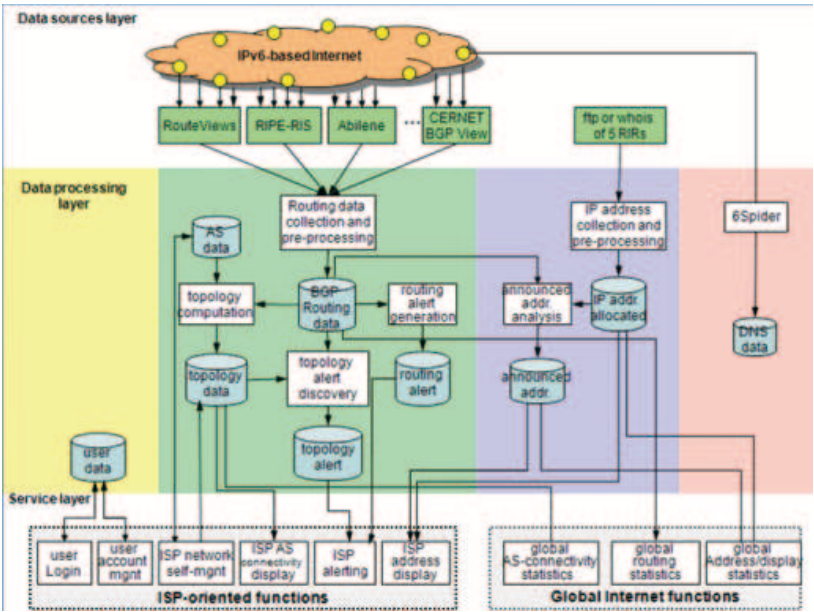


图 2.4 项目设计图

图 2.4是这个项目整体设计图。在图上方表示的是因特网上的数据收集器，例如routeviews，rirs等；中间是逻辑层，把手机来数据经过整理、统计、分析等处理并且存放在数据库中；下面是表现成，根据数据作出各种应用。在本项目中有比较完备的文档，如需求文档，数据库设计文档，项目管理文档。最后本项目文件如下：

表 2.3 图形化工具

| 类型      | 数量(个) | 说明          |
|---------|-------|-------------|
| 需求文档    | 1     | 一共有5次项目需求修改 |
| 数据库设计文档 | 1     | 一共有2次修改     |
| 项目管理文档  | 1     |             |
| raw数据文件 |       | 约100GB      |
| 源程序文件   | 37    |             |
| 其它脚本文件  | 约10   |             |

## 第3章 探索研究

### 3.1 定义

为了文章的描述更加简洁、准确，作如下定义：

1. 以“前缀/掩码”，表示的一段连续的IP地址空间，称为“IP地址块”，也称作“‘掩码’的地址块”。某个IP  $\gamma$ 属于地址块 $a$ ，记作“ $\gamma \in a$ ”。如“2001::/16”是一个/16的地址块，表示从2001::到2001:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF这些地址，称“2001::/16”为一个地址块。 $2001 :: 1234 \in 2001 :: /16$ 。
2. 对于两个IP地址块 $a, b$ ，如果 $a \neq b$ ，且 $\forall \gamma \in a$ ，都有 $\gamma \in b$ ，则称 $b$ 覆盖 $a$ ，记作“ $a \subset b$ ”，
3. 对于两个地址块 $A, B$ ，如果 $\forall a \in A$ ，都有 $a \in B$ ，且 $A \neq B$ ，则称“ $B$ 包含 $A$ ”，或“ $A$ 包含于 $B$ ”，记作“ $A \subset B$ ”。
4. 在BGP路由表记录了目的地址在某个IP地址块内的数据包下一跳的转发路径；在路由表更新时，会接收另据关于转发信息的宣告，然后存到路由表中去，除了手动配置的记录以外，所有的路由记录都是从邻居的宣告中学习过来的，本文不区分路由表记录和宣告，每一个条记录也称为“一条宣告”，表明该记录宣告了某个IP地址块的转发路径。
5. 路由表中记录构成集合 $S$ ， $R \in S$ ，记 $R$ 这条记录中的目的地址块为 $r$ ；同理， $A, B, C$ 的目的地址块分别记作 $a, b, c$ 
  - 如果 $\exists A \in S$ ，对于 $\forall B \in S$ ，都满足 $a \not\subset b$ ，则称 $A$ 是“独立宣告”；
  - 如果 $\exists A \in S$ ，且 $\exists B \in S$ ，使得 $a \subset b$ ，则称 $A$ 是“碎片宣告”；
  - 如果 $A$ 是独立宣告， $a \subset b$ ， $b \subset c$ ，则称 $C$ 是“二级碎片宣告”。

6. 对于一个已经分配的IP地址块，如果BGP路由表中的某条宣告的目的地址部分包含该IP块，或者包含于该IP块，或者两者相同，则称该IP块被“使用”。有三种使用方式，如果IP地址块掩码为 $s$ ，宣告目的地址块掩码为 $t$ ，则：
- 如果 $s < t$ ，则称该地址“聚合使用”，表明路由地址块是多个IP地址块的聚合。
  - 如果 $s == t$ ，则称该地址“同等使用”。
  - 如果 $s > t$ ，则称改地址“碎片使用”，表明路由地址块是IP地址块的碎片，子集。
7. 对于一个已分配的IP地址块，从它分配之日算起到它第一次被使用，这中间经过的时间成为该地址块的“使用延迟”。
8. BGP路由信息中还包括目的地址块所在AS，在两个AS之间，如果存在一条IPv6数据包转发路径AS1到AS2，则称AS1与AS2之间有一条“连接”，所有AS1的连接的数量成为AS1的连接度。从图论的角度看，AS是点，连接是无向边。

### 3.2 统计结果

本文主要从IP地址分配和路由记录两个角度，采用统计学的方法来研究IPv6网络的发展和演化，得到了诸多详实可信、能够反映IPv6发展和演化的数据。下面是一些统计数据说明<sup>①</sup>：

1. ☆ 已经有近5000条IP地址被分配，这些地址块覆盖的地址空间是IPv4地址空间的14万倍<sup>②</sup>，却仅仅是IPv6地址空间总量的 $3.3 \times 10^{-5}$ ，还有大量的地址没有使用，充分说明IPv6地址空间的庞大。
- ☆ 从地域来统计，由RIPENCC负责分配的欧洲、中东、中亚（主要是欧洲）占了44%的地址块数量，而拉美地区则占了47%的地址空间。

---

① 截止到2010年4月30日

② 考虑到IPv6地址后64的特殊用途，IPv6地址空间按照/64为单位来计算，例如2002::33/48,这个地址块，它覆盖的地址空间是  $2^{128-64-48}$

- ☆ 这些被分配的地址块中/32、/48的地址块分别占了76%和16%，其它掩码长度的地址块仅仅占8%。
2. ☆ IP地址虽然被分配，但这仅仅说明ISPs合法的拥有这些IP，而不能表示这些IP在终端主机呢被使用，更不能说明这些IP在网络上可达的。虽然已经有不少的IP被分配，然而遗憾的是，在实际使用中这些分配出去的IP使用率极低，从分配之日算起，在365天内被使用的仅仅只有40.4%；
- ☆ 并且统计结果显示，距分配日期越远，被使用的可能性越小，被使用的40.4%的地址块中有43.0%在30天内被使用，83.1%在180天内使用。
  - ☆ 在所有使用的IP块中，聚合使用的占3.9%，碎片使用的占5.6%，剩下的90.5%都是同等使用，占了绝大多数。
3. 路由表的增长主要原因有两方面，一是新分配的地址给路由表带来新的记录，二是已有的地址被用多个更小的前缀来宣告。路由表有约75%的记录是独立宣告，25%的记录则是碎片宣告。这个结果跟IPv4路由表相差较大，IPv4路由表中超过一半是地址碎片，并且地址碎片是路由表增长最大的原因。
4. ☆ 路由表中存在着大量的独立宣告和碎片宣告，但是这些宣告的状态并不是保持不变的，它可能会消失，产生新的，或者从一个状态变成另一种状态，比如说从独立宣告变成随便宣告。
- ☆ 统计证明，独立宣告更为稳定，而碎片宣告则变化更快，更加的有规律，例如独立宣告中中有70% – 80%保持独立宣告的状态，而碎片宣告只有20% – 90%保持碎片状态，且平均是50%。

