

인터넷 주소체계 분포도와 문제점 분석

김지훈⁰ 이주민 안종석
동국대학교 컴퓨터공학과
{whitefan⁰, emigrant, jahn}@dongguk.edu

Distribution Characteristics and Analysis of Backbone Router's Forwarding Prefixes

Ji-Hoon Kim⁰ Ju-Min Lee Jong-Suk Ahn
Dept. of Computer Engineering, Dongguk University

요약

현재 인터넷은 IPv4주소 고갈로 인해 종래의 클래스(class)별 주소의 분배와 사용을 지양하고 클래스 없는 CIDR(Classless InterDomain Routing)[1]방식을 채택하고 있다. 본 논문에서는 라우터의 개발 및 성능에 영향을 미치는 라우팅 엔트리의 분포와 특성을 다음의 세 가지 관점에서 분석하였다. 그리고 분석에 사용된 데이터는 백본용 라우터의 라우팅 테이블이다. 첫째, 현재 인터넷에서 CIDR 방식에 따른 서브네팅(Subnetting)과 슈퍼네팅(Supernetting)[2][3] 정도를 분석하였으며 둘째, 현재 포워딩 테이블(Forwarding Table) 내의 불필요한 포워딩 엔트리(Forwarding Entry)들이 차지하는 구성비를 조사하였다. 마지막으로 멀티홈밍(Multi-homing)이 포워딩 테이블의 크기에 미치는 영향을 분석하였다. 조사에 의하면 MAE-East와 MAE-West[4]와 같은 백본(Backbone) 라우터의 경우에 A클래스는 8에서 26비트까지, B클래스는 14비트에서 27비트까지 그리고 C클래스는 17비트에서 32비트까지 서브네팅과 슈퍼네팅이 되어있다. 또한 불필요한 포워딩 엔트리는 전체 엔트리의 약 1%를 차지하고 있으며, 멀티홈밍 엔트리는 약 5%를 차지하는 것으로 확인되었다.

1. 서론

IPv4라 불리는 현재의 인터넷은 설계당시에는 주소부족의 문제가 발생하지 않았다. 그러나 네트워크의 발달과 컴퓨터의 급격한 보급, 80년대 인터넷 초기 시대에 북미 지역을 중심으로 한 무분별한 IP 주소 할당 등으로 할당 가능한 IP 주소가 점차 고갈되어 전 세계 대부분의 지역은 IP주소 할당에 어려움을 겪고 있다. 이러한 주소 부족 문제를 해결하기 위해서 CIDR, NAT[5](Network Address Translation)등의 해결방안이 제시되었지만, 이는 주소 부족 문제를 근본적으로 해결한 것은 아니며, IPv6가 지원되기 전까지 IPv4의 사용을 연장하는 것이다.

본 논문에서는 백본 라우터인 Mae-East와 Mae-West의 포워딩 테이블에 대해서 각 클래스별 서브네팅과 슈퍼네팅의 정도, 포워딩 테이블 내의 불필요한 엔트리분포 그리고 멀티홈밍 엔트리분포에 대하여 조사하였다. 엔트리의 개수, 프리픽스 길이 분포 그리고 서브네팅 정도 등은 포워딩 테이블 구성에 큰 영향을 주고 결과적으로 IP 검색 속도에도 영향을 미치는 요소들이다.[6][7] 따라서, 이러한 포워딩 테이블의 분석은 라우터의 성능에 영향을 미치는 효율적인 검색 알고리즘 개발을 위한 기초 자료에 해당한다. 조사를 위해 사용한 포워딩 테이블 자료로는 2002년 4월의 엔트리의 개수가 27609개인 Mae-West와 1999년의 엔트리의 개수가 54251개인 Mae-East 포워딩 테이블을 분석하였다. 분석결과 각 클래스의 엔트리들은 8비트에서 32비트까지 서브네팅과 슈퍼네팅이 되어 있는 것으로 나타났다. A클래스와 B클래스에서는 서브네팅된 경우가 많이 나타났고, C클래스에서는 슈퍼네팅의 수가 월등히 많이 나타난 것을 알 수 있었다. 또한 포워딩 테이블 내에는 약 1%정도의 불필요한 엔트리와 약 5%의 멀티홈밍 엔트리가 포함되어 있다는 것을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 백본 라우터의 포워딩 테이블의 서브네팅과 슈퍼네팅의 정도와 실험 결과에 대하여 요약하였다. 3장에서는 포워딩 테이블 내의 멀티홈밍 엔

