

# Resolution 시스템에서의 토폴로지 구성 방법에 따른 성능 비교\*

조은상, 최재영, 권태경, 최양희

서울대학교 컴퓨터공학부

{escho, jychoi}@mmlab.snu.ac.kr, {tkkwon, yhchoi}@snu.ac.kr

## Performance Comparison between Different Topology Constructions on Resolution Systems

Eunsang Cho, Jaeyoung Choi, Taekyoung Kwon, Yanghee Choi

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

{escho, jychoi}@mmlab.snu.ac.kr, {tkkwon, yhchoi}@snu.ac.kr

### 요 약

Resolution은 현재 인터넷의 가장 중요한 시스템 중 하나인 DNS에서부터 가장 최근 폭발적으로 사용량이 증가하고 있는 Peer-to-peer 응용이나 인터넷의 구조적인 문제점을 해결하기 위해 제안된 IETF의 Locator Identifier Separation Protocol (LISP)과 Data-oriented Network Architecture (DONA)에 이르기까지 널리 사용되는 인터넷의 가장 중요한 기능 중 하나이다. Resolution 시스템의 토폴로지(topology)를 구성하는 데에는 두 가지의 주요한 접근 방법이 있는데, 바로 계층적인 트리(tree) 구조와 균등한 Distributed Hash Table (DHT) 구조이다. 이 두 구조는 서로 다른 장단점을 지니고 있어 특정 시스템에 대해 서로 다른 구조가 제안되기도 한다. 하지만 두 구조는 서로 완전히 다른 특성을 지니기 때문에 서로간의 성능을 비교하기가 쉽지 않다. 특히 계층 구조의 경우 시스템에 따라 다양한 구성 방법이 존재하며, 이러한 구성 방법에 따라 커다란 성능 차이를 보인다. 예를 들어 LISP나 DONA와 같이 계층 구조를 구성할 때 네트워크 계층의 응답 시간과 같은 측정값을 기준으로 삼는 경우에는 최적 경로를 따르는 계층 구조를 사용할 수 있다. 그러나 DNS와 같이 응용 계층에서 사용하는 경우에는 특정 측정값을 기준으로 하지 않고 사용 패턴 등 다른 요인에 의한 임의적인 경향이 더 크므로 최적 경로를 따른다고 보기 어렵다. 본 논문에서는 기존의 시스템에서 사용되는 가장 주요한 계층 구조 구성 방법인 최적 경로 구성, 임의 구성, 제한된 폭 및 높이를 가진 구성에 따른 시스템의 성능 변화에 대해 분석하고 이를 균등 구조에 의한 성능과 비교한다. 또한, 이러한 비교를 통해 각 시스템의 특성에 따라 가장 적합한 토폴로지 구성 방법에 대해 제안한다.

---

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-F-038-02, 미래 인터넷 핵심기술 연구] 또한 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업 (IITA-2008-C1090-0803-0004)의 연구결과로 수행되었음. 이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터연구소에 감사 드립니다.

## 1. 서론

Resolution은 인터넷에서 널리 이용되고 있으며, 가장 중요한 기능 중 하나이다. 현재 인터넷에서 사용되는 사례로는 인터넷의 가장 중요한 시스템 중 하나인 DNS에서부터 최근 폭발적으로 사용량이 증가하고 있는 Peer-to-peer 응용 등을 들 수 있다. 또한 인터넷의 구조적인 문제점을 해결하기 위해 제안된 IETF의 Locator Identifier Separation Protocol (LISP) [1]과 Data-oriented Network Architecture (DONA) [2]에 이르기까지 미래 인터넷 연구에도 널리 사용되고 있다.

Resolution 시스템의 토폴로지(topology)를 구성하는 데에는 두 가지의 주요한 접근 방법이 있는데, 바로 계층적인 트리(tree) 구조와 균등(flat)한 Distributed Hash Table (DHT) 구조이다. 이 두 구조는 시스템에 따라 선택적으로 사용하고 있으며, 서로 다른 장단점을 가지고 있다. 일반적으로 계층적인 트리 구조는 효율성에서 우월하며 균등한 DHT 구조는 확장성에서 앞선다고 본다.

