

DEVS 모델링을 적용한 인터넷 위상 생성기*

손주항¹⁾, 박상준²⁾, 한정안³⁾, 김형중⁴⁾, 이종찬⁵⁾, 김병기⁶⁾

An Internet Topology Generator Applying DEVS Modeling

Juhang Sohn, Sangjoon Park, Jungahn Han, Hyungjong Kim and Byunggi 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. So, It is Important that study about topology model that reflect characteristic of the internet exactly. We propose new topology model which reflect of hierarchical network and addition, removal of nodes and accompanied change of topologies. In the modeling scheme for network generation, we applied DEVS formalism and analyzed the topologies generated by our algorithms.

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

* 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

** 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과

*** 숭실대학교 정보미디어기술연구소 전임연구원

**** 한국정보보호진흥원 기반시설보호단

***** 한국전자통신연구원

***** 숭실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부

1. 서론

인터넷과 같은 대규모 네트워크에 관련된 알고리즘이나 정책에 관한 연구는 실제의 대형 네트워크 상에서 실험을 하는 것이 바람직하다. 하지만 데이터 수집이나 제어가 어려울 뿐만 아니라 막대한 비용이 요구되기 때문에 현실적으로 불가능하다. 이러한 어려움 때문에 네트워크 위상 모델을 많이 사용하고 있다.

네트워크 위상모델에 대한 대부분의 연구는 실제 네트워크의 특징을 잘 반영하는 모델을 이용하게 된다[1]. 이러한 측면에서 정확하게 인터넷의 특성을 반영하는 네트워크 위상 모델에 관한 연구는 매우 중요하다. 인터넷은 시간이 흐름에 따라 확대되며 성장하고 있다. 하지만 실제 인터넷에서는 시간이 경과함에 따라 내부적으로 도메인이나 라우터 등이 새롭게 생성되거나 없어질 수 있으며, 그 위치가 변경될 수도 있다. 따라서 이와 같은 시간의 흐름에 따른 변화특성을 잘 반영하는 네트워크 모델이 필요하다. 본 논문에서는 모델링 방법에서 DEVS 정형화 기법[3]을 적용하여 모델링하여, 계층적 구조의 특징과 변화성을 반영한 위상모델을 제안하고, 이에 따른 인터넷 위상 생성기(Internet Topology Generator)를 구현하였다.

2. 관련연구

2.1 인터넷 위상의 특징

1999년 말까지는 인터넷의 구조가 랜덤하다는 추측이 지배적이었다. 그러나 최근 연구에서 인터넷 위상의 특징을 결정하는 몇 가지 속성들 사이에 power-law가 성립함이 알려졌다[4, 5, 6]. 대표적인 power-law는 다음과 같다.

첫 번째 power-law는 노드의 차수와 차수에 따라 노드를 정렬했을 때 노드의 순위(rank)사이에 존재하는 관계이다. 여기에서 순

위는 모든 노드들을 차수가 큰 서부터 시작하여 내림차순으로 정렬했을 때 그 노드의 등수를 말한다. 노드 v 의 차수 d_v 와 노드의 순위 r_v 사이에는 (1)의 관계가 성립한다.

$$d_v \propto r_v^{-R} \quad (1)$$

두 번째 power-law는 노드의 차수와 그 차수를 갖는 노드의 개수, 즉 빈도수(frequency) 사이에서 나타난다. 노드의 차수와 빈도수는 차수를 갖는 노드들의 출현 빈도수를 말한다. 노드의 차수 d 와 빈도수 f_d 는 (2)의 관계가 있다.

$$f_d \propto d^{-\theta} \quad (2)$$

세 번째 power-law는 모든 노드들 간에 연결이 되어 있으면 "1"로 표시하고, 연결되어 있지 않으면 "0"으로 표시한 인접행렬을 이용하여 그 연결성으로 계산한 고유값(eigen values)와 그 고유값을 크기순으로 내림차순 정렬한 순위 사이의 관계이다. 즉, 고유값 λ_i 와 순위 i 는 (3)의 관계가 있다.

