비단조 변화성을 이용한 인터넷의 미래 위상 예측

조 인 숙* · 이 문 호**

Prediction of the Future Topology of Internet Reflecting Non-monotony

Insook Cho* · Moonho Lee**

Abstract

Internet evolves into the huge network with new nodes inserted or deleted depending on specific situations. A new model of network topology is needed in order to analyze time-varying Internet more realistically and effectively. In this study the non-monotony models are proposed which can describe topological changes of Internet such as node insertion and deletion, and can be used for predicting its future topology. Simulation is performed to analyze the topology generated by our model. Simulation results show that our proposed model conform the power law of realistic Internet better than conventional ones. The non-monotony model can be utilized for designing Internet protocols and networks with better security.

Keywords : Internet topology model, Non-monotony change, Power-Law

논문접수일 : 2004년 1월 13일 논문게재확정일 : 2004년 6월 2일

* 동양공업전문대학 겸임교수
** 청운대학교 멀티미디어학과 교수

1. 서론

인터넷과 같은 대규모 네트워크에 관련된 모델과 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 제어가 어려울 뿐 아니라 막대한 비용이 필요하기 때문에 현실적으로 불가능하다. 따라서 대부분의 연구는 실제 네트워크의 특징을 잘 반영하는 모델을 이용하게 된다[1]. 따라서 인터넷의 위상적 특성을 잘 반영하는 네트워크 모델이 필요하다.

실제 인터넷에서는 시간이 지남에 따라 도메인이나 라우터 등이 새롭게 생성되거나 없어질 수 있으며, 그 위치가 변경될 수도 있다. 이렇게 인터넷은 시간의 흐름에 따라 변화하므로 이러한 특성을 반영하기 위해서 인터넷 위상 모델은 노드와 링크의 변화성을 고려해야 한다.

네트워크 위상 모델을 생성하는 위상 생성기에 대한 연구가 진행되고는 있으나 연구의 초기 단계이기 때문에 만족할만한 성능을 갖는 위성 생성기는 아직 개발되지 못하고 있다. 특히 노드의 추가 및 삭제를 고려한 모델링 방법에 대해서는 연구가 부족하다. 따라서 본 논문에서는 실제 인터넷의 변화를 잘 반영하기 위하여 노드의 생성 및 소멸과 링크의 재구성 기능을 갖는 위상 생성 모델인 비단조 모델(non-monotony model)을 제안한다. 네트워크는 추상화 단계에 따라 몇 가지 계층으로 나눌 수 있는데 본 논문에서는 AS(autonomous system) 계층의 위상을 대상으로 연구한다.

2. 기존의 위상 모델들

기존의 위상 모델과 생성기들은 경험적 추측을 기반으로 하여 만들어진 것과 측정된 값을 기초로 하여 만들어진 것 두 종류로 나눌 수 있다[2]. Waxman 모델[3], GT-ITM[1], Tiers[4]는 주로 경험적 추측을 기반으로 하여 만들어진 모델들이며, Inet[5, 7], Barabasi-Albert 모델[6], BRITE 1.0[5] 등은 측정된 값을 기초로 하는 모델들이다.

Waxman 모델은 랜덤 네트워크를 생성하는데 가장 오랫동안 사용되어 온 모델 중의 하나로, 대부분의 랜덤 네트워크 기반 위상 모델의 기초가 되었다. 이 모델은 2차원 그리드 상에 노드를 랜덤하게 배치한 후, 두 노드들 간의 거리를 고려하여 네트워크에 링크를 추가해 나간다. 이 때 두 노드 u와 v간의 링크 연결 여부는 다음과 같은 연결확률함수를 사용하여 결정한다.

$$P(u, v) = \alpha e^{-d/(\beta L)} \qquad (1)$$

여기서 $0 < \alpha, \beta \leq 1$ 이고, d는 노드 u에서 v까지의 Euclidean 거리, L은 그래프 내의 두 노드간의 최대 거리 즉 지름(diameter)이다.