本文将按如下方式行文：首先是地址分配相关统计，详细的从时间，地域，掩码等角度说明地址分配的演化；其次是路由记录的统计，主要是从覆盖宣告和独立宣告的角度来分析到路由表增长；最后是结论部分，总结说明IPv6网络的特点和性质。



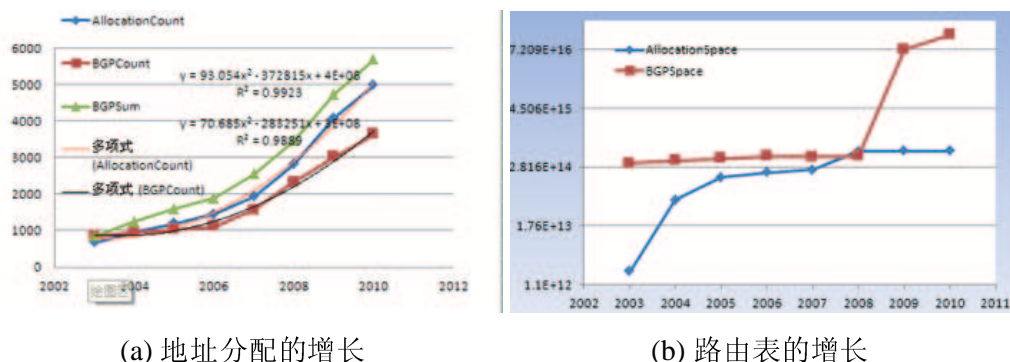


图 3.1 IP分配和路由表的增长

### 3.3 地址分配与路由表大小的增长

图 3.1反映了从2003年<sup>①</sup>到2010年<sup>②</sup> IP分配<sup>③</sup>和BGP路由表的增长。两幅图中关于IP的统计是累计的，例如从2004年IP分配总数，是从1999年IPv6开始分配，到2004年12月31日之间所有IP分配的总和;而BGP的统计是仅仅指当年的数量，例如2004年BGP覆盖的地址空间，是指从2004年1月1日到2004年12月31日之间所有路由表中的BGP记录覆盖的IP地址空间。唯一不同的是图 3.1(a)中的BGP Sum曲线，这条线则是路由表记录历年的累计。

从图中可以看出IPv6和地址分配和路由表呈平方增长，计算证明用二次函数来渐进拟合度最高。这说明IPv6发展非常的有潜力，尤其是在2007年之后，BGP的增长还在模拟曲线之上，这表明IPv6的应用越来越多。其中每年IP分配数量可以用：

$$y = 93.054x^2 - 372815x + 4 \times 10^{-8} \quad (3-1)$$

$$y = 70.685x^2 - 283251x + 3 \times 10^{-8} \quad (3-2)$$

定义BGPCounn/IPCount为BGP路由表的条数与已分配的IP的个数之比，图 3.2(a)显示，从2005年之后，BGP/IP在0.8左右波动。在此之前BGPCount/IPCount较大的原因是IP基数小，而且前期IP获得者往往有比较

① BGP统计日期开始于2003年8月1日，下同

② BGP统计日期截止于2010年4月30日，下同

③ IP分配开始日期为1999年8月3日，截止日期为2010年4月30日

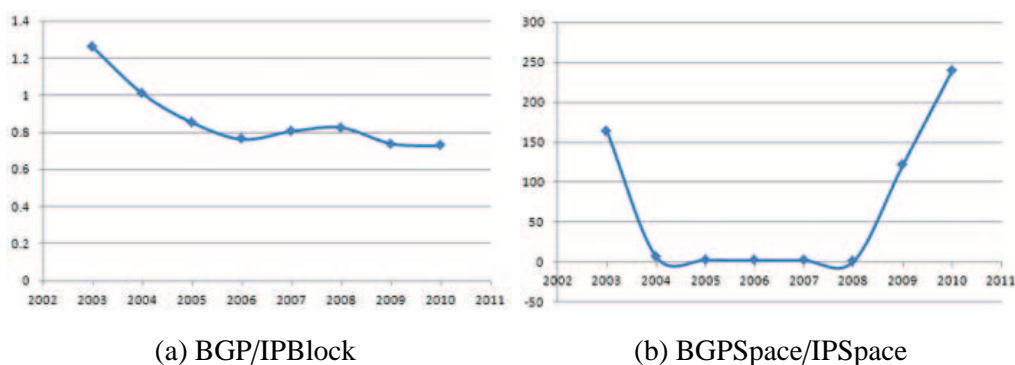


图 3.2 BGP与IP数量与覆盖空间比

迫切的需求；后期保持稳定，主要原因是IPv6的原则导致地址分配和路由表同步增长，IP的利用率保持恒定。

图 3.1(b)两条线分别是已分配IP地址块与每年BGP路由记录覆盖的地址空间，IP地址块覆盖的空间曾经一度非常接近BGP覆盖的空间，但2009年之后开始两者又拉开了巨大的差距。定义BGP与已分配的IP覆盖的地址空间比为BGPSpace/IPSpace, 图 3.2(b)则展示了BGPSpace/IPSpace的变化，在2004年到2008年，BGPSpace/IPSpace大概都在(0,7)之间，但2004年之前和2008年之后则变的非常大，在(100,300)之间。

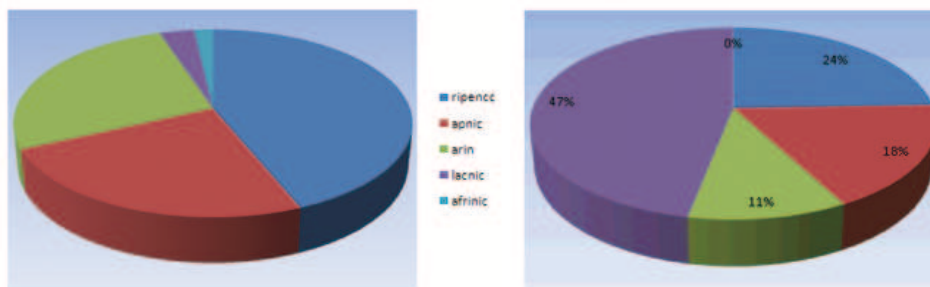
BGPSpace/IPSpace曲线呈现出“U”形，左边突起的原因2004年分配了大量的IP，IP分配是基数小，2004年路由覆盖地址空间大致与2003年相当，但是IP块覆盖地址是2003年的30倍，而右边突起的原因则是由于2009,2010都有/8的路由记录，而此前最大只有/16的路由记录，而96%的路由记录由/32, /48的宣告组成。

