

변화성을 고려한 인터넷 위상 모델링에 관한 연구

조 인 숙*, 손 주 향*, 김 병 기**

A study of Internet Topology Modeling Reflecting Evolution

Insook Cho, Joo-hang Sohn, Byung-gi Kim

ABSTRACT

Studies of Internet algorithms or policies require experiments on the real large-scale networks. But practical problems with large real networks make them difficult. Instead many researchers use simulations on the Internet topology models. Some tried to find out abstract topological properties of Internet. And several models are proposed to reflect Internet's topological characteristics better. But few studies have been performed on how to model the evolution of Internet. We propose algorithms for modeling addition and removal of nodes and accompanied change of topologies. We analyze the topologies generated by our algorithms to observe that they obey the power-laws better than those generated by existing ones. These algorithms are also expected to be helpful in predicting future topologies of Internet.

Key Words : 인터넷, 위상 모델, 변화성, Power-law

* 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과

** 숭실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부

1) 숭실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부

1. 서론

인터넷과 같은 대규모 네트워크에 관련된 알고리즘과 정책의 성능을 평가하기 위해서는 이를 적용할 네트워크가 필요하다. 이러한 성능 평가는 대형 네트워크를 대상으로 하는 것이 바람직하지만, 커다란 실제 네트워크를 구축하여 실험하는 것은 데이터 수집이나 제어 가 어려울 뿐 아니라 막대한 비용이 필요하기 때문에 현실적으로 불가능하다. 따라서 대부분의 연구는 실제 네트워크의 특징을 잘 반영하는 모델을 이용하게 된다[1]. 따라서 인터넷의 위상의 특성을 잘 반영하는 네트워크 모델이 필요하다.

2. 기존의 위상 모델들과 실제 인터넷 위상의 특성

Waxman 모델은 랜덤 네트워크를 생성하는데 가장 오랫동안 사용되어 온 모델 중의 하나로, 대부분의 랜덤 네트워크 기반 위상 모델의 기초가 되었지만, 실제의 인터넷 특성을 표현하기 위한 위상 생성 모델링 방법에는 적절하지 않은 방법이다. 이 모델은 2차원 그리드 상에 노드를 랜덤하게 배치한 후, 두 노드들 간의 거리를 고려하여 네트워크에 링크를 추가해 나간다. 이 때 두 노드 u 와 v 간의 링크 설치 여부는 다음과 같은 연결확률함수를 사용하여 결정한다.

$$P(u, v) = ae^{-d/(BL)} \quad (1)$$

여기서 $0 < a, \beta \leq 1$ 이고, d 는 노드 u 에서 v 까지의 Euclidean 거리, L 은 그래프 내의 두 노드 간의 최대 거리 즉 지름(diameter)이다.

Barabasi-Albert 모델은 점진적 성장 (incremental growth)과 우선적 연결 (preferential connectivity)이라는 두 가지 개

념을 제시하여 인터넷의 특성을 더 잘 반영하는 위상을 생성하였으며, 이를 이용하여 power-law의 원인을 규명하였다[4].

Barabasi-Albert 모델은 노드를 점진적으로 연결해나가며, 노드 i 가 추가될 때 우선적 연결을 고려하므로 이 노드가 기존 노드 j 에 연결될 확률은 다음과 같이 기존 노드의 차수에 따라 결정된다[4].

$$P(j) = D_j / \sum_{k \in V} d_k \quad (2)$$

여기서, D_j 는 목적 노드의 차수고, V 는 네트워크에 연결된 모든 노드의 집합, d_k 는 이미 네트워크에 연결되어 있는 모든 노드의 차수 합이다.

1999년 말까지는 인터넷의 구조가 랜덤하다는 추측이 지배적이었다. 그러나 최근 연구에서 인터넷 위상을 특징짓는 몇 가지 속성들 사이에 power-law가 성립함이 알려진 것이다 [3, 4]. 현재까지 알려진 대표적인 power-law는 다음과 같다.

첫 번째 법칙은 노드의 차수와 차수에 따라 정렬했을 때 노드의 순위(rank) 사이에 존재하는 관계이다. 인터넷의 노드의 차수와 노드의 순위 사이에는 power-law의 관계가 성립한다. 여기서 순위는 모든 노드들을 차수가 큰 것부터 시작하여 내림차순으로 정렬했을 때 그 노드의 등수를 말한다.