Transit-stub 모델은 인터네트워크의 그래프 모델을 생성하고 분석하는 패키지 GT-ITM의 한 부분으로서 transit과 stub라는 계층적 구조를 갖는 모델이다. 다른 랜덤 그래프 모델에서는 적당한 효율성을 유지하면서 연결된 그래프를 생성하려면 노드의 개수 n이 증가할 때 평균 노드 차수가 따라서 증가하게 되지만[8], transit-stub 모델은 일반적인 랜덤 그래프 모델과는 다르게 평균 노드 차수를 어느 정도 낮게 보장하면서 커다란 그래프를 효과적으로 생성할 수 있다는 장점이 있다.

Barabasi-Albert 모델은 점진적 성장(incremental growth)과 우선적 연결(preferential connectivity)이라는 두 가지 개념을 제시하여 인터넷의 특성을 더 잘 반영하는 위상을 생성하

였으며, 이를 이용하여 power-law의 원인을 규명하였다[6]. 점진적 성장이란 초기에 하나의 노드로 시작하는 네트워크에 계속 새로운 노드가 하나씩 추가되어 네트워크 크기가 점점 커지면서 성장하는 것을 말한다. 우선적 연결은 새로 추가되는 노드가 기존 노드들 중에서 연결성이 높은 노드에 연결될 확률이 높다는 것을 의미한다. 다시 말하면, 네트워크에 새 노드가 추가될 때 링크가 적은 변두리 노드보다는 기존 노드와 많이 연결되어 있는 중요한 노드에 연결되는 경향이 있다는 것이다. Barabasi-Albert 모델은 노드를 점진적으로 연결해나가며, 노드 i가 추가될 때 우선적 연결을 고려하므로 이 노드가 기존 노드 j에 연결될 확률은 다음과 같이 기존 노드의 차수에 따라 결정된다[6].

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

여기서, d_j는 목적 노드의 차수고, V는 네트워크에 연결된 모든 노드의 집합, $\sum_{k \in V} d_k$는 이미 네트워크에 연결되어 있는 모든 노드의 차수 합이다.

이 연구는 인터넷의 특징인 두 가지 요소를 찾아내어 인터넷 노드들의 연결성이 power-laws를 만족함을 밝혔으며, 이러한 두 가지 요소들이 통신 네트워크뿐만이 아니라 사회에 존재하는 모든 네트워크에도 적용된다는 사실을 증명하였다. 하지만 시간에 따라 변화하는 인터넷 위상 생성에 필요한 특성에 대해서는 전혀 언급하지 않았다.

BRITE는 2001년 보스턴대학에서 개발한 합성 위상 개발 툴이다. 대부분의 위상 툴들은 그 툴에서 제안한 모델을 사용해서 새로운 위상 모델을 만들어 내는 것이 일반적인데 반하여 BRITE는 기존의 모델들에서 제안한 각종 모델과 프로토콜 및 인터넷 특성에 대한 파라미터를 선택하여 사용자가 원하는 모델을 생성할 수 있도록 지원해 주는 생성기이다. 이 툴을 이용하여 모델을 생성하면 새 모델에 대한 장단점을 쉽게 평가할 수 있을 뿐 만 아니라, 기존 모델을 결합하여 확장할 수 있는 기능도 함께 제공해준다. 또한 ns, ssf 같이 널리 사용되는 시뮬레이션 프로그램이나 ottor 같은 visualization tool과의 인터페이스도 제공한다[5].

Inet[7]은 미시간 대학에서 개발한 인터넷 위상 생성 도구로서 AS 계층의 위상을 생성한다. Inet 개발자들은 인터넷의 AS 수자가 급격히 증가하고 있으며 AS들끼리 직접 연결되는 경향이 높아짐을 관찰하고 이를 기반으로 인터넷 위상을 생성하였다. 기존의 Waxman, Tiers, GT-ITM, BRITE 등의 모델과 비교하여 인터넷의 특성을 더 잘 반영함을 입증하였으나, 시간이 경과함에 따라 발생하는 노드의 추가 및 소멸에 관련되는 좀 더 상세한 특성은 고려하지 않았다.