트리에 대한 정의와 멀티홈밍 엔트리가 전체 포워딩 테이블에서 차지하는 구성비 및 멀티홈밍 엔트리를 찾는 알고리즘에 대하여 기술하였으며, 4장에서는 포워딩 테이블의 엔트리 중 서브네팅과 멀티홈밍으로 인해 발생하게 되는 불필요한 엔트리에 대하여 설명하였다. 5장에서는 IPv6 주소체계의 멀티홈밍에 대한 조사와, 6장에서는 결론과 향후 연구 과제를 서술하였다.

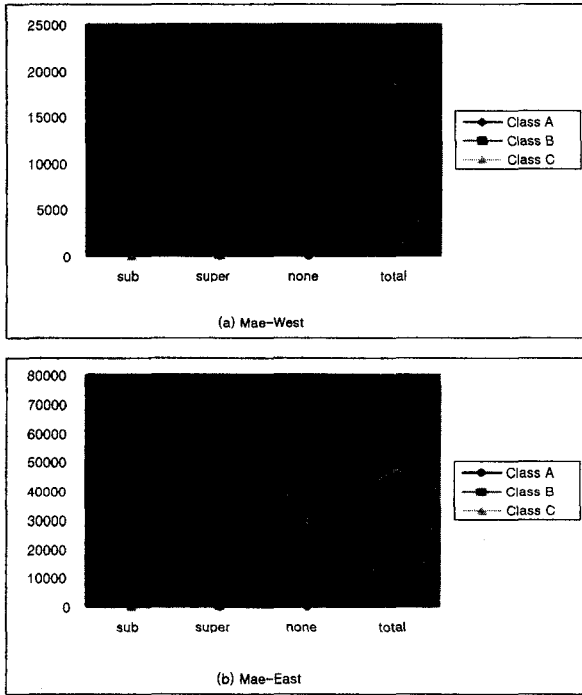
2. 서브네팅과 슈퍼네팅 분석

IP 주소의 수는 한정되어 있으므로 부족한 IP 주소를 효율적으로 사용하기 위해서 서브네팅과 슈퍼네팅을 사용하고 있다. 서브네팅이란 A, B, C 클래스 주소 중 하나를 네트워크 주소로 할당받아 다시 여러 개의 하위 네트워크 주소로 나누어 사용하는 것을 말한다. 이로 인하여 라우팅 엔트리에 동일한 프리픽스 패턴을 가지면서 프리픽스길이가 다른 엔트리가 존재하게 된다. 슈퍼네팅이란 서브네팅과 반대로 여러 개의 연속된 네트워크 주소를 할당받아 이들을 하나의 더 큰 네트워크 주소로 사용하는 것을 말한다. 이러한 서브네팅과 슈퍼네팅의 사용으로 인해 클래스별 프리픽스 길이가 정해져 있음에도 불구하고 그 길이가 다양해지고 멀티홈밍 문제 및 라우터 성능향상에 걸림돌이 되는 최장길이검색(LPM : Longest Prefix Matching) 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 포워딩 테이블을 이용하여 각 클래스별 서브네팅과 슈퍼네팅의 정도를 조사하였다. 백본 라우터는 도메인간 라우팅(Inter Domain Routing)을 위하여 BGP4[8]프로토콜을 사용하고 있으며, BGP메시지에는 목적지의 주소, 프리픽스의 길이, 이웃 라우터의 주소와 AS번호, 라우팅 경로의 AS번호 등이 포함되어있다.

서브네팅 또는 슈퍼네팅을 구분하기 위해 본 논문에서 사용한 방법은 다음과 같다. IPv4 체계에서는 각 클래스가 netID의 최상위 비트에 의하여 구분되어진다. 또한 각 클래스별로 사용

가능한 netID의 길이가 정해져있다. 따라서 최상위 비트로 각 클래스를 구분하고, 넷 마스크의 길이가 각 클래스별로 정의된 netID의 길이보다 길면 서브네팅, 짧으면 슈퍼네팅이라고 판단할 수 있다. 다음 그림은(그림 1) 이러한 원리를 이용하여 각 클래스별 서브네팅과 슈퍼네팅된 엔트리의 수를 비교해 본 것이다.