두 번째 power-law는 노드의 차수와 그 차수를 갖는 노드의 개수, 즉 빈도수(frequency) 사이에서 나타난다. 노드의 차수와 빈도수의 사이에 power-law의 관계가 있다. 여기서 빈도수는 차수를 갖는 노드들의 출현 빈도수를 말한다. 즉 낮은 차수를 갖는 노드의 빈도수는 상대적으로 높고, 높은 차수를 갖는 노드의 빈도수는 낮다.

이러한 규칙들은 인터넷의 위상적 특성을 잘 표시하므로 생성된 인터넷 모델이 얼마나

power-law를 잘 만족하는지를 검사함으로써 그 모델의 정확성을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 두 법칙을 사용하여 제안하는 위상 생성 알고리즘의 성능을 평가하고자 한다.

3. 성능평가 방법 및 결과

3.1. 시뮬레이션 방법

이 논문에서는 한국 인터넷 정보 센터(KRNIC)가 제공하는 국내 AS 개수 현황을 이용하여 실험하였다. 시뮬레이션에 실제로 사용한 자료는 1999년부터 1월부터 2003년 5월까지이며, 우리나라 및 전 세계의 연도 별 AS 개수 현황은 표 1과 같다.

연도	AS 개수	
	우리나라	전 세계
1999년	149	11,232
2000년	300	15,710
2001년	391	20,128
2002년	433	23,822
2003년	494	24,827

표 1. AS 개수 현황(2003년 5월 현재)

3.1.1. 제1단계

기본 위상을 생성하는 단계로서 노드는 랜덤하게 배치하고, 링크는 Waxman Model 방식을 이용하여 생성하였다. 그림 2는 1999년 우리나라 AS 개수 149개에 맞추어 생성한 초기 위상이다.

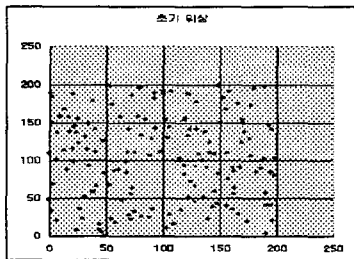


그림 1. 초기 위상(링크 없는 149개 노드의 배치)

3.1.2. 제2단계

제1단계에서 생성된 기본 위상에 새로운 노드를 추가하는 단계로서 전체 노드 개수에 대한 증가율을 입력 값으로 한다. 또한 새로 생성되는 노드는 한 번에 하나씩 추가하는 점진적 증가 방식을 이용하되 기존의 노드와 중복된 위치는 배제한다. 추가된 노드의 링크 연결은 (1) Waxman의 노드 연결 확률 공식과 (2) 차수 기반 연결 방식을 이용한다. 차수 기반 연결 방식은 기존 노드들 중에서 차수가 낮은 노드들보다 차수가 높은 노드에 연결 확률을 높게 하는 방법이다. 그림 2는 2000년부터 2003년까지 연도별로 단계적으로 증가하여 2003년의 우리나라 AS 개수에 맞추어 노드를 생성한 예이다.

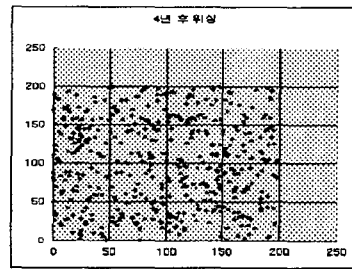


그림 2. 4년 후 위상(링크 없는 494개 노드)

3.1.3. 제3단계

제2단계 수행이 완료된 후 위상 그래프에서 노드를 삭제하는 단계로서 전체 노드 개수에 대한 삭제율을 입력한다. 삭제 방법은 (1) 각 노드의 최소 길이 링크를 조사하여 그 길이가 길수록 삭제확률이 높도록 하는 거리 기반 방식 (2) 차수가 높은 노드는 삭제확률을 낮추고, 거리가 긴 노드에 대해서는 삭제확률을 높이기 위해 차수와 거리를 동시에 고려하는 방식을 함께 이용한다.