### 3.3.1 RIRs分配情况

图 3.3(a)是五个RIRs分配IP<sup>①</sup>地址的次数，图 3.3(b)则是五个RIRs分配IP空间<sup>②</sup>的大小。可以看出从总体上看RIPE NCC分配次数最多，分配出去的空间也比较大，说明欧洲、中东、中亚地区IPv6的发展较快，而AFRINIC分配的次数最少，分配的空间跟其它四个RIRs比，几乎可以忽略不计（在图 3.3(b)完全看不到AFRINIC分配的空间），说明非洲地区 IPv6发展相对滞后

① 指IPv6地址，下文如无特殊说明，IP默认为IPv6

② 指分配出的IP覆盖的地址空间，下同



(a) 全球五大分配机构分配IP地址块个数 (b) 五大分配机构已分配IP空间

图 3.3 IP分配区域性统计

有趣的现象是在图 3.3(a)中，LACNIC分配的次数只有很少，只占3%，倒数第二，仅多于AFRINIC（2%），但是在 3.3(b)中，LACNIC分配出去的空间确实占到了45%，排名第一。造成这种现象的原因是拉美地区分配的地址块都非常大，间接说明拉美地区ISP个数不多，但规模很大。

### 3.3.2 各国的IP地址

图 3.4(a)是统计各个国家的IP地址块个数，图 3.4(b)是统计各个国家的IP地址个数。首先分成R、G、B三种颜色作为分为三个档次，R档数量最多，B档最少；每一档里颜色越深，数量越多。

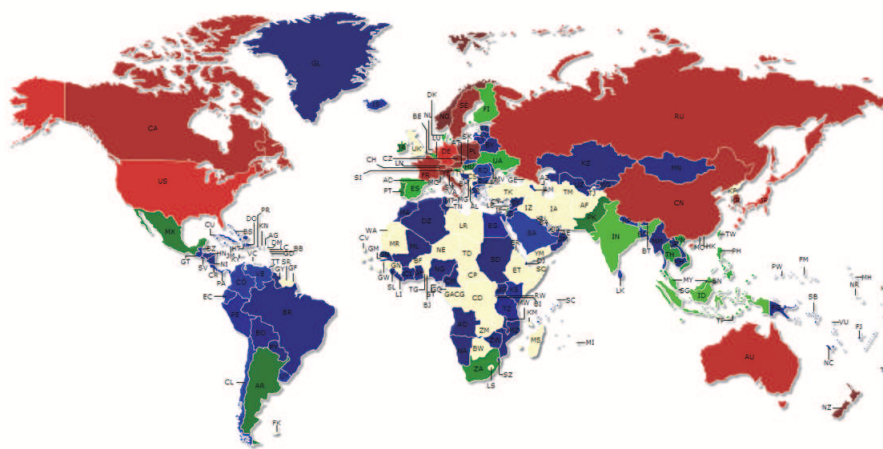
从图中可以发现，在世界范围来看，美国、加拿大、欧洲这些老牌科技强国IPv6发展的速度飞快，中国、俄罗斯等发展中国家IPv6也在虽然不如美国，但是发展势头也非常强劲。图 3.4的结果与图 3.3统计结果是一致的。需要强调的是美国占有地址依然是最多的，美国拥有的地址块有约1200个，占所有的24%。

美国、欧洲国家、日本作为老牌科技强国在IPv6的发展上同样占有领先地位，中国也在奋起直追。各国发展IPv6的项目代表性的有美国的Internet2，欧洲的NGI，日本IPv6学术SINET，韩国IPv6学术网络6GN，中国的下一代互联网计划CNGI。

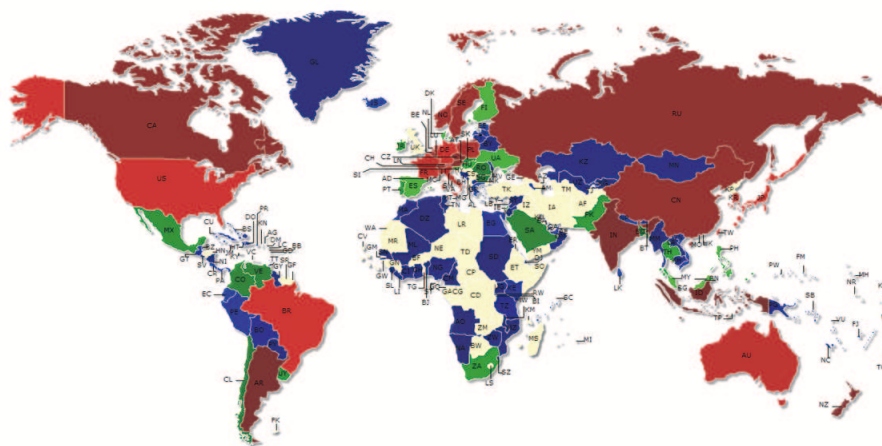
总体上从地域上看，IPv6发展并不均衡，地域性差距比较明显，在全球化大潮下，“强者更强，弱者更弱”马太效应在科技发展上凸显的更为明显。

### 3.3.3 历年的地址分配情况

图 3.5(a) 是从1999年至2010年，每年分配的IP地址，在IPv6地址分配经过

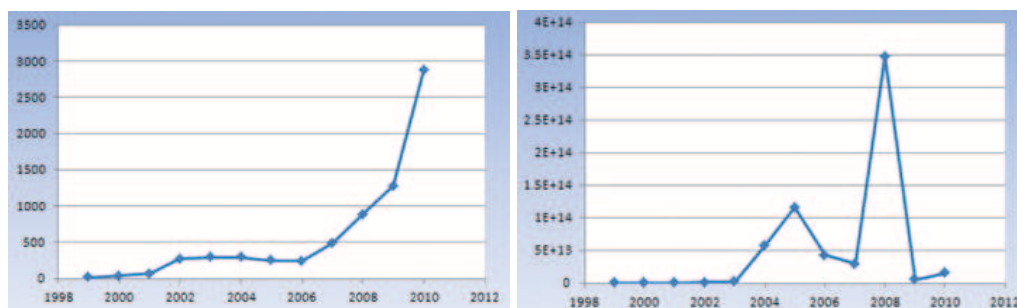


(a) 各国IP块个数



(b) 各国IP空间

图 3.4 各国IP空间统计



(a) 每年分配的IP块个数

(b) 每年分配的IP空间

图 3.5 IP分配时间域统计<sup>①</sup>

了一个较长时间的平缓期（1999 – 2006），从2007年开始高速增长。

而图 3.5(b)则显示，总体上分配空间有较大增长，但增长不是线性的，但增长呈波浪线，除了2008年，2005年分配的地址空间最大，2006年，2007年相对比较小。之所以出现与图 3.5(a)不一致，原因在于IPv6地址块的空间非常大，而已分配的最大的三个地址块（一个/16,两个/19)分别是在2008年（一个/16), 2005年分配的（两个/19)。一个/16第地址块的大小是一个/32地址块的65536倍，而/32,/48的地址块则占了所有分配地址块的92%。

用地址空间来做IPv6的统计，统计意义会受到一定影响，原因是IPv6的地址空间过大，而分配的地址相对很小，往往某个、或者某几个IP就决定了总体的走势，从而失去统计的意义，所以在本文中采用IP地址空间来做统计的不多。