<그림 1. 각 클래스별 서브, 슈퍼네팅 정도>

Class Prefix Length	A	B	C
8~13	22	35	14
14	16	30	22
15	31	47	50
16	133	1792	404
17	139	65	324
18	249	75	555
19	549	140	1538
20	854	127	1038
21	264	116	973
22	395	153	1358
23	442	159	1517
24	2148	937	10874
25~32	0	10	13

(a) Mae-West

Class Prefix Length	A	B	C
8~13	25	48	20
14	5	48	65
15	7	96	105
16	48	4285	922
17	21	62	511
18	55	61	1119
19	254	106	3657
20	84	84	2000
21	39	65	2388
22	87	105	3186
23	105	123	4269
24	288	934	28925
25~32	1	9	38

(b) Mae-East

<표 1. 각 클래스의 프리픽스별 분포표>

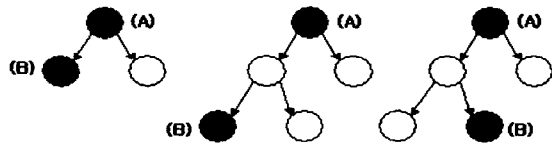
그림 1-(a)는 Mae-West 테이블을 클래스별로 나누어서 각 클래스의 서브네팅과 슈퍼네팅된 엔트리의 수를 그래프로 나타낸 것이고, 그림 1-(b)는 Mae-East 테이블의 경우를 그래프로 나

타낸 것이다. <표 1>은 포워딩 테이블의 클래스별로 프리픽스 분포정도를 나타낸 것이다. 위 표에서 볼 수 있듯이 서브네팅과 슈퍼네팅으로 사용된 프리픽스가 특정 프리픽스 길이로 치중되어 있음을 알 수 있고, 또한 위 그래프에서 나타낸 것처럼 A, B 클래스는 hostid를 netid로 사용하는 서브네팅의 수가 슈퍼네팅의 수보다 많은 것을 알 수 있으며, C 클래스는 슈퍼네팅의 수가 많음을 알 수 있다. C 클래스의 슈퍼네팅 수가 많은 이유는 B 클래스의 고갈로 인하여 B 클래스 대신 여러 개의 C 클래스로 슈퍼네팅하여 사용하기 때문이다. 서브네팅이나 슈퍼네팅이 사용되지 않는다면 각 클래스별로 프리픽스 길이가 일정하게 되어 IP 검색을 완전 일치 검색(Exact Prefix Matching)으로 전환하여 라우팅 성능을 쉽게 향상시킬 수 있는 반면 현 IP 주소체계는 CIDR의 사용으로 인해 라우터 성능 향상을 위한 알고리즘 개발에 문제점이 되고 있다.

3. 멀티홉밍 분석

멀티홉밍[9]이란 라우팅 되는 목적지는 같은 곳이고, 이 목적지가 두 개 이상의 서로 다른 네트워크에 속해 있을 경우 이에 대하여 서로 다른 2개 이상의 경로를 통하여 라우팅 되는 현상을 말한다. 포워딩 테이블에 존재하는 멀티홉밍 엔트리들은 한 네트워크 주소를 서브네팅하여 사용할 때 많이 발생하게 된다. 그 이유는 전체 네트워크를 위해 부여받은 주소가 라우팅 엔트리에 존재하면서 서브네팅된 네트워크 주소가 다른 경로를 통하여 같은 라우터에 등록되기 때문이다. 그러나 지리적으로 분리되어 하위 네트워크가 구성된 경우에는 서로 다른 네트워크로 라우팅 테이블에 등록이 되므로 멀티홉밍이 되지 않는다. 본 논문에서는 지리적인 상황을 고려하지 않고 서브네팅 되지 않은 원 주소와 서브네팅된 주소가 포워딩 테이블에 모두 존재할 때 멀티홉밍이 된 경우라고 생각하고 멀티홉밍의 정도를 조사하였다.