$$\lambda_i \propto i^{-\epsilon} \quad (3)$$

네 번째 power-law는 홑 수와 그 범위 내의 노드쌍의 수 사이의 관계이다. 노드쌍의 수 P_h 와 홑의 수 h^H 는 (4)의 관계가 있다.

$$P_h \propto h^H \quad (4)$$

Power-law (1), (2), (3)의 상관계수를 계산해보면 -1에 가깝게 나온다. 그러나 power-law 4는 1에 근접하게 상관계수가 나오는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 새로 제안하는 모델을 비교 분석하여 상관계수가 얼마나 차이를 보이는지를 볼 것이다.

2.2 DEVS 형식론

DEVS(Discrete Event System Specification)

형식론은 계층적이고 모듈화된 이산 사건 모델을 위해 정의된 이론이다. 시스템은 시간의 흐름에 따라 입력, 출력, 상태변화(state transition) 함수들을 갖는다. DEVS 형식론은 시스템이 일반적으로 갖는 특성들을 정의하여 시스템을 모델링 할 수 있는 기반을 제공하였다. 이하는 DEVS 형식론에서 basic 모델을 나타낸다.

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$$

여기에서,

X : 입력 사건의 집합

S : 순차적 상태의 집합

Y : 출력 사건의 집합

$\delta_{int} : S \rightarrow S$: 내부 전이 함수

$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$: 외부 전이 함수

$\lambda : S \rightarrow Y$: 출력 함수

$ta : S \rightarrow R^+ \cup \infty$: 시간 진행 함수

단, $Q = \{(s,e) \mid s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$

e : 최근의 상태 전이 이후로 흐른 시간.

3. 기존의 위상 모델들

3.1 Waxman 모델

Waxman 모델[7]은 랜덤 네트워크를 생성하는데 가장 오랫동안 사용되어 온 모델 중의 하나이다. 이 모델은 우선 네트워크의 n개의 노드들을 2차원 그리드 상에 랜덤한 방법으로 배치하며, 각 노드는 정수 좌표 값을 갖는 자리에 위치한다. 2차원 그리드 상의 임의의 위치에 배치된 두 노드들 간의 거리를 고려하여 네트워크에 링크를 추가해 나간다. 이 때 두 노드 u, v 간의 에지가 존재할 확률은 노드간의 거리에 따라 변화되며, 다음과 같은 연결확률함수를 사용하여 결정한다.

$$P(u, v) = ae^{-d(\beta L)} \quad (5)$$

여기서 $0 < a, \beta \leq 1$ 이고, d는 노드 u에서 v까

지의 유클리디안 거리(euclidean distance), L은 그래프 내의 두 노드 간의 최대 거리이다.

3.2 Barabasi-albert 모델

Barabasi-albert 모델[8, 11, 12]은 네트워크 위상의 차수 빈도에서 점진적 성장(Incremental growth)과 우선적 연결(preferential connectivity)의 두 가지를 제시하여 인터넷의 특성인 power-law 분포가 나타나는 원인을 설명하였다. 점진적 성장은 초기에 적은 수의 노드로 시작하는 네트워크에 계속 새로운 노드가 하나씩 추가되어 네트워크 크기가 점점 커지면서 성장하는 것을 말하며, 우선적 연결은 새로 추가되는 노드가 기존 노드들 중에서 연결성이 높은 노드에 연결될 확률이 높다는 것을 의미한다.

따라서 Barabasi-albert 모델에서 노드의 연결은 점진적으로 진행해 나가며, 노드 j 가 추가될 때 우선적 연결을 고려하므로 이 노드가 기존 노드 j에 연결될 확률은 다음과 같은 식으로 결정된다.

$$P(j) = \frac{d_j}{\sum_{k \in V} d_k} \quad (6)$$

여기서, d_j 는 연결될 노드의 차수이고, V는 네트워크에 연결된 모든 노드의 집합, $\sum_{k \in V} d_k$ 는 이미 네트워크에 연결되어 있는 노드의 차수의 합이다.