3. 실제 인터넷 위상의 특성

1999년 말까지는 인터넷의 랜덤한 구조를 바탕으로 많은 시뮬레이션이 시행되었다. 그러나 최근 연구에서 랜덤하게 보이는 인터넷 위상에도 어떤 규칙성이 존재함이 밝혀졌다. 인터넷 위상을 특징짓는 몇 가지 속성들 사이에 power-law가 성립함이 알려진 것이다[9,10]. 이를 이용하면 위상 모델이 얼마나 실제 인터넷 위상의 특성을 잘 반영하는지 평가할 수 있다. 현재까지 알려진 대표적인 power-law는 다음과 같다.

첫 번째 법칙은 노드의 차수와 차수에 따라 정렬했을 때의 노드의 순위(rank) 사이에 존재하는 관계이다. 인터넷의 노드 v의 차수 dv와

노드의 순위 사이에는 $d_v \propto r_v^R$의 관계가 성립한다. 여기서 순위는 모든 노드들을 차수가 큰 것부터 시작하여 내림차순으로 정렬했을 때 그 노드의 등수를 말하며, R은 상수이다.

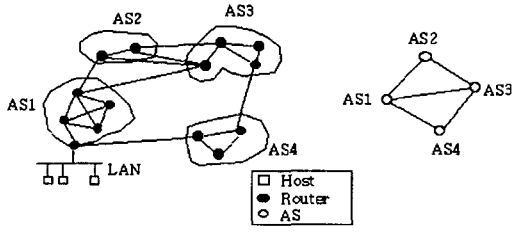
두 번째 power-law는 노드의 차수와 그 차수를 갖는 노드의 개수, 즉 빈도수(frequency) 사이에서 나타난다. 노드의 차수 d와 빈도수 fd는 $f_d \propto d^O$인 관계가 있다. 여기서 빈도수는 차수 d를 갖는 노드들의 출현 빈도수를 말하며, O는 상수이다. 즉 낮은 차수를 갖는 노드의 빈도수는 상대적으로 높고, 높은 차수를 갖는 노드의 빈도수는 낮다.

이 외에도 그래프의 위상적 특성과 밀접한 연관이 있다고 알려져 있는 고유값(eigenvalue)과 그 순서 사이에도 power-law가 성립하며, hop count와 그 범위 내의 노드쌍 개수 간에도 power-law가 존재한다는 연구 결과가 있었다 [9, 10].

이러한 규칙들은 인터넷의 위상적 특성을 잘 표시하므로 생성된 인터넷 모델이 얼마나 power-law를 잘 만족하는지를 검사함으로써 그 모델의 정확성을 확인할 수 있다. 하지만 고유값과 hop count에 관한 power-law는 충분히 검증되지 않아서 아직 널리 사용되고 있지 않으므로 본 연구에서는 처음 두 법칙을 사용하여 제안하는 위상 생성 모델의 성능을 평가하고자 한다.

4. 인터넷 위상 생성 모델

네트워크 위상은 노드와 이들을 연결하는 링크로 구성이 되며, 노드는 그림 1과 같이 라우터나 혹은 AS 단위로 표현이 된다. 현재의 인터넷은 시간이 흐름에 따라 계속적으로 확대하는 추세를 보이고 있으며, 라우터나 스위치, AS의 생성이나 소멸에 따라 위상이 끊임없이 변하고 있다. 또한 최근에 새로운 노드와 링크의 생성 양태는, 기존의 경우처럼 랜덤하게 생성되는 것이 아니고, 군집성이나 선호적 연결 등 일정한 특성에 따라 증가하고 있음이 입증되었다[6]. 이러한 특성을 가진 실제 인터넷의 특성을 반영하기 위해서 네트워크 위상 모델 방식에서는 노드와 링크의 변화성을 고려해야 한다. 변화성이란 노드의 생성 및 소멸로 인하여 인터넷 위상이 새롭게 변화하는 성질을 말하며, 특정 지역에 새로운 네트워크가 생성되는 경우에는 새로운 노드가 생성되는 경우이다. 이와 반대로 노드의 소멸은 경영상이나 지역적인 문제로 네트워크 위상을 구성하는 노드들 중에서 특정 노드가 제거되는 경우로써 AS 레벨의 경우 AS번호가 소멸되는 현상이며, 라우터 레벨에서는 네트워크 장비나 호스트들이 사라지는 현상을 말한다. 네트워크 위상에 대한 모델링 방법들이 많은 위상 연구가들에 의해서 제안되었지만 실제 인터넷 위상의 변화성을 고려한 모델링 방법은 매우 미약한 편이다. 특히 노드의 추가 및 삭제를 고려한 모델링 방법에 대해서는 계속적인 관심을 갖고 연구해야 할 과제이다. 본 논문에서는 이러한 실제 인터넷의 변화성을 반영하기 위하여 변화성을 고려한 노드의 추가 및 삭제와 삭제 후 고립된 노드 처리 과정을 통하여 새로운 위상을 생성하는 모델들을 제안한다.