(4) 제4단계

제3단계를 수행한 후 고립된 노드들을 찾아서 인접한 노드에 대한 새로운 링크를 생성하

여 연결해 준다. 이때의 링크 생성은 새로운 노드가 생성되었을 때 링크를 추가하는 방법과 같은 방법을 사용한다.

알고리즘 평가를 위해 크게 두 가지 방법으로 위상을 생성하는데 첫째는 변화성을 고려하지 않은 매우 일반적인 네트워크 생성 방법이고(표 2), 둘째는 변화성을 고려하여 2단계, 2단계, 4단계를 모두 적용한 방법이다(표 3). 위의 두 가지 방법을 다음과 같은 알고리즘 셋으로 구현하였다.

알고리즘	2단계	
	추가	링크
A1	Random 함수 이용	Waxman 확률 공식
A2	점진적 증가 방식	차수 기반 방식

표 2. 삭제 기능이 없는 알고리즘

알고리즘	2단계		3단계	4단계
	추가	링크		
B1	Random 함수 이용	Waxman 확률 공식	거리 기반 방식	Waxman 확률 공식
B2	점진적 증가 방식	차수 기반 방식	거리 기반 방식	차수 기반 방식
B3	점진적 증가 방식	차수 기반 방식	차수&거리 기반 방식	차수 기반 방식

표 3. 삭제 기능이 있는 알고리즘

3.2. 결과 분석 및 비교

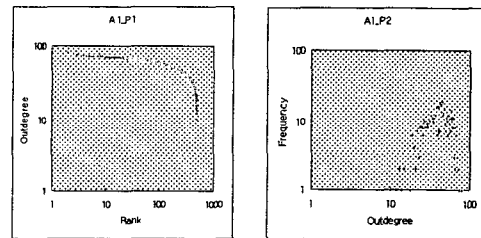
그림 3과 4는 노드 149개로 구성된 초기 위상에 각 알고리즘을 적용하여 노드 수 494개로 성장시킨 위상의 특성을 log-log 눈금에 plot하여 power-law를 검사한 그래프이다. 그림 5는 노드 삭제 기능이 없는 알고리즘을 이용하여 구현한 결과이며, 그림 6은 노드 삭제 기능을 포함하는 알고리즘을 이용하여 구현한 결과들이다.

시물레이션에서 사용한 Waxman 확률 공식의 파라미터는 각각 0.6과 0.065이다. A1에 노드 삭제 기능이 추가된 것이 B1으로 두 그래프 모두 기존의 논문들에서 증명된 것과 같

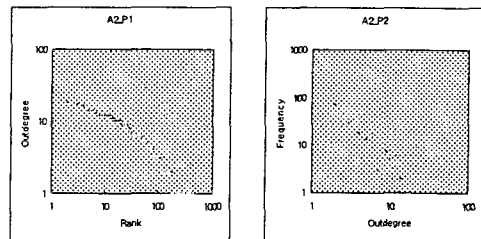
이 랜덤 그래프의 특징을 잘 나타내고 있다. 따라서 power-law는 성립하지 않는다.

A2에 노드 삭제 기능을 추가한 것이 B2와 B3이다. A2는 점진적 증가 방식의 노드 추가와 차수 기반 방식의 링크 생성 방식을 사용했으므로 power-law가 성립하며[3, 4] 상관계수는 -0.95, -0.95이다. 여기에 거리 기반의 노드 삭제 기능을 추가한 B2는 -0.95, -0.97, 거리와 차수를 동시에 고려하여 노드를 삭제한 B3도 -0.95, -0.97의 상관계수를 보여 A2보다 개선된 결과를 보인다. 노드 추가뿐 아니라 실제 인터넷에서 발생하는 소멸 과정도 반영했으므로 시간에 따라 변화하는 인터넷의 특성을 더 잘 반영하는 것으로 생각된다.

그림 5는 삭제 기능이 없는 알고리즘 A2와 삭제 기능이 있는 알고리즘 B3로 5년 후의 위상을 예상한 결과이다. A2는 상관계수 -0.96, -0.96, B2는 상관계수 -0.96, -0.98의 그래프를 생성하여 노드 삭제 기능이 있는 경우가 더 좋은 결과를 내고 있다.