3.3 Transit-stub 모델

Transit-stub 모델[2]은 연동망의 그래프 모델을 생성하고 분석하는 패키지 GT-ITM의 한 부분으로서 상호 연결된 transit과 stub라는 계층적 구조의 특성에 대한 모델이다. 이 모델의 그래프가 생성되는 순서는 다음과 같다.

- 1) 각 노드가 transit 영역 전체를 나타내는 연결된 랜덤 그래프를 구성한다.
- 2) 그래프 내의 각 노드는 하나의 transit 영역의 백본 위상을 나타내는 또 다른 연결된 랜덤 그래프로 대체된다.
- 3) 각 transit 영역 안에 있는 각 노드는 그 노드에 첨부된 stub 영역을 표현하는 여러 개의 연결된 랜덤 그래프를 만들어 낸다.
- 4) 마지막으로 노드쌍 사이에 에지를 몇 개 추가한다. 그 중에는 transit 영역과 stub 영역을 연결하는 것도 있고, 서로 다른 두 stub 영역을 연결하는 것도 있다.

3.4 Tiers 모델

Tiers 모델[9]은 네트워크의 위상을 WAN, MAN, LAN의 계층 3레벨을 기본으로 하는 계층적 구조의 특성을 보이는 모델이다. WAN 계층은 랜덤하게 망을 구성하고, MAN과 LAN 계층은 최소 스페닝 트리를 계산하여 모든 에지들을 연결한다.

기존의 모델들은 네트워크 위상의 삭제나 소멸을 반영하지 않았기 때문에 정확한 모델이라고 할 수 없다. 그래서 위상의 삭제를 반영한 위상모델을 제안한다.

4. DEVS 모델링을 적용한 위상생성 알고리즘

4.1 위상생성 알고리즘

인터넷 위상은 생성만 되는 것이 아니라 부분적으로 소멸되기도 한다. 이러한 변화성과 계층적구조의 인터넷 위상의 특징을 반영한 모델을 본 논문에서 제안한다. 시뮬레이션 알고리즘은 <표 1>과 같다.

<표 1> 모델별 시뮬레이션 알고리즘

모델	1단계	2-1단계
	Core 노드 생성	Sub 노드 추가
A	랜덤	랜덤
B	랜덤	점진적 증가 방식
C	랜덤	heavy-tailed 방식
D	랜덤	heavy-tailed 방식

2-2단계	3단계	4단계
링크 생성	노드 삭제	고립 노드 연결
waxman	랜덤	waxman
차수 기반 방식	차수기반 (차수가 낮은 순)	차수 기반 방식
차수 기반 방식	차수기반 (차수가 낮은 순)	차수 기반 방식
차수 기반 방식	차수기반 방식 (차수가 높은 순)	차수 기반 방식

4.1.1 코어 노드 생성 과정

코어 노드 생성 과정은 우리나라 1998년 40개의 우리나라의 인터넷 AS 위상을 생성하기 위한 것으로써, 코어 네트워크를 Waxman 모델 네트워크 생성방법과 동일하게 랜덤하게 생성한다. 코어 네트워크의 위상정보와 링크 정보를 저장한 후 A, B, C, D의 모델 마다 위상 생성 알고리즘을 다르게 적용하였다.