#### 3.3.4 地址掩码分布

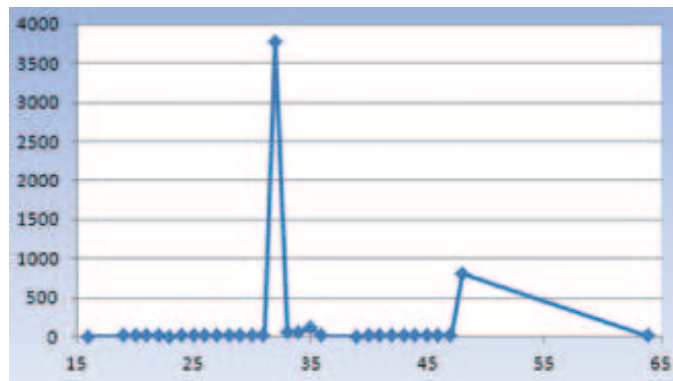


图 3.6 被分配的IP地址的掩码分布

图 3.6是已分配的IP地址的掩码分布，/32的地址块占绝大多数，有76%，这是因为IPv6地址块默认分配长度是/32，如果不是/32的地址块，申请的时候需要说明理由。/48地址块也不少，占16%。其它前缀长度的地址块都非常稀少，应该说目前分配的IP地址以/32为主。

IP地址块的掩码分布对于路由宣告有极大的影响，在路由宣告中，/32，/48的宣告也占了绝大多数，并且对于那些被使用了的地址，宣告掩码-地址掩码的绝对值为16的地址比例非常大，除独立使用情形下，差值为0外，聚合使用差值为16占72.5%，碎片使用的占43.9%，其中大部分是是48 – 32产生的。

## 3.4 地址的使用情况

### 3.4.1 使用延迟

从图 3.7中可以发现

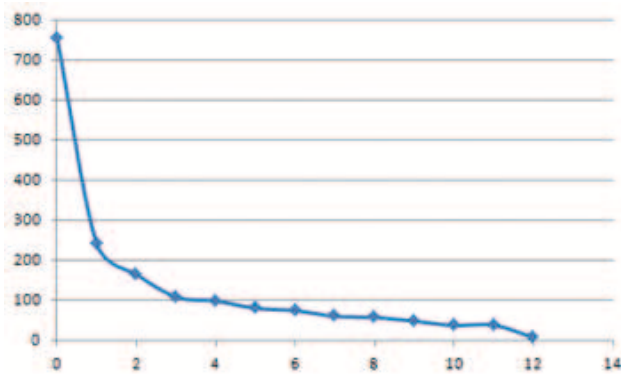


图 3.7 使用延迟

图 3.7中，横轴是30天为一个区间的时间刻度，纵轴是在使用延迟落在该区间中的IP数量。可以看出距离使用的。随着使用延迟的增加，落在改区间内的地址块总体上比例越来越小，在使用延迟在365天内的所有地址块，43.0%在30天内就被宣告，82.1%在180内被宣告。使用延迟在[90,270]内的地址块比例大致相同。在30天内被宣告的IP中约有1%是在该IP使用之前就已经被宣告。

/32,/48占了所有地址块的绝大部分，不同的掩码长度对于IP地址的使用比例、使用延迟是否有影响呢？统计结果表明/32的地址块有41.0%在365天内被宣告，而/48的地址块则有36.8%被宣告；并且/32的平均使用延迟是86.0天，/48的平均使用延迟是81.2天，所有使用的地址平均延时84.6天。这说明/48的地址比/32的地址使用更为广泛。其它掩码分布的地址块因为基数太小，不能挖掘其统计规律，所以没有作统计，例如掩码为33,34,35的地址块使用率都达到了83.3%，但是每一个都是义工分配了6块地址，有五块使用了。

### 3.4.2 未使用的IP地址

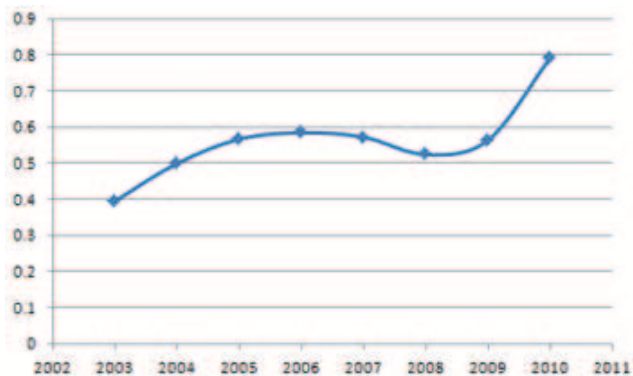


图 3.8 未使用IP的百分比

图 3.8反应了从2003年到2010年未使用IP块的个数，前文已经分析过不同掩码对IP块使用的影响，此不赘述。考虑到IP块以/32,/48为主，所以对 these 值进行了归一化处理。在已分配的IP地址中，曾经使用的只占41.3%，而从2009年5月1日到2010.4.30日这一年中出现中曾被使用的仅仅有22.0%。令人欣慰的是，未使用IP块的比例正在逐年下降，图中2010年值比较高原因在于没有路由数据不完整，不能推断出2010年一年之内的情况，所以值偏高。

### 3.4.3 地址宣告情况

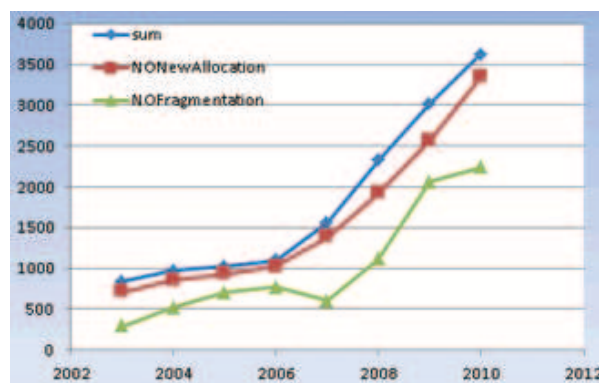


图 3.9 路由表的变化

IPv6路由表目前还在不断的增长，导致增长有两个原因，一是地址碎片，即地址被在路由表中以较长前缀的形式宣告，二是新地址的使用，即新分配的地址带来新的宣告图 3.9中Sum线指每年不同宣告的总和，NONewAllocation线



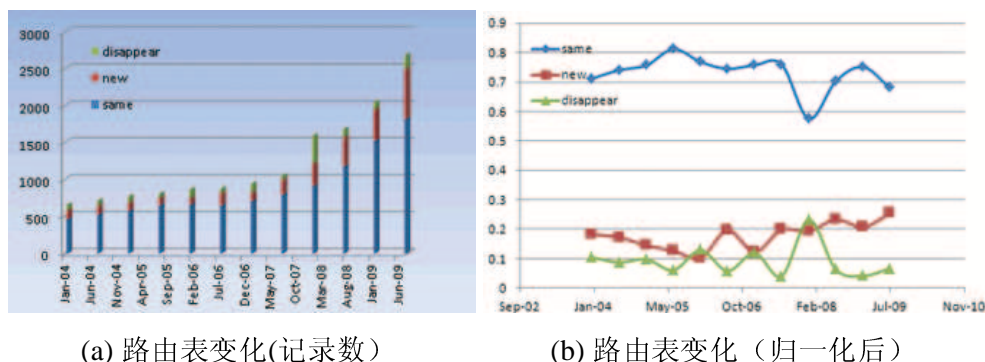


图 3.10 路由表记录变化

指去掉当年新分配的IP块之后的不同宣告数，NoFragmentation线指去掉碎片宣告之后的不同宣告数。从图发现，NoFragmentation值更小，更加曲折，这说明尽管两种原因都有重要的影响，但相对而言碎片宣告的影响程度更大。