본 논문에서 멀티홉밍이 된 엔트리를 찾는 방법은 다음과 같다. 네트워크 주소를 서브네팅하여 사용하였으므로, 포워딩 테이블에 서브네팅된 네트워크의 주소와 서브네팅되지 않은 주소가 포워딩 테이블에 존재할 경우를 찾는 것이다. 즉 포워딩 테이블을 트리 형태로 구성하였을 때 서브네팅이 된 주소는 트리에서 부모, 자식의 관계가 되며, 부모와 자식 노드에 모두 라우팅 엔트리가 들어있는 노드를 찾으면 된다. 다음 그림은 멀티홉밍이 되는 경우의 예시 그림으로 나타낸 것이다.



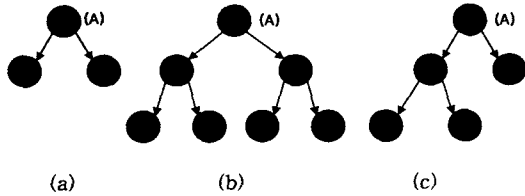
<그림 2. 멀티홉밍 엔트리 트리 구조의 예>

<그림 2>에서 부모노드인 (A)에 라우팅 엔트리가 존재하고 동시에 자식노드인 (B)에도 라우팅 엔트리가 존재한다면, 이 라우팅 엔트리(A), (B)는 멀티홉밍이 된 것이다. 본 논문에서는 이러한 성질을 이용하여 멀티홉밍된 엔트리를 조사하였다. 지리적인 특성을 고려하지 않고 트리에서 부모 자식간의 관계가 되는 포워딩 엔트리에 대해 조사해본 결과 A 클래스는 약 4.7%, B 클래스와 C 클래스는 약 3.4%의 비율로 멀티홉밍이 되어 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 포워딩 테이블을 트리

로 구성하였을 때 부모 자식 관계를 가지는 엔트리들이 있을 경우 최상위 노드만을 계산에 넣은 것이다. 위 그림에서 (A)와 (B) 같은 형태의 노드 모두의 수를 계산한 것이 아니라, 최상위 주소인 (A)노드의 수만 계산한 것이므로, 서브네팅된 하위 주소, 위 그림의 (B)와 같은 형태의 노드까지 포함하면 그 비율이 다소 증가할 것이다. 다른 클래스에 비해 A 클래스에 존재하는 멀티홉밍 엔트리의 비율이 약간 높게 나타난 것은 <그림 1>의 그래프에서 보았듯이 A 클래스가 다른 클래스에 비해 서브네팅을 많이 하고 있기 때문이다.

4. 불필요한 라우팅 엔트리 분석

라우팅 시에는 최장 프리픽스 일치 검색(Longest Prefix Matching)을 사용하기 때문에, 더 길게 일치하는 라우팅 엔트리가 있을 경우 짧은 프리픽스를 가지는 엔트리는 사용되지 않는다. 따라서 모든 자식노드들에 엔트리가 존재할 경우 그 부모노드는 사용되지 않으므로 불필요한 엔트리가 된다.



<그림 3. 불필요한 엔트리의 트리 구조>

예를 들어, 그림 3-(a)에서 노드 (A)의 주소가 0*라면 그 자식 노드는 00*와 01*가 되고, 부모 노드인 0*는 최장 길이 검색으로 인하여 라우팅에 사용되지 않게 되고 결국 부모 노드인 (A)는 불필요한 엔트리가 된다. 그림 3-(b)와 그림 3-(c)의 최상위 노드인 (A)도 이러한 이유로 인하여 불필요한 엔트리가 된다.

<그림 2>와 <그림 3>을 비교해보면 불필요한 엔트리들은 멀티홉밍이 된 엔트리의 한 경우임을 알 수 있다. 즉, 멀티홉밍의 결과로 포워딩 테이블에 불필요한 엔트리가 생기게 되는 것이다. 그 이유는 서브네팅과 슈퍼네팅된 엔트리들이 멀티홉밍의 성질을 가지지 않는다면 모두 하나의 라우팅 엔트리로 통합(Aggregation)이 되어야 하는 것들이지만, 멀티홉밍의 성질로 인하여 하나로 통합되지 못하고 여러 개의 라우팅 엔트리로 존재하게 되는 것이다.

포워딩 테이블 엔트리를 트리 구조를 구성하여 MAE-East와 MAE-West에 대해서 불필요한 엔트리를 조사해본 결과 전체 엔트리 중 불필요한 엔트리의 비율이 약 1% 미만이었다. 이러한 불필요한 엔트리들은 라우팅 테이블의 크기에 영향을 미치고, 라우팅 시 성능 저하의 한 원인이 될 수 있으므로, 전체 라우팅의 성능 향상을 위해 불필요한 엔트리의 제거는 필수적이다.