4.1.2 노드 추가 과정

노드의 추가 과정은 코어 망에서 새로운 노드를 추가하는 과정으로써 새로운 노드가 생성되어 기존의 네트워크에다 서브 노드를 추가하는 방식이다. 이 경우 노드의 배치를 3가지 방법을 사용하였는데, 첫 번째 방법은 추가되는 전체 노드의 수를 랜덤 함수를 이용하여 네트워크 내의 랜덤한 위치를 정해서 한꺼번에 배치를 한다. 두 번째 방법은 추가되는 노드들을 한 번에 하나씩 배치하는 것인데,

Barabasi-albert 모델의 점진적 증가 방법을 이용하였다. 이 경우, 기존의 노드와 중복된 위치는 배제한다. 세 번째 방법은 heavy-tailed[10, 11] 방식으로써 코어 노드 주변에 서브 노드들이 생성될 확률을 높여 군집성이 나타나도록 한 방식이다.

4.1.3 링크 생성 과정

링크 과정은 노드 추가 과정에서 생성된 노드들을 연결하는 과정이다. 노드를 추가하는 방법에서 첫 번째 방식에서는 Waxman 연결 확률 공식을 사용하여 각각의 노드를 연결하였다. 두 번째와 세 번째 방식에서는 Barabasi-albert 모델의 우선적 연결 방식을 사용하였다.

4.1.4 노드 삭제 과정

노드 삭제 과정은 링크가 모두 생성된 후에 노드를 삭제하는 과정이다. 노드를 삭제하는 방법에서는 3가지 방식을 사용하였다. 첫 번째는 랜덤하게 삭제하는 방식이고, 두 번째는 해당 노드의 차수를 계산하여 차수가 낮은 노드가 높은 삭제 확률을 가지는 방식이고, 세 번째는 차수가 높은 노드가 삭제될 확률이 높은 방식이다. 이를 위하여 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$P_i = \frac{d_i}{\sum_{k \in V} d_k} \quad (7)$$

4.1.5 고립 노드 연결 과정

고립노드 연결 과정은 링크 과정과 같은 방식으로, 두 가지 방식인 Waxman 연결 확률 공식과 Barabasi-albert 모델의 우선적 연결 방식을 사용하였다.

4.2 DEVS 정형화 기법을 적용한 TG (Topology Generator) 모델

DEVS 정형화 기법을 기반으로 시간의 흐름에 따라 입력, 상태, 출력, 상태전이 등을 추

상화하여 TG 모델을 모델링하였다. 입력사건의 집합 X는 네트워크 크기, 코어 노드 개수, 서브 노드 개수, 랜덤 씨드값, Waxman 조정 변수로 구성된다. 순차적 상태의 집합 S는 A, B, C, D 모델의 순서로 시뮬레이션되는 것으로 설계하였다. 출력사건의 집합 Y는 각 모델 별 네트워크 분포도, 노드간의 링크 행렬, 노드정보, 경과시간으로 구성하였다. TG 모델은 추상화된 집합과 함수들의 크로스 프로덕트(cross product)로써 표현한다. TG 모델은 다음과 같다.

$$TG = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$$

여기에서

$$X = \{\{N\}, C, Sub, R, \{W\}\}, x \in X$$

여기에서,

$$N = \{X_{siz}, Y_{siz}\}$$

C : 코어 노드의 수

Sub : 서브 노드의 수

R : 랜덤 씨드 값

W = {alpha, beta} : Waxman 조정변수

$$S = \{SA_1, SA_2, SA_3, SA_4, SA_5, SB_1, SB_2, SB_3, SB_4, SB_5, SC_1, SC_2, SC_3, SC_4, SC_5, SD_1, SD_2, SD_3, SD_4, SD_5\}, s \in S$$

여기에서,

$$SA_1 = \{X\} \times ConnectWAX()$$

여기에서, ConnectWAX() : Waxman 링크 생성 함수

$$SA_2 = \{SA_1\} \times AddRandom()$$

여기에서, AddRandom() : 랜덤 노드 추가 함수

$$SA_3 = \{SA_2\} \times ConnectWAX()$$

$$SA_4 = \{SA_3\} \times DelNodeRandom()$$

여기에서, DelNodeRandom() : 랜덤 노드 삭제 함수

$$SA_5 = \{SA_4\} \times ConnectWAX()$$

$$SB_1 = \{X\} \times ConnectWAX()$$

$$SB_2 = \{SB_1\} \times AddIncrement_E()$$

여기에서, AddIncrement_E() : 점진적 증가 방식의 링크 생성 함수

$S_{B3} = \{S_{B2}\} \times \text{ConnectDegree}()$
 여기서, $\text{ConnectDegree}()$: 차수기
 반 노드 추가 함수