### 3.5 路由表增长的详情

IPv6路由表增长是确凿的事实，前文提到两种增长的原因是分别如何产生作用的呢？又分别起到多大的贡献率呢？下文将进行仔细审查。

#### 3.5.1 路由表中记录的变化

从图 3.9中的Sum曲线课以发现路由表规模在2006年之前增长较为缓慢，但从2007年开始，就以每年800条的速度增加。在2010年就已经有3800条，也就是说2010年的总量会更多。

#### 3.5.2 新分配的地址对路由表增长的贡献

为了研究路由表中记录的变动，笔者设计了这样的实验：把每年的上半年(1月1日 – 6月30日)和下半年(7月1日 – 12月31日)分别当作一个统计区间，将下半年的路由记录与上半年记录想必，找出其中相同的记录，下半年新出现的记录，上半年有而下半年没有的记录。图 3.10。

图 3.10是反应了路由的变化，从图中可知在每一个统计区间内，路由表不变的部分占70%–80%，也就是说大部分路由记录保持不变，新产生了10%–30%的新的记录，同时有10%左右的记录消失。说明路由表整体上稳中有升，在总体保持不变的情况下，有按照20%的速度增长。



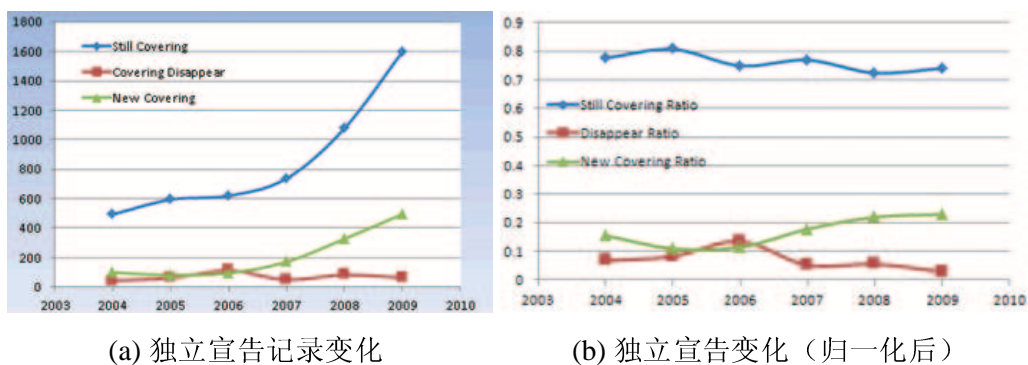


图 3.11 独立宣告统计

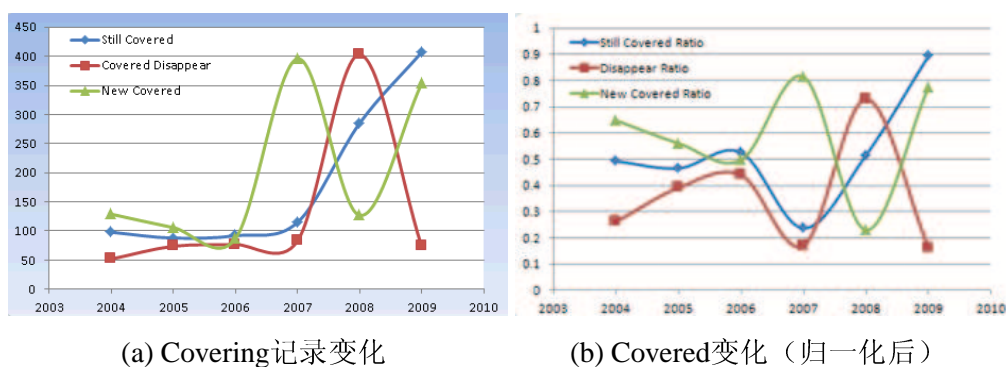


图 3.12 碎片宣告统计

## 3.6 碎片宣告分析

路由表的增长很大的原因是地址碎片，下面仔细考察碎片宣告的影响。

### 3.6.1 独立宣告

参考上文上下半年区分的策略，先找出上半年独立宣告，碎片宣告的情况，再将下半年记录与上半年想必，分别统计出独立宣告、碎片宣告的变动，图 3.11、图 3.12是统计结果。

从图 3.12(b)中可以发现，有80%左右的独立宣告会保持独立宣告的状态，而独立宣告小时的比例在10% 以下，而每年新产生的独立宣告从2008年起达到了20%以上。在数量上消失的比新产生的少，总量增加。

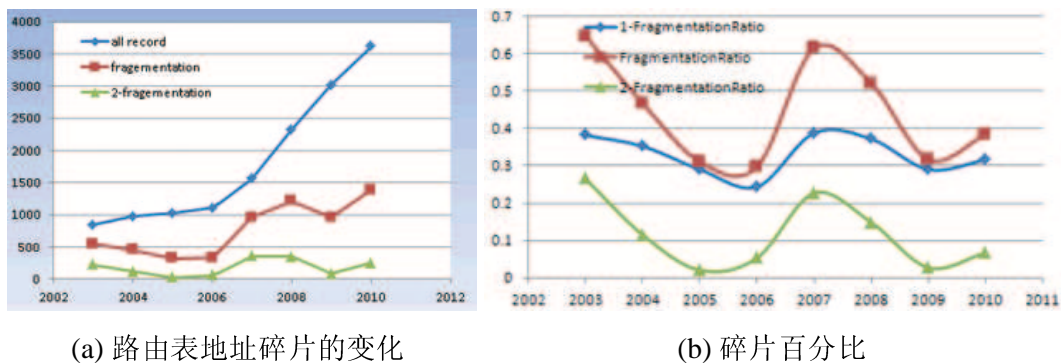


图 3.13 碎片百分比

### 3.6.2 碎片宣告

从图 3.13展示了宣告公告的增长，其中1-**Fragmentation**线是指被别的地址块包含，又不包含别的地址块的宣告。从中可知，路由表的增长过程中碎片宣告和二级碎片宣告也都在增长，并且碎片宣告与所有宣告记录的比值在30% – 65%之间波动，但是如果单一计算一级碎片宣告的话，则会发现这个值就稳定很多，波动范围为22% – 40%。

### 3.6.3 两者的状态的变化

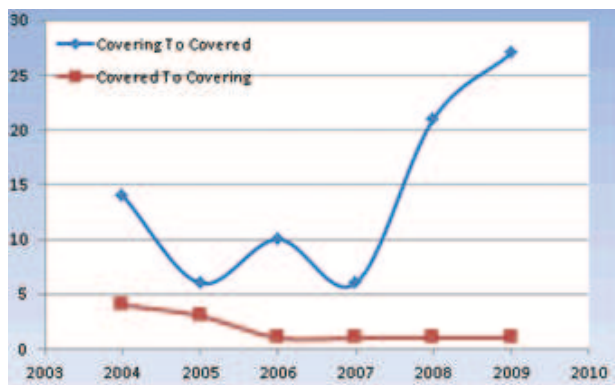


图 3.14 相互转换

图 3.11(a)发现独立宣告总体上一一直在增加，但是这部分记录是有变化的。绝大多数独立宣告仍然保持独立宣告的状态，独立宣告消失维持在一个比较低的值，但是心的宣告在不断的产生。