(a) 라우터 계층 (b) AS 계층

(그림 1) 인터넷 위상

4.1 노드의 추가

네트워크에서 노드는 새롭게 생성되는데, 이는 새로운 네트워크의 탄생이나 기존 네트워크의 확장이 계속적으로 일어나기 때문이다. 새로운 노드는 랜덤하게 추가되거나 일정한 특성에 따라 추가되는데, 지역적인 특성이나 연결될 노드의 대역폭 크기를 고려하여 생성된다.

노드의 생성과 함께 수반되는 새로운 링크의 생성 및 연결 또한 이러한 특성을 반영하게 된다. 전 세계적으로 볼 때 네트워크는 대부분 사람이 밀집한 곳에는 많은 노드들이 집중되어 있으며, 상대적으로 산간이나 사막 등 지리적으로 사람이 거주하기 힘들고 분포가 낮은 곳은 노드의 분포 또한 낮다. 노드의 추가는 초기 위상에서 생성된 149개의 노드로 구성된 기본 위상에 다 새로운 노드를 추가하는 과정으로써, 새로운 노드가 생성되어 기존의 네트워크에다 이 노드를 추가하는 경우, 새로운 노드의 배치는 두 가지 방법을 사용할 수 있다. 첫 번째 방법은 추가되는 전체 노드의 수를 랜덤 함수를 이용하여 네트워크 내의 랜덤한 위치를 정해서 한꺼번에 배치를 하고, 두 번째 방법은 추가되는 노드들을 한 번에 하나씩 배치하는 것인데 기존의 노드와 중복된 위치는 배제한다.

이때 추가된 노드와 다른 노드 사이를 연결할 때에는 두 노드 간의 유클리드 거리를 고려한 Waxman의 노드 연결 확률 공식을 이용하는 방법과 이미 기존의 네트워크에 연결이 되어 있는 각 노드들의 차수를 조사하여 차수가 높은 노드에 연결될 확률이 높도록 하는 Barabasi-Albert 모델의 연결성 확률을 이용한 차수 기반 연결 방식 등을 사용할 수 있다[3, 6].

만약에 노드들 간의 링크를 생성하기 위해서 Waxman의 노드 연결 확률 공식을 이용한 후 어떤 노드와도 연결이 되지 않은 고립된 노드가 발생한다면 다시 차수 기반 연결 방식을 사용하여 모든 노드들이 연결되도록 한다.

4.2 노드의 삭제

위상 모델링에서 노드를 삭제하는 방법은 여러 가지로 구분할 수 있는데, 랜덤하게 제거하는 방법, 각 노드의 차수를 고려하는 방법, 각 노드의 거리를 고려하는 경우, 노드들의 밀집도를 고려하는 방법 등이 있다. 삭제할 노드는 노드의 위치 및 밀집도를 고려하여 결정된다.

본 논문에서는 (1) 거리를 고려하여 삭제하는 방법 (2) 거리와 차수를 동시에 고려한 방법 등을 사용한다.

첫째 방법에서 거리는 Euclidean distance로서 각 노드의 가장 짧은 링크의 길이를 사용하는 방법과 각 노드들에 연결된 모든 링크 길이의 평균값을 사용하는 방법이 있다.