$S_{B4} = \{S_{B3}\} \times \text{DelNodeDegree}()$
 여기서, $\text{DelNodeDegree}()$: 차수기
 반 노드 삭제 함수

$S_{B5} = \{S_{B4}\} \times \text{ConnectDegree}()$

$S_{C1} = \{X\} \times \text{ConnectWAX}()$

$S_{C2} = \{S_{C1}\} \times \text{AddIncrement}()$
 여기서, $\text{AddIncrement}()$: 거리 +
 차수기반 노드 추가 함수

$S_{C3} = \{S_{C2}\} \times \text{ConnectDegree}()$

$S_{C4} = \{S_{C3}\} \times \text{DelNodeDegree}()$

$S_{C5} = \{S_{C4}\} \times \text{ConnectDegree}()$

$S_{D1} = \{X\} \times \text{ConnectWAX}()$

$S_{D2} = \{S_{D1}\} \times \text{AddIncrement}()$

$S_{D3} = \{S_{D2}\} \times \text{ConnectDegree}()$

$S_{D4} = \{S_{D3}\} \times \text{DelNodeDegree}(\text{DESC})$
 여기서, $\text{DelNodeDegree}(\text{DESC})$:
 코어노드 삭제 함수

$S_{D5} = \{S_{D4}\} \times \text{ConnectDegree}()$

$Y = \{\{NMap\}, \{Mat\}, \{NI\}\}, y \in Y$

여기에서,

$NMap = \{\text{OnBtnA_pic}, \text{OnBtnB_pic},$
 $\text{OnBtnC_pic}, \text{OnBtnD_pic}\}$

$Mat = \{A_{mat}, B_{mat}, C_{mat}, D_{mat}\}$

$NI = \{\text{NodeNum}, X_{pos}, Y_{pos},$
 $\text{LinkedNode}, \text{LinkEA}\}$

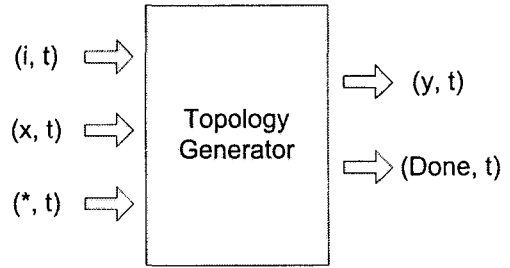
$\delta_{int}(s) = s'$

$\delta_{ext}(s, e, x) = s'$

$\lambda : S \rightarrow Y$, 출력함수

Ta : 시간의 경과 함수

<그림 1>은 TG모델의 시뮬레이터이다. 각각 초기화 메시지 (i, t), 입력 메시지 (x, t), 상태 변화 메시지(*, t), 출력 메시지(y, t), 완료 메시지(Done, t)를 주고 받으며, 통신을 하는 시스템의 동작을 나타낸다.

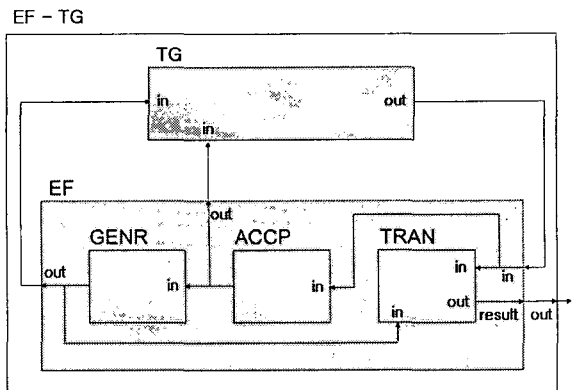


<그림 1> TG모델의 시뮬레이터

<그림 2>는 시뮬레이션 하기 위한 EF - TG 구조이다. 이는 DEVS 정형화기법을 사용하여 인터넷 위상 생성기를 제작하고 시뮬레이션하기 위한 기반작업이다.