하지만 두 구조는 서로 완전히 다른 특성을 지니기 때문에 서로간의 성능을 비교하기가 쉽지 않다. 특히 계층 구조의 경우 시스템에 따라 다양한 구성 방법이 존재하며, 이러한 구성 방법에 따라 커다란 성능 차이를 보인다.

예를 들어 LISP나 DONA와 같이 계층 구조를 구성할 때 네트워크 계층의 응답 시간과 같은 측정값을 기준으로 삼는 경우에는 최적 경로를 따르는 계층 구조를 사용할 수 있다. 그러나 DNS와 같이 응용 계층에서 사용하는 경우에는 특정 측정값을 기준으로 하지 않고 사용 패턴 등 네트워크에서 측정된 요인에 의한 임의적인 경향이 더 크므로 최적 경로를 따른다고 보기 어렵다.

본 논문에서는 가장 주요한 계층 구조 구성 방법인 최적 경로 구성, 임의 구성, 제한된 폭 및 높이를 가진 구성에 따른 시스템의 성능 변화에 대해 분석하고 이를 균등 구조에 의한 성능과 비교한다. 또한, 이러한 비교를 통해 각 시스템의 특성에 따라 가장 적합한 토폴로지 구성 방법에 대해 제안한다.

## 2. 계층 구조 구성 방법

### 가. 최적 경로 구성

최적 경로 구성이란 토폴로지의 각 경로가 특정 기준값을

최소 또는 최대가 되도록 하는 조건을 만족하는 구성이다. 예를 들면 LISP나 DONA와 같이 네트워크 계층의 응답 시간과 같은 측정값을 기준으로 삼는다면, 이 측정값을 최소화하는 경로가 되도록 토폴로지를 구성하게 된다.

### 나. 임의 구성

임의 구성이란 토폴로지의 각 연결에 대해 노드의 위치나 링크의 상태 등의 네트워크 상의 측정값을 이용하지 않고 모든 연결을 임의로 구성하는 것을 말한다. 예를 들어 DNS와 같이 응용 계층에서 사용하는 경우에는 특정 측정값을 기준으로 하지 않고 사용 패턴이나 Domain Name의 사회적 관계 등 다른 요인에 의한 경향이 더 크다.

### 다. 제한된 폭 및 높이를 가진 구성

계층 구조가 트리로 구성될 때 모든 부모 노드에 대해 자식 노드가  $n$ 개 있다면 이 트리의 폭은  $n$ 이라고 한다. 이 때 총 노드의 숫자가 일정하고 모든 노드가  $n$ 개의 자식 노드를 가진다면 이 트리의 높이의 최소값은 폭  $n$ 에 반비례하여 제한된다. 제한된 폭 및 높이를 가진 구성은 계층 구조에서만 유의미한 것으로 균등 구조에서는 높이가 1이므로 폭의 제한이 없다.

## 3. 균등 구조 구성 방법

균등 구조의 구성 방법은 일반적으로 노드 간의 연결을 해시(hash) 함수를 이용하여 결정한다. 예를 들어 특정 노드의 IP 주소를  $A$ , 이 주소의 해시값을  $H(A)$ 라고 할 때 노드 간의 연결은  $A$ 를 고려하는 대신  $H(A)$ 를 이용해 결정한다.

## 4. 성능 비교

### 가. 실험 설정

Resolution 시스템의 응답 시간과 홉 수를 기준으로 하여 다양한 구성의 계층 구조와 균등 구조의 성능을 비교한다. 실험은 ns-2 네트워크 시뮬레이터를 기반으로 진행하였다.