图 3.12(a)显示了碎片宣告变化，显然它变动的剧烈程度远远超过了独立宣告，保持碎片状态的宣告状态比例并不高，相反碎片宣告的产生和消失往往非

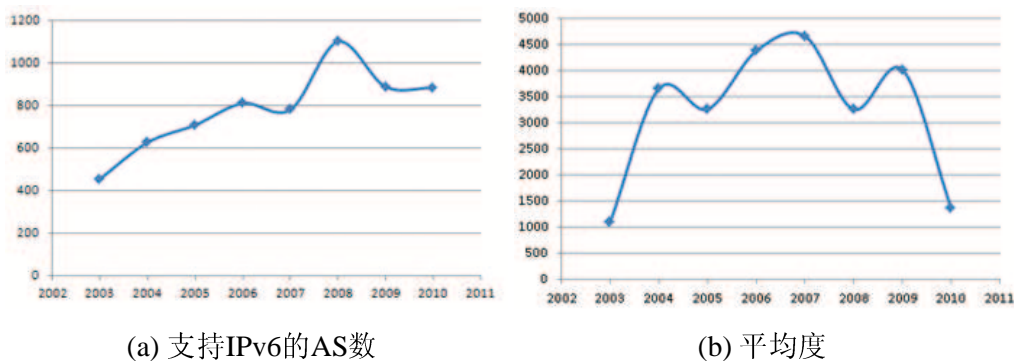


图 3.15 碎片百分比<sup>①</sup>

常剧烈。

路由宣告的状态可能从一种转到另一种，比如从独立宣告转为碎片宣告，图 3.14 显示碎片宣告状态转到独立宣告状态的宣告数目维持在一个比较低的水平，而从独立宣告转到碎片宣告的宣告数总体上呈现上升趋势，在 2008 年之后，增长尤为迅速。

### 3.7 AS 级别拓扑

为了在 AS 这个级别确定 IPv6 的演化，做了 AS 对 IPv6 支持的统计，图 3.15(a) 是每年支持 IPv6 的 AS 数量，这里所谓支持，意思是在该年某个时候，存在一条 IPv6 的转发路径经过该 AS。图中可见大体上支持 AS 的数量是在增加的，2010 年的截止日期是 4 月 30 日已经达到了近似 2009 年一年的水平。

图 3.15(b) 显示的每年 AS 的平均连接度，此处连接度这样定义：存在一条 IPv6 的数据包的转发路径从 AS1 转发到 AS2，则称 AS1 和 AS2 之间有一个连接，AS1 所有的连接数定义为 AS1 的连接度。如果排除 2010 年的数据，AS 的平均连接度在 2006 年之前一路攀升，2006 年到 2007 年保持了稳定。但是 AS 数量是增长的，说明网络管理者开始意识到 IPv6 的重大意义，积极部署 IPv6，所以越来越多的 AS 支持 IPv6 数据包转发，但是实际应用中应用数据的并不多，并没有太多的有效连接，这也印证了 IPv6 在研究室发展的观点。

### 3.8 结论和展望

通过前文的数据统计和分析，至少可以得到以下结论：

1. IPv6自诞生以来，它的发展毋庸置疑，ITEF的重视，各国政府相关计划的扶持，地址迅速的分配了，都可以说明这一点；但在IPv6发展至今，还很缺少工业界的参与、商业的应用，以至于IPv6地址使用率低，路由表的规模小，且地域性发展不均衡，也就是说IPv6虽然在发展，但是之前的发展主要还是在科研机构，IPv6的网络主要都是学术研究网可以看出这一点。
2. IPv6的实际应用在2006、2007年之后有所增加，IP地址分配、路由表规模，被分配的IP使用比例都逐步增加，AS支持越来越多，应用总量也在增加。但还没有爆炸式的突破，IPv6的需要这样的突破来完成IPv4/6过渡。IPv6目前缺少非常成功的应用，从目前的情况来看IPv6网络电视，IPv6 BT网站等还不足以使得IPv6应用迅速扩大，这也是IPv6应用发展不起来的根本原因，IPv6的大规模部署需要在应用上做突破。
3. 目前的主流应用还是以IPv4，IPv4路由表在2004年久已经有160K，如今已有330K，是IPv6路由表规模的百倍。但是探查IPv4发展的早期，它的地址分配与路由也是按照平方关系增长这说明两者有共同性。但是两者的路由表构成差别却是比较大，IPv4路由表主要是由碎片宣告构成，而IPv6则只有一半，这是一个成熟且广泛应用的网络与一个新生的、处于研究中的网络的差别；虽然独立宣告和碎片宣告比例不同，但是对IPv4和IPv6来说，它们的变化规律是有一致性，碎片宣告变化更快更剧烈。

本论文以及相关工作的意义在于从统计学的角度来说明IPv6网络历史和现状，并且给IPv6大规模部署提供参考。下一步工作重点包括

1. 采用更多类型（DNS等）监测点、数据源的数据做实验。
2. 与IPv4做相关工作对比，以反映出IPv6发展的特点，总结教训。
3. 探索更多的系统参数，提供全面的网络指标。

## 插图索引

|        |                      |    |
|--------|----------------------|----|
| 图 1.1  | RIRs管理区域分布 .....     | 3  |
| 图 2.1  | Google Chart .....   | 11 |
| 图 2.2  | Fusion Chart图例 ..... | 12 |
| 图 2.3  | 自动拓扑生成 .....         | 16 |
| 图 2.4  | 项目设计图 .....          | 17 |
| 图 3.1  | IP分配和路由表的增长 .....    | 21 |
| 图 3.2  | BGP与IP数量与覆盖空间比 ..... | 22 |
| 图 3.3  | IP分配区域性统计 .....      | 23 |
| 图 3.4  | 各国IP空间统计 .....       | 24 |
| 图 3.5  | IP分配时间域统计 .....      | 24 |
| 图 3.6  | 被分配的IP地址的掩码分布 .....  | 25 |
| 图 3.7  | 使用延迟 .....           | 26 |
| 图 3.8  | 未使用IP的百分比 .....      | 27 |
| 图 3.9  | 路由表的变化 .....         | 27 |
| 图 3.10 | 路由表记录变化 .....        | 28 |
| 图 3.11 | 独立宣告统计 .....         | 29 |
| 图 3.12 | 碎片宣告统计 .....         | 29 |
| 图 3.13 | 碎片百分比 .....          | 30 |
| 图 3.14 | 相互转换 .....           | 30 |
| 图 3.15 | 碎片百分比 .....          | 31 |

## 表格索引

|       |                 |    |
|-------|-----------------|----|
| 表 1.1 | 五大区域性分配机构 ..... | 3  |
| 表 2.1 | 服务器配置.....      | 10 |
| 表 2.2 | 图形化工具.....      | 13 |
| 表 2.3 | 图形化工具.....      | 17 |

## 公式索引

|              |    |
|--------------|----|
| 公式 3-1 ..... | 21 |
| 公式 3-2 ..... | 21 |

## 参考文献

- [1] wiki. <http://zh.wikipedia.org/zh-cn/E8>
- [2] wiki. <http://zh.wikipedia.org/zh-cn/AS>.
- [3] wiki. <http://zh.wikipedia.org/zh-cn/BGP>.
- [4] 刘晓武. 论互联网的演变过程. 情报科学, 2004, 22(10)
- [5] Meng X, Xu Z, Zhang B, et al. IPv4 address allocation and the BGP routing table evolution. Computer Communication Review (CCR), 2004, 35(1):71–80
- [6] Donnet B, Friedman T. Internet Topology Discovery A Survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials (COMSUR), 2007, 9
- [7] Gao L. On Inferring Autonomous System Relationships in the Internet. IEEE/ACM Trans. Netw. (TON), 2001, 9(6)
- [8] Dhamdhere A, Dovrolis C. Ten Years in the Evolution of the Internet Ecosystem. Internet Measurement Conference, 2009. 183–196
- [9] Malone D. Observations of IPv6 Addresses. PAM, 2008. 21–30