둘째 방법은 차수가 높은 노드는 삭제 확률을 낮추고, 거리가 긴 노드에 대해서는 삭제확률을 높이기 위한 방법으로서 차수와 거리를 모두 고려한 경우이다.

노드들 간의 거리는 l0, l1, … ln, 노드들의 차수는 d0, d1, … dn 이고 전체 노드의 개수가 m 이라면, 전체 노드의 평균 거리는 $\sum_{i=0}^{*} l_i/m$ 이고, 전체 노드의 차수 평균은 $\sum_{i=0}^{*} d_i/m$ 으로 표현할 수 있다. 이 때 두 노드 간의 링크 삭제에 필요한 공식은 다음과 같다.

$$P_i = \gamma \frac{random(l_i)}{\sum l_i/m} - \delta \frac{random(d_i)}{\sum d_i/m} \quad (3)$$

여기서 차수에 의한 영향과 거리에 의한 영향을 같게 하기 위하여 각각의 평균값으로 정규화(normalize)하였다.

식 (3)에서 파라미터 °와 ㄴ는 가장 효율적인 결과를 얻기 위해서 거리에 대한 비율과 차수에 대한 비율을 조절하기 위하여 추가된 조정 변수들이다.

4.3 노드 삭제 후 위상의 재구성

그래프에서 노드를 제거한 후에 발생하는 고립된 노드(isolated node)는 새로운 링크를 생성하여 다른 노드에 연결해 주어야 한다.

노드가 삭제된 후 고립된 노드는 이웃하는 노드들 중에서 가장 차수가 많고, 가장 가까운 거리에 있는 노드에 연결될 확률이 높다.

고립된 노드를 위한 새로운 링크의 생성은 새로운 노드가 생성되었을 때 링크를 추가하는 방법과 똑같이 Waxman의 노드 연결 확률 공식을 이용하는 방법과 차수 기반 연결 방법 두 가지가 있다.

5. 성능평가

5.1 시뮬레이션 방법

이 논문에서는 한국 인터넷 정보 센터(KRNIC)에서 발표한 국내 AS 개수 현황을 이용하여 실험하였다.

우리나라의 인터넷은 1995년에 AS 11개로 시작하였으나, 인터넷의 폭발적인 성장으로 2003년 5월 현재 국내 AS개수는 494개이다.

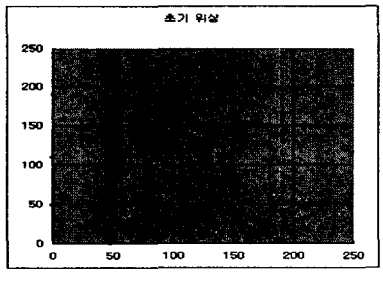
시뮬레이션에 실제로 사용한 자료는 1999년부터 1월부터 2003년 5월까지이며, 우리나라 및 전 세계의 연도 별 AS 개수 현황은 표 1과 같다.

<표 1> AS 개수 현황(2003년 5월 현재)

연 도	AS 개수	
	우리나라	전 세계
1999년	149	11,232
200년	300	15,710
2001년	391	20,128
2002년	433	23,822
2003년	494	24,827

5.1.1 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.

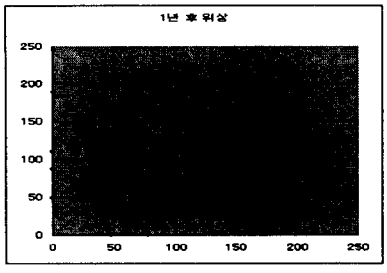


(그림 2) 초기 위상(링크 없는 149개 노드의 배치)

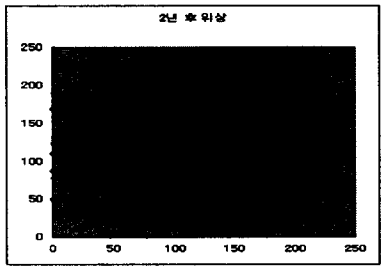
5.1.2 제2단계

제2단계는 기본 위상에다 새로운 노드를 추가하는 단계로서 랜덤한 방법과 새로 생성되는 노드는 한 번에 하나씩 추가하는 점진적 증가 방식을 이용하되 기존의 노드와 중복된 위치는 배제한다.