실험을 위해 <표 1>과 같이 3계층 라우터 중에서 일부를 선택하여 Resolution 서버로 이루어진 오버레이(overlay) 네트워크를 구성하여 실험하였다. 3계층 라우터의 네트워크 토폴로지는 GT-ITM [3] 토폴로지 생성기를 이용하여 생

Resolution 서버 수	100 개
3계층 라우터 수	330 개
토폴로지 생성기	GT-ITM
토폴로지 종류	Transit-stub
임의 구성의 폭 제한	4, 8
균등 구조의 Namespace 크기	4096
균등 구조의 Finger Table 크기	12
컨텐츠 수	4000
Resolution 요청 발생 빈도	2초 마다

표 1: 실험 설정

성하였으며, 이 때 사용한 설정값들은 [4]를 참고하여 실제적인 네트워크를 모델링 할 수 있도록 설정하였다. 오버레이 노드는 전체 노드 중에서 임의로 100개 노드를 선택하여 이용하였다.

계층 구조 중 최적 경로 구성은 링크 지연 시간을 기준으로 하였으며 최적 경로는 Floyd-Warshall 알고리즘[5]을 이용하여 계산하였다. 또한 임의의 구성은 최적 경로 구성에 대해 응답시간이나 홉 수에 불리함이 있을 수 있으므로 주어진 폭을 최대한 이용하여 높이를 최소로 하였다. 높이를 최소로 하게 되면 홉 수가 평균적으로 짧아져 응답시간도 줄어들게 된다. 균등 구조의 경우 여러 가지 DHT 중에서 Chord[6]를 이용하여 실험하였다. 균등 구조의 설정값은 <표 1>에 제시하였다.

Resolution 패킷의 전달 방법은 계층 구조의 경우 자신에게 없는 정보는 부모 노드에게 질의하는 방법을 사용하였다. 균등 구조의 경우에는 자신에게 없는 정보는 Finger Table과 이웃 노드를 따라 가며 질의하도록 하였다.

Resolution 트래픽은 ipoque의 Internet Study 2007 자료[7]를 바탕으로 컨텐츠 종류 별로 발생 빈도를 다르게 하였다. 컨텐츠 수와 Resolution 요청의 발생 빈도는 <표 1>에 제시하였다. 트래픽 패턴은 널리 이용되는 Zipf 분포[8]를 따르도록 하였다.

## 나. 실험 결과

실험 결과는 시뮬레이션 시간으로 약 10만 초 정도 진행하였을 때의 응답 시간과 홉 수의 평균값이다. 두 값은 모두 시간이 지남에 따라 수렴하여 약 1만 초 정도 지난 이후에는 거의 변화가 없다. 따라서 실험에 사용된 값은 대표

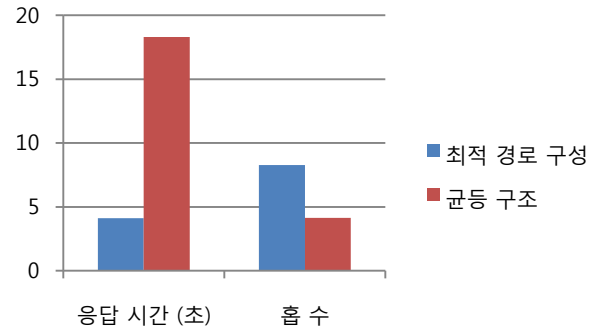


그림 1: 최적 경로 구성과 균등 구조의 비교

성이 있다.

### 최적 경로 구성과 균등 구조의 비교

최적 경로 구성의 계층 구조는 <그림 1>과 같이 균등 구조에 비교하여 응답 시간은 짧고 홉 수가 많다. 응답 시간은 최적 경로 구성이 4.11초로 18.30초인 균등 구조보다 약 4.5배 빨랐으며, 홉 수는 최적 경로 구성이 8.27로 4.13의 균등 구조보다 약 2배 많았다. 이는 최적 경로 구성의 경우 네트워크 상의 측정값 중 링크 지연 시간을 이용하여 구성하므로 짧은 응답 시간에 최적화되어 있기 때문이다. 반면 균등 구조는 네트워크의 정보를 활용하지 않으므로 최적 경로 구성보다 응답 시간이 느리다.