5. IPv6 주소체계 조사

차세대 인터넷 주소 체계인 IPv6는 현 인터넷 주소체계인 IPv4가 가지고 있는 인터넷 주소 고갈 문제 해결과 보안, 서비스 품질보장(Quality of Service), Mobile IP의 이동성 제공 등을 고려하여 만들어 졌다.[10] IPv6는 현재 2001로 시작하는 정식 할당 주소와, 3FFE로 시작하는 실험용 주소 두 가지가 존재한다. IPv6체계는 아직 IP 주소가 많이 사용되지 않아 라

우팅 엔트리도 많은 수가 존재하지는 않는다. 이 논문에서는 엔트리의 개수가 446개인 2002년 5월의 자료[11]에 대하여 3장에서 멀티홉밍 엔트리를 조사한 방법으로 IPv6의 멀티홉밍 정도를 조사하였다. 조사결과 약 3%의 정도로 멀티홉밍 되어있다는 결과가 나왔다.

6. 결론과 향후 연구

본 논문은 백본 라우터의 포워딩 엔트리로 현재의 IPv4와 IPv6 주소 체계에서 서브네팅, 슈퍼네팅의 정도 및 멀티홉밍과 불필요한 엔트리의 비율에 대하여 조사하였다. 조사 결과 Mae-East와 Mae-West와 같은 백본 라우터의 경우에 A클래스는 8에서 25비트까지, B클래스는 9비트에서 29비트까지 그리고 C클래스는 8비트에서 32비트까지 서브네팅과 슈퍼네팅이 되어있는 것으로 나타났다. 서브네팅과 슈퍼네팅의 수는 A, B클래스는 서브네팅의 수가, C클래스에서는 슈퍼네팅의 수가 높게 나타났다. 멀티홉밍된 엔트리의 구성비는 A클래스가 다른 클래스에 비해 약간 높게 나타났고, 각 클래스에서의 멀티홉밍 엔트리의 구성비는 전체 엔트리 중 약 5%미만인 것으로 나타났다. 최장길이검색으로 라우팅시 사용되지 않는 불필요한 엔트리의 구성비는 전체 엔트리중 약 1%정도인 것으로 나타났다 이러한 결과는 효율적인 포워딩 테이블 검색 알고리즘 개발 및 라우터의 성능 향상을 위한 기초 자료에 해당한다. 향후 연구 과제로는 네트워크의 지리적인 특성과 물리적인 연결을 고려하여 멀티홉밍 엔트리와 불필요한 엔트리의 발생 원인에 대한 연구와 이를 통한 효율적인 포워딩 테이블 검색 알고리즘 개발을 하는 것이다.

참고 문헌

[1] Fuller, V., Li, T., Yu, J., K. Varadhan, "Classless Inter-Domain Routing(CIDR) : An Address Assignment and Aggregation Strategy", RFC 1519, September 1993.
 [2] J. Mogul, "Internet Subnets", RFC-917, Stanford University, October 1984
 [3] V.Fuller, T.Li, J.Yu, K.Varadhan "Supernetting: An Address Assignment and Aggregation Strategy", RFC 1338, March 1992.
 [4] Michigan University and merit Network, Internet Performance Management and Analysis (IPMA) project, <http://www.merit.edu/ipma>
 [5] Egevang, K., P. Francis, "The IP Network Address Translator (NAT)", RFC 1631, May 1994.
 [6] S. Venkatachary and G. Varghese, "Faster IP Lookups using Controlled Prefix Expansion," In *Proceedings of ACM Sigmetrics'98*, June 1998
 [7] Seunghyun Oh, Bit map Trie : A Data Structure for Fast Forwarding Lookups, Globecom 2001 part2, Globecom, Nov, 2001
 [8] John W. Stewart "BGP4 Inter-Domain Routing in the Internet"
 [9] Bates, T. and Y. Rekhter, "Scalable Support for Multi-homed Multi-provider Connectivity", RFC 2260, January 1998.
 [10] IPv6 포럼 코리아, "IPv6표준기술 개론"
 [11] 6BONE Korea <http://www.6bone.ne.kr>