## 致 谢

衷心感谢导师网络中心毕军教授和软件学院贺飞老师对本人的精心指导。他们的言传身教将使我终生受益。

并感谢博士生王旻旻在许多问题上的指点、本科生张宝宝在数据处理方面做的具体工作，他们的工作使我节省了大量的时间和精力。



## 声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

签 名： 陈 小 子 日 期： 2010.7.7



## 附录 A 文献翻译

### IPv4地址分配和路由表演化<sup>①</sup>

Xiaoqiao Meng. Zhiguo Xu. Beichuan Zhang. Geoff Huston. Songwu Lu. Lixia Zhang

#### A.1 概述

IP地址的消耗和全球路由表的大小是因特网增长的两个极为重要的参数。在本文中我们定量的分析过去六年里的IP地址分配和全球路由表增长。从因特网诞生到现在，有有63000个IP地址块，其中有18000个是在我们研究的时间内分配的，也就是2007年11月到2004年8月。在18000个地址块中，90%会在75天之内出现在BGP路由表中，截至目前有8%已经停止使用了。在所有的被使用的地址块中，45%会被拆成比原始地址块小的碎片使用，如果不是因为这些碎片，路由表将只有现在的一般大小。而且我们发现，BGP路由表演化过程中包含着前缀的产生和消失，BGP路由表的变化仅仅反应了这两个过程结合的结果，每一个过程的单独的变动都比路由表大小变动要剧烈。最后，我们把路由前缀分成独立前缀(covering prefix)和碎片前缀(covered prefix)，并且独立考察了两者的烟花。碎片前缀更加的活跃，他们承担了主机多宿、负载均衡和路由工程的作用。

#### A.2 关键词

BGP, IPv4 address allocation

#### A.3 介绍

全球因特网在上一个十年中取得了巨大的增长，证据之一就是路由表的规模几乎是1998年1月到2004年8月的3倍。在这篇文站中，我们从IPv4地址分配记录和路由表日志中收集数据来测量IPv4地址分批额和全球路由表中增长。

---

<sup>①</sup> 本论文为张丽霞教授2004年在Computer Communication Review (CCR)上发表“IPv4 address allocation and the BGP routing table evolution”

我们从四个RIRs获得地址分配记录，这四个RIRs负责分配IP地址块给ISPs，ISPs再将之地分配给更小的ISPs，组织和终端用户。被分配的IP地址块用地址前缀来表示。当它们在BGP路由系统中被宣告时，表示他们被使用。

我们从密西根大学RouteViews Project获得BGP路由表数据。RouteViews在不同的ISPs那里拥有很多的BGP数据收集点。他始于1997年11月8日，为了评估路由表的生长，我们收集了1997年11月8日到2004年8月31日的数据。这篇文章中我们称这段时间内分配的IP地址块为“新分配地址”。

BGP路由表表明，当一个前缀被路由系统宣告时，不必是被分配时候的那个大小。一个前缀代表一个地址块可以使分配大小，或其碎片，或聚合它的。当然它还可能是另一个前缀的子集。这种情况下，我们叫前者为碎片前缀，后者为独立前缀。碎片前缀是负载均衡和流量工程的常用手段。

我们的研究包括三步：首先我们描述了IP的使用率，使用延迟，未使用IP块，还有碎片、聚合、等同前缀的比例然后我们分析了地址分配对路由表增长的影响。最后我们再时间域上探索路由表的变化，我们的发现总结如下：

1. 大概63000IP块 已经 被 分 配， 1997年11月8日 到2004年8月31日，有18000个IP块被分配。超过90%的地址块在75天之内出现在路由表中，同时8%未曾使用
2. 当新分配的IP地址被宣告到路由系统中，约43%地址作为一个单独的前缀被宣告，45%的地址以原地址的碎片宣告，还有12%以聚合的形式宣告。总体上，碎片宣告极大的增加了路由表规模。如果没有过去六年里新分配地址都没有碎片，那么BGP路由表的规模将是现在的一半。
3. 路由表的生长是新前缀出现、旧前缀消失的综合结果。60% – 70%的地址块导致了新的宣告，但是这个数字减少至18%当分配至六年之后。另一方面，地址中有固定比例的的地址块，它们的路由前缀会从路由表中消失。更具体的说，当时间增加到6年，这个比例将达到15%。
4. 大量的独立前缀是分配的IP地址块的碎片，碎片前缀动态的消失和产生。我们把碎片前缀分成其中不同类型，根据是他们宣告的路径。这个分法有助于理解碎片宣告产生的实际原因。

文章剩余部分行文如下：第二部分提供一个简单的背景知识介绍；第三部分展示一些地质分配，分配方法，路由表增长的一些统计；第四部分通过多种测量方法分析地址块的使用；第五部分分析了路由表的生长；第六部分分析

了独立前缀和碎片前缀；第七部分展示了相关的工作；第八部分总结全文。

## A.4 背景

略<sup>①</sup>

## A.5 地址分配和路由表规模的增长

地址分配数量和路由表在过去六年里一直在增长，路由表规模是地址分配的很多倍，两者的差距在逐步扩大。1998年，路由表规模是地址分配的1.33倍，在2004年8月，这个比例扩大到2.54。

IPv4地址空间与路由宣告的地址空间想必，75% – 77%的地址空间在BGP中被覆盖，这个比例非常的稳定。

将地址分配划分为四个时期，1993年之年，1997年，1999年，2004年。有两种分配方法，变化是1994 – 1994年的CIDR，1993年年前后对比，发现1993年之前，/16,/24是1993年之前主要的地址块，但1993年之后就不是。第二个方法变化是最小分配块从/19增加到 /20, 最受欢迎的地址块1999年是/19, 在2004年是/20。

## A.6 地址使用

当路由表中被宣告时，地址块在网络中可达，在这个部分我们测量[1997.11.8, 2004.8.31]日渐分配的地址块。来回答这三个问题：

1. 一个地址块从分配到宣告，经过多长时间？
2. 是否存在不被使用的分配地址块？
3. 当地址块在路由表总宣告时，是以碎片、聚合方式还是以自身的大小？

### A.6.1 使用延迟

在18K的分配记录中，5%在分配之前就能够发现存在于路由表中，通过见车ARIN，我们相信这种情况最可能是由于RIRs数据记录不完整所致。地址分配的记录只记录了最近一次地址分配而没有他们被RIRs收回之前的分配情况。虽

---

<sup>①</sup> 该部分的背景知识在毕设论文的第一章 • 概念说明中都有说明，故此处略

然很稀少但却是存在，那么路由表中可能存在他们上一次分配而被使用造成存在记录。同样存在8%的地址不被使用。

剩下的87%是在路由表中有宣告的，他们的平均使用延迟是52天，其中90%在75天内宣告，最长的使用延迟是2158天。

### A.6.2 未使用的地址

上文提到，1997年11月之后，有1494块地址块分配后未使用。由于其中的一部分是最近才分配的，可能不久就会使用。我们的测量证明90%的部分都会在75天内被宣告，我们选择2004年1月1日作为临界线，仅仅考虑在此前的134块。接着我们测量了这134块地址的掩码分布，最常见的是/24，一个被ISP证实的猜想是，这部分地址被用于局部设施（如因特网交换点），他们不需要全局路由，所以不被宣告到路由系统中。

### A.6.3 宣告模式

我们测量了1997-11-8 - 2004-8-31的所有分配地址的使用情况。数据表明，其中45%是以碎片形式进入路由表 43%是以分配时候的长度进入路由表，12%以聚合的形式进入路由表。后两种方式对于路由表的增长并没有太多的贡献，在下面我们将主要讨论地址碎片。