### 임의의 구성 - 제한된 폭 및 높이를 가진 구성

임의의 구성의 계층 구조는 폭 또는 높이가 자유롭게 구성될 수 있으나, 실험에서는 제한된 폭을 설정하였다. 이는 앞서 4-가 절에서 언급한 것과 같이 높이를 최소로 하여 홉 수를 짧게 하고 응답 시간도 줄이기 위해서이다. 즉, 실험에서 보이는 임의의 구성은 주어진 폭에서의 응답 시간과 홉 수를 최소로 하는 설정이다.

실험에 사용된 폭은 <표 1>에 제시되어 있으며, 다음과 같은 기준으로 결정되었다. 먼저 폭이 4인 경우는 비교의 공정성을 위해 균등 구조와 임의의 구성의 홉 수가 가장 긴 경우를 같도록 만든 것이다. 즉, 균등 구조의 경우 <표 1>에 제시된 값으로부터 한 오버레이 노드가 4096/100개의 Namespace를 관리하므로, 최악의 경우 7홉을 지나야 한다. 따라서 임의의 구성이 최악의 경우 7홉을 지나도록 하려면 적어도 높이가 4가 되도록 해야 하며, 이를 만족하는 폭으로 4를 선택하였다.

그러나 최악의 경우를 같도록 하는 것은 실제 트래픽을 반영하지 못하여 공정한 비교가 아닐 수 있다. 이를 위해 임의의 구성과 균등 구조 모두 평균 홉 수가 같도록 설정할

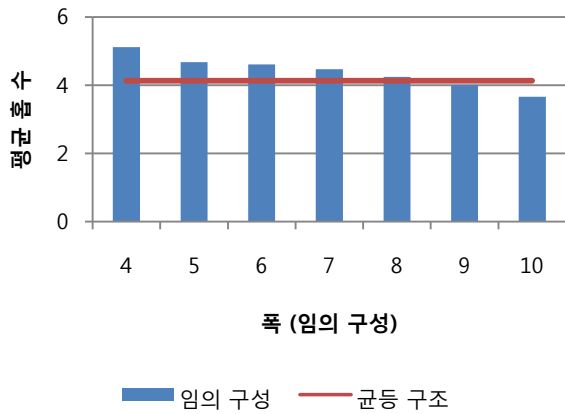


그림 2: 임의 구성과 균등 구조의 평균 홑 수 비교

필요가 있다. 실험을 통해 알아 본 평균 홑 수는 <그림 2>와 같으며 따라서 균등 구조의 4.13홑과 임의 구성의 홑 수가 가장 유사한 경우인 홑이 8 (4.25홑)인 경우를 비교 대상으로 선택하였다.

<그림 3>은 임의 구성의 계층 구조와 균등 구조를 비교한 것이다. <그림 3>의 홑 수는 <그림 2>의 홑 수와 같으므로 임의 구성의 홑 4, 홑 8, 균등 구조 순으로 점차 작아졌다. 한편, 응답 시간은 균등 구조가 가장 길고 임의 구성의 홑 4, 홑 8 순으로 점차 줄어들었다.

최적 경로 구성의 계층 구조는 균등 구조보다 응답 시간이 약 4.5배 빨랐으나, 임의 구성의 계층 구조는 홑 4일 때 15.22초로 약 1.2배, 홑 8일 때 11.30초로 약 1.6배 빨랐다. 이를 통해 최적 경로 구성이 임의 구성보다 응답 속도의 측면에서 더 나은 선택임을 알 수 있으나, 이는 임의 구성이 네트워크 정보를 이용하지 않기 때문에 발생하는 차이이다. 균등 구조도 이와 마찬가지로 네트워크 정보를 이용하지 않지만 임의 구성에 비해 더 긴 응답 속도를 보이는 점에서 임의 구성이 균등 구조보다 유리함이 있다.