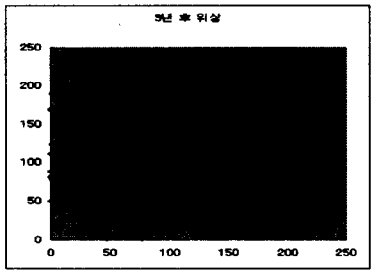
그림 3은 2000년부터 2003년 사이의 우리나라 AS 개수에 맞추어 노드를 생성한 예이다.



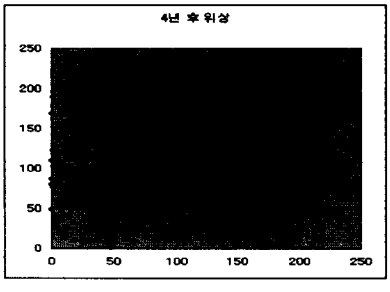
(a) 1년 후 위상(링크 없는 300개 노드)



(b) 2년 후 위상(링크 없는 391개 노드)



(c) 3년 후 위상(링크 없는 433개 노드)



(d) 4년 후 위상(링크 없는 494개 노드)

(그림 3) 시간에 따른 노드 추가 후 위상 변화

5.1.3 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.

5.1.4 제4단계

노드를 삭제한 후 분리된 노드들에 대한 새로운 링크를 생성하는 단계로서 제3단계를 수행한 후 고립된 노드들을 찾아서 인접한 노드에 대한 새로운 링크를 생성하여 연결해 준다.

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

위의 두 가지 방법을 다음과 같은 모델 셋으로 구현하였다.

<표 2> 삭제 기능이 없는 모델

모델	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 모델

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

5.2 결과 분석 및 비교

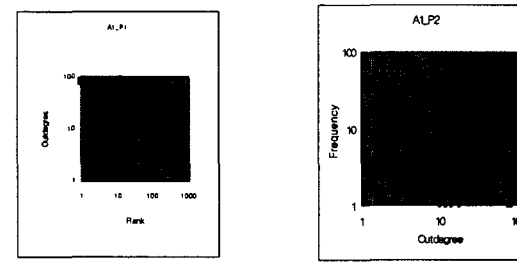
그림 5와 6은 노드 149개로 구성된 초기 위상에 각 모델을 적용하여 노드 수 494개로 성장시킨 위상의 특성을 log-log 눈금에 plot하여 power-law를 검사한 그래프이다. 그림 5는 노드 삭제 기능이 없는 모델을 이용하여 구현한 결과이며, 그림 6은 노드 삭제 기능을 포함하는 모델을 이용하여 구현한 결과들이다.

시뮬레이션에서 사용한 Waxman 확률 공식의 파라미터 는 각 각 0.6과 0.065이다. A1에 노드 삭제 기능이 추가된 것이 B1으로 두 그래프 모두 기존의 논문들에서 증명된 것과 같이 랜덤 그래프의 특징을 잘 나타내고 있다. 따라서 power-law는 잘 성립하지 않으며 기본적인 그래프의 형태는 둘 다 비슷하다. 모델 A1의 경우 상관계수가 -0.80, 0.16이고, B1의 경우 -0.81, 0.24로 삭제 기능을 추가한 경우가 약간 좋게 나왔지만 어차피 power-law를 만족하지 않으므로 큰 의미는 없는 것으로 생각된다.

A2에 노드 삭제 기능을 추가한 것이 B2와 B3이다. A2는 점진적 증가 방식의 노드 추가와 차수 기반 방식의 링크 생성 방식을 사용했으므로 power-law가 성립하며[6] 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.