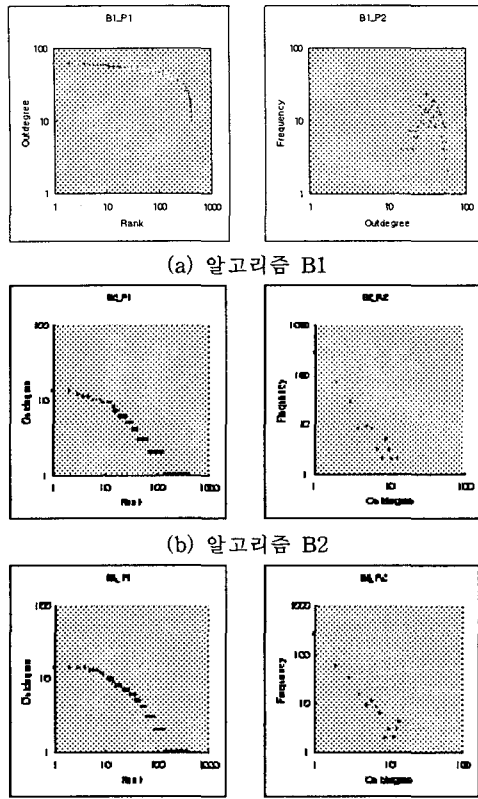


(a) 알고리즘 A1



(b) 알고리즘 A2

그림 3. 삭제 기능이 없는 알고리즘의 위상 생성 결과

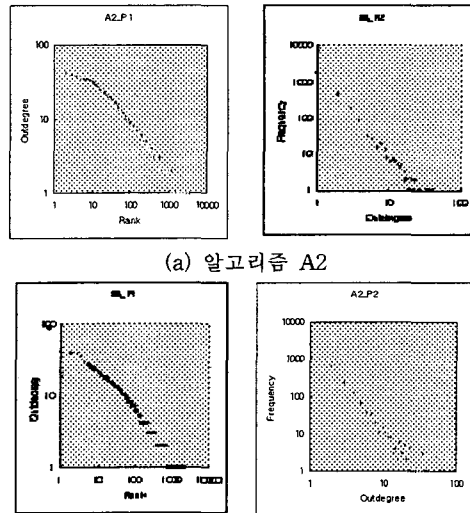


(a) 알고리즘 B1

(b) 알고리즘 B2

(c) 알고리즘 B3

그림 4. 삭제 기능이 있는 알고리즘의 위상 생성 결과



(a) 알고리즘 A2

(b) 알고리즘 B3

그림 5. 알고리즘 A2와 B3로 예상한 5년 후 위상

4. 결론

인터넷은 시간의 흐름에 따라 변화하는 특성이 있는데, 이러한 특성을 반영하기 위해서 인터넷 위상 모델은 노드와 링크의 변화성을 고려해야 한다. 본 논문에서는 위상이 변화하는 현상을 모델링하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하고 그 성능을 평가하였다. 노드 추가 기능만 있는 알고리즘과 비교할 때 우리가 제안한 노드 삭제 기능이 있는 알고리즘이 실제 인터넷 위상을 더 잘 반영하고 있음을 확인하였다. 하지만 실험에 사용한 우리나라 데이터에서는 AS 개수가 충분히 크지 못하고 구체적인 위상 데이터가 없어서 연구에 한계가 있었다. 하지만 앞으로 우리나라 인터넷 위상에 대한 데이터가 더 확보되고 AS가 많아진다면 본 연구 결과를 기반으로 우리나라 인터넷 고유의 특성에 맞는 위상 생성기를 만들어 인터넷 연구에 사용할 수 있으리라 기대한다.

참고문헌

- [1] K. L. Albert, M. B. Doar and E. W. Zegura, "Modeling Internet Topology," IEEE Communications Magazine, Vol. 35, No. 6, pp. 160-163, June 1997.
- [2] B. M. Waxman, "Routing of Multipoint Connections," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 6, No. 9, pp. 1617-1622, December 1998.
- [3] A. Medina, I. Matta, and J. Byers, "On the Origin of Power Laws in Internet Topologies," Computer Communication Review, Vol. 30, No. 2, pp.18-28, 2000.
- [4] A. L. Barabasi, R. Albert, and Hawoong Jeong, "Scale-free characteristics of random networks: the topology of the WWW," Physica A, Vol. 28, No. 1, pp. 69-77, 2000.