## 5. 결론

Resolution 시스템에서 사용하는 네트워크 토폴로지는 크게 계층 구조와 균등 구조로 분류할 수 있다. 특히 계층 구조는 다시 최적 경로 구성, 임의 구성, 제한된 홑 및 높이를 가진 구성으로 나누어 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 토폴로지들 간의 성능을 ns-2 시뮬레이터를 이용한 실험으로 비교하였다.

실험 결과 응답 시간의 측면에서 최적 경로 구성이 다른 모든 토폴로지보다 짧은 응답 시간을 보였으며, 균등 구조

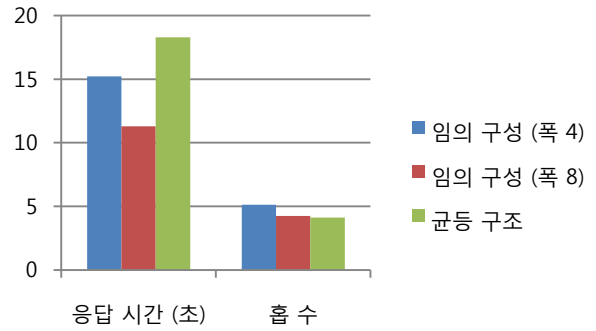


그림 3: 임의 구성과 균등 구조의 비교

가 가장 긴 응답 시간을 보였다. 응답 시간과 홑 수는 직접적인 관계가 없었는데, 이에 대해서는 향후 더 자세히 연구해 볼 필요가 있다.

전반적으로 계층 구조가 균등 구조보다 짧은 응답 시간을 나타내어 Resolution 시스템에 적합하였다. 다만 최적 경로 구성과 임의 구성이 모두 계층 구조에 속하지만 네트워크의 정보를 이용할 수 있는지에 따라 선택적으로 사용해야 한다. 한편 균등 구조는 확장성이 뛰어나고 노드의 진출입이 용이한 구조적 특성을 Resolution 시스템에 이용할 수 있으므로 향후 네트워크의 정보를 반영하는(topology-aware) 균등 구조에 대해서도 실험해 볼 예정이다.

## 참고문헌

- [1] D. Farinacci, V. Fuller, and D. Oran. Locator/id separation protocol (LISP). *Internet Draft*, January 2007. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-farinacci-lisp-00.txt>.
- [2] T. Koponen, M. Chawla, B.-G. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Shenker, and I. Stoica. A data-oriented (and beyond) network architecture. *SIGCOMM '07*, pp. 181–192, ACM, 2007.
- [3] GT-ITM. Georgia tech internetwork topology models. <http://www.cc.gatech.edu/projects/gtitm/>.
- [4] T. Koponen, M. Chawla, B.-G. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Shenker, and I. Stoica. A data-oriented (and beyond) network architecture. *SIGCOMM '07*, pp. 181–192, ACM, 2007.
- [5] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, and C. Stein. *Introduction to Algorithms*, 2nd edition, MIT Press. ISBN 0-262-03293-7. Section 25.2, "The Floyd–Warshall

algorithm", pp. 629–635, 2001.

- [6] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications. *SIGCOMM '01*, pp. 149–160. ACM, 2001.
- [7] H. Schulze and K. Mochalski. ipoque - The impact of P2P file sharing, voice over IP, Skype, Joost, instant messaging, one-click hosting and media streaming such as YouTube on the Internet. [http://www.ipoque.com/resources/internet\\_studies/internet\\_study\\_2007/](http://www.ipoque.com/resources/internet_studies/internet_study_2007/).
- [8] G. K. Zipf. Selected Studies of the Principle of Relative Frequency in Language. Harvard University Press, 1932.