路由表从1998-1-1的55K长到2004-8-31的160K，如果去掉在此时间段内由于新分配的IP带来的增长，路由表大概是2004-8-31日62K。也就是说7K是由于新的地址分配造成的。另一方面，我们假设所有的新的分配都被宣告到路由系统中，那么路由表大小将是82K。所有增长的105K路由表中的70%的是由于新分配的碎片所致。

## A.7 详查BGP路由表的增长

在这个部分我们将详细探索路由表的每个记录的变化，我的数据表明路由表变化是新的前缀产生和旧的前缀产生的过程的综合结合。

### A.7.1 路由表内容变化

我们把研究时间分成13个时间段，每段6个月，并比较每一个段开始和结束时候的情况。如果一个前缀存在于开始但不存在与结束时，我们就算做是一个



就前缀消失事件；如果一个前缀一开始没有，但结束的时候有，那么我们就称之为新前缀产生事件。由于全局路由的动态性，一些前缀消失和产生很快，为了减少潜在由于短期动态变化引起的测量误差，我们只收集在开始连续七天都出现的前缀，并与后面对比。统计表明新出现的前缀新出现前缀比路由表增长要多很多。

一个新的前缀宣告不一定会增加路由表中可达的IP空间，因为新的前缀代表的空间可能之前已经被更大的前缀包含了。例如：2004-1 – 2004-7，36K的新的前缀被宣告，同时24K前缀消失，新的前缀中78%在此前已经被包含了。只有22%没有，他们带来了59M的覆盖地址。另一方面，一个问题是消失的前缀是否会带来可达的IP地址。我们的数据表明90%消失的地址他们覆盖的IP地址之后都是可达的，只有10%带走了36M地址空间。

#### A.7.2 新分配的地址对路由增长的贡献

为了测量由于新IP分配给路由表带来的影响，我们采用了上文叙述的13个六个月长度的间隔的方法，计算出新前缀产生与旧前缀消失的比例。统计表明60% - 70%新分配的IP地址块在六个月内给路由表带来了新的前缀，这个比例随着时间的延长而减小，当时间为5年时，值减小到18%，由于我们的研究时间是六年，我们的数据集对超过五年的情况没有合理的数据集合。另一方面，有一些消失的前缀是属于在统计时间内分配的IP块。当时间到5年时，这个值增加到15%，但是总是在新的IP带来的前缀之下。我们可以用这两种方式展示观察结果：

- 之前分配的IP地址块，与新的前缀产生联系紧密，而与旧的前缀小时联系小
- 同样的，几年前就分配的地址块仍然对路由前缀有贡献。

我们进一步统计发现，每一个新的地址分配平均带来5-6个新的前缀，这并不因分配的年龄而有太大的变动。另一方面，一个新的前缀产生大概会带来两到三个旧前缀的消失，两年之后这个数量增加到4-6。

根据以上的测量，我们总结出即便是重新分配的地址块都会与新的前缀宣告产生和就的前缀消失相关。然而，相关度是不一样的，这也是路由表增加的原因所在。

## A.8 相关工作

Huston从不同的方面测量了BGP路由表的增长，并且列举了一些可能导致路由表增长的操作的原因。我们的工作与他不同，我们集中在IP分配给路由表增长的关系上。Bu等把路由表增长分成四个原因，多重连接，聚合失败，负载均衡，碎片。Maennel和Feldmann提出一个实际的BGP流量生成器。他们的一些工作的结果，例如前缀森林的分类，前缀长度分布与我们的相同，不过他们关注点是BGP流量生成器，而我们则关于全局路由的增长；H.Narayan等提出描述地址分配给路由表查找树结果带来的影响的模型，从主体上说这篇文章与我们的相似，只不过是关注路由结果，为的是路由查找，而我们的是路由表的动态变化和增长

## A.9 结论

这篇文章中，我们定量的描述了IPv4地址分配与它给路由表数量增长、内容变化的影响。从互联网发展以来，有63K地址块被分配，BGP路由表越来越大，2004-8-31日游160K。在过去的六年里，新分配了18K地址块，路由表也有55K增长到160K。大概75%被分配的地址被路由表覆盖了，这个比例非常稳定。90%的新分配的地址会在75天内出现在路由表中。少于8%的新的分配从未使用过。

我们进一步发现，路由表动态变化是旧的前缀消失、新的前缀产生的综合结果。地址块被分配之后就会一直影响在路由表，只不过离分配的时间越近影响越大。大约70%的路由记录是在过去六年里由于新分配的地块空间碎片所致。45%的分配地址在路由表中以碎片的形式出现，我们的数据表明碎片比例随着时间增加而增大。

在所有的路由前缀中，大约50%-65%是独立前缀，其它的是碎片前缀。碎片前缀在路由表中变动（产生和消失）更加频繁。我们通过路由路径把碎片前缀与独立前缀区分开来。这种区分将有助于我们找出导致碎片前缀的可行的方案。

# 综合论文训练记录表

|            |  |    |            |    |      |
|------------|--|----|------------|----|------|
| 学生姓名       | 蒋小可  | 学号 | 2006013184 | 班级 | 软 61 |
| 论文题目       | 基于地址分配和路由表分析的 IPv6 网络演化  |    |            |    |      |
| 主要内容以及进度安排 | <p>采用统计学的方法，从地址分配和路由表的角度进行 IPv6 的网络测量，测量结果反映了 IPv6 启用以来的十余年间经历的发展和演化。。</p> <p>工作分为两，IP 分配和路由表分析。IP 分配统计从地址块空间、地址块数量入手，分析其时域分布、地理分布、掩码分布。再结合路由表进行分析，考察 IP 地址的使用情况，详细分析路由表增长的原因。</p> <p>进度安排分为四个阶段：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 收集数据，主要是从各个数据源收集原始数据 2010.3.12 – 2010.3.21</li> <li>2. 实验测量，根据原始数据测量网络参数，2010.3.21 – 2010.4.8</li> <li>3. 分析结果，对结果进行分析, 2010.4.8 – 2010.5.9</li> <li>4. 撰写论文，初稿以及修改，2010.5.9 – 2010.6.8</li> </ol> <p style="text-align: right;">指导教师签字: <u>贺飞</u></p> <p style="text-align: right;">考核组组长签字: <u>孙明</u></p> <p style="text-align: right;">2010 年 7 月 6 日</p> |    |            |    |      |
| 中期考核意见     | <p style="font-size: 2em; text-align: center;">按计划进行</p> <p style="text-align: right;">考核组组长签字: <u>孙明</u></p> <p style="text-align: right;">2010 年 5 月 17 日</p>  |    |            |    |      |

|        |   |
|--------|---|
| 指导教师评语 | <p>本论文采用统计学的方法研究IPv6网络,内容详实,具有一定深度,是一篇合格的毕业论文。</p> <p>指导教师签字: <u>胡飞</u></p> <p>2010年 7 月 6 日</p>  |
| 评阅教师评语 | <p>IPv6是下一代互联网的核心协议并已经得到一定部署,但目前国际上对IPv6的观测研究还未深入开展。该论文选题是有一定理论意义和实用价值,对发现IPv6的规律和指导实践有参考作用。论文工作充实,文字清晰,符合本科毕业的要求。</p> <p>评阅教师签字: <u>平</u></p> <p>2010年 7 月 6 日</p> |
| 答辩小组评语 | <p>通过论文答辩</p> <p>答辩小组组长签字: <u>孙明</u></p> <p>2010 年 6 月 25 日</p>   |

总成绩: 82

教学负责人签字: 张慧

2010年 7 月 2 日