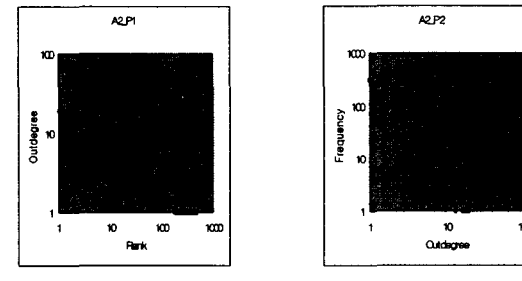
그림 7은 그림 5와 6을 기초 데이터로 하여 삭제 기능이 없는 모델 A2와 삭제 기능이 있는 모델 B3로 5년 후의 위상을 예상한 결과이다. A2는 상관계수 -0.96, -0.96, B3는 상관계수 -0.96, -0.98의 그래프를 생성하여 노드 삭제 기능이 있는 경우가 더 좋은 결과를 내고 있다.

이상의 실험 결과에서 노드 삭제 기능을 추가함으로써 인터넷 위상 생성 모델을 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 인터넷에서는 실제로 노드가 없어지기도 하므로 인터넷의 변화성을 더 잘 반영할 것으로 기대된다. 따라서 본 논문에서 분석에 사용한 power-law 외에 시간 변화에 따른 인터넷의 다른 특성이 더 발견된다면 노드 삭제 기능의 효용성을 더 잘 확인할 수 있을 것이다.



상관계수 : -0.80 상관계수 : 0.16

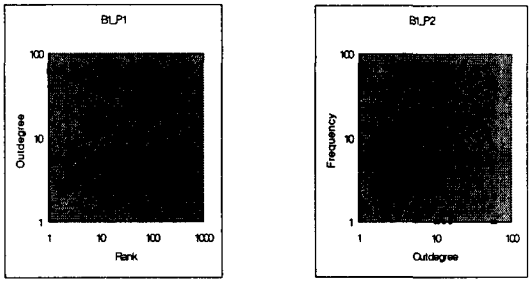
(a) 모델 A1



상관계수 : -0.95 상관계수 : -0.95

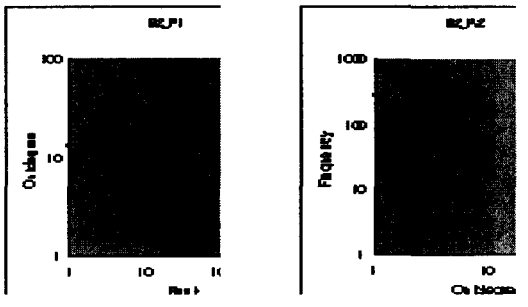
(b) 모델 A2

(그림 5) 삭제 기능이 없는 모델의 위상 생성 결과



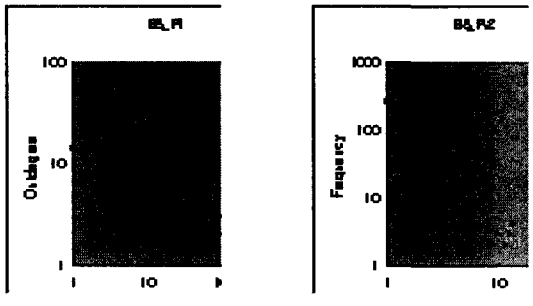
상관계수 : -081 상관계수 : 0.24

(a) 모델 B1



상관계수:-0.95 상관계수:-0.97

(b) 모델 B2



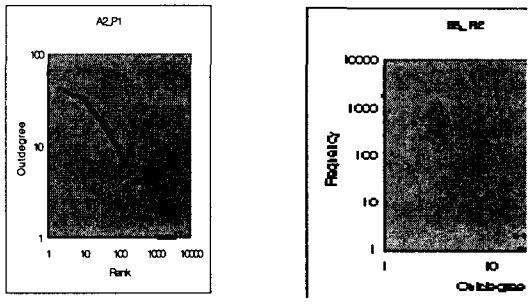
상관계수:-0.95 상관계수:-0.97

(c) 모델 B3

(그림 6) 삭제 기능이 있는 모델의 위상 생성 결과

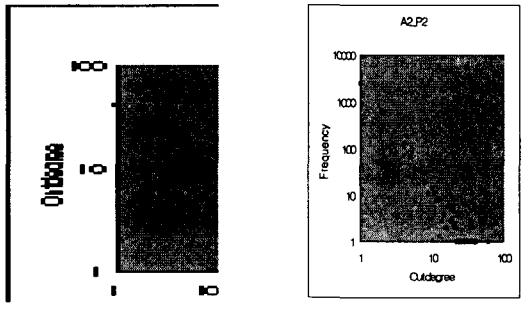
6. 결론

인터넷은 시간의 흐름에 따라 변화하는 특성이 있는데, 이러한 특성을 반영하기 위해서 인터넷 위상 모델은 노드와 링크의 변화성을 고려해야 한다. 본 논문에서는 노드가 생성되고 소



상관계수 : -0.96 상관계수 : -0.96

(a) 모델 A2



상관계수:-0.96 상관계수:-0.98

(b) 모델 B3

(그림 7) 모델 A2와 B3로 예상한 5년 후 위상

멸되며 이에 따라 위상이 변화하는 비단조 현상을 모델링하고, 미래의 위상을 예측할 수 있는 모델인 비단조 모델(non-monotony model)들을 제안하였다. 제안된 비단조 모델에 의해 생성된 위상을 분석한 결과 기존 방식에 비해 실제 인터넷의 특성인 power-law를 더 잘 만족함을 확인하였다. 단순히 노드를 추가만 하는 일반적인 모델과 비교할 때 우리가 제안한 노드 삭제 기능이 있는 모델이 실제 인터넷 위상을 더 잘 반영하고 있음을 확인하였다. 하지만 이 논문에서 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 인터넷

의 사이버 공격에 대한 보안망 분석과 인터넷 관련 프로토콜의 알고리즘을 위한 미래의 인터넷 위상 설계에 도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] K. L. Albert, M. B. Doar and E. W. Zegura, "Modeling Internet Topologvy," IEEE Communications Magazine, Vol. 35, No. 6, pp. 160-163, June 1997.

[2] A. Medina, A. Lakhina, I. Matta, and J. Byers, "BRITE: Universal Topology Generation from a Users Perspective," Technical Report BUCS-TR-2001-003, Boston University, 2001. Available at http://www.cs.bu.edu/brite/publications.

[3] B. M. Waxman, "Routing of Multipoint Connections," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 6, No. 9, pp. 1617~1622, December 1998.

[4] M. Doar, "A Better Model for Generating Test Networks," In Proceedings of IEEE GLOBECOM, November, pp. 86~93, 1996.

[5] A. Medina, A. Lakhina, I. Matta and J. Byers, "BRITE: An Approach to Universal Topology Generation," In Proceedings of MASCOTS 2001, pp. 346~353, August 2001.

[6] A. L. Barabasi and R. Albert, "Emergence of Scaling in Random Network," Science, Vol. 286, pp. 509~512, October 1999.

[7] C. Jin, Q. Chen, and S. Jamin, "Inet: Internet Topology Generato," Technical Report Research Report CSE-TR-433-00, University of Michigan at Ann Arbor, 2000.

[8] E. Zegura, K. Calvert, and S. Bhattacharjee, "How to model an Internetwork," In Proceedings of IEEE INFOCOM, Vol. 2, pp. 594~602, April 1996.

[9] M. Faloutsos, P. Faloutsos, and C. Faloutso, "On Power-Law Relationships of the Internet Topology," In ACM Computer Communication Review, pp. 251~261, September 1999.

[10] 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.

■ 저자소개

조 인 숙

서울산업대학교에서 공학사, 숭실대학교에서 공학석사와 공학박사 학위를 취득하였다. 현재 동양공업전문대학에서 겸임교수로 재직 중이며 바손 네트워크(주)에서 선임연구원으로 근무하고 있다. 주요 관심분야는 인터넷 네트워크 모델링, 멀티미디어통신, 이동통신 등이다.

이 문 호

서울대학교 공과대학에서 공학사, 숭실대학교에서 공학석사와 공학박사 학위를 취득하였다. 한국전자통신연구원, 현대전자(주)에서 근무하였으며 현재는 청운대학교 멀티미디어학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 멀티미디어통신, 개인휴대통신, 멀티미디어 시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅 등이다.

◈ 이 논문은 2004년 1월 13일 접수하여 2차 수정을 거쳐 2004년 6월 2일 게재확정되었습니다.