EF(experimental frame)는 TG 모델과 연결된 coupled 모델로서 입력 세그먼트를 발생시키고, 시뮬레이션의 흐름을 제어하고, 시뮬레이션된 내용과 결과를 생성하는 역할을 한다.

이와 같이 DEVS 정형화 기법을 적용하여 위상생성 알고리즘을 모델링 하였으며, 이를 토대로 위상생성기를 구현하였다.



<그림 2> EF - TG 구조

5. 시뮬레이션

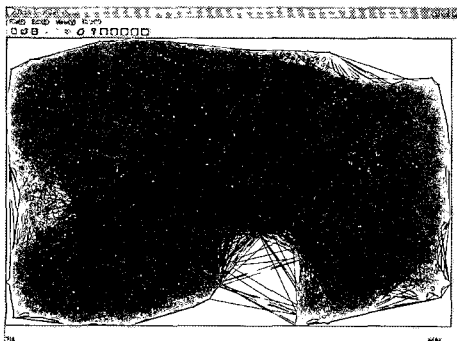
본 논문에서는 제안된 인터넷 위상 생성기를 DEVS 정형화기법으로 정형화하고 구현하여 시뮬레이션 하였다. 데이터 집합은 KRNIC

에서 발표한 AS번호 할당 수를 토대로 하였다[13]. 1998년까지 번호를 부여받은 40개의 AS를 코어 노드로 사용하고, 이후 2004년도 5월 까지 할당받은 530개 중에서 코어 노드 수를 뺀 490개를 서브 노드로 사용하여 시물레이션 하였다.

<표 2> 시물레이션 환경

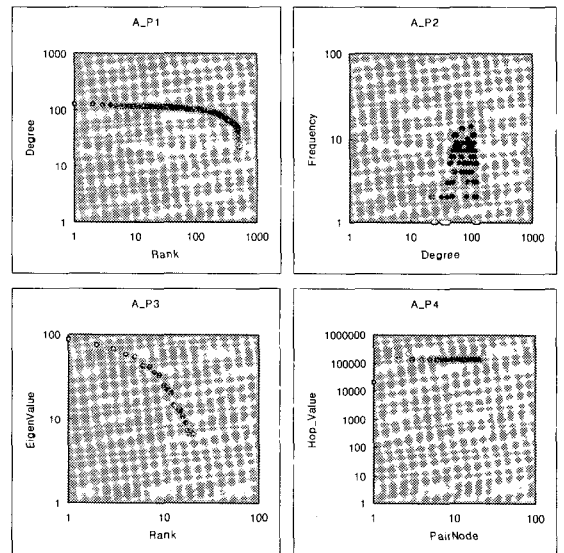
네트워크 크기	1000 × 650
코어 노드 개수	40
서브 노드 개수	490
랜덤 씨드 값	8
Waxman 조정변수 α	0.75
Waxman 조정변수 β	0.047

여기에서 10가지 좌표가 다른 네트워크를 생성하기 위하여 랜덤 씨드(random seed) 값은 0부터 9까지 총 10개의 랜덤 값을 갖는다. Waxman 조정변수는 코어 노드의 평균 degree가 3.9[2]가 되도록 조정하여, α 는 0.75, β 는 0.04로 하였다. 시물레이션 환경은 <표 2>와 같다. 각 알고리즘별 위상의 모양을 그림으로 나타내고, 그에 대한 위상의 특성을 log-log 눈금에 나타내어 power-law (1), (2), (3), (4) 그래프로 표현하였다. 비교방식은 상관계수를 사용하여 1과 -1의 근접정도로 평가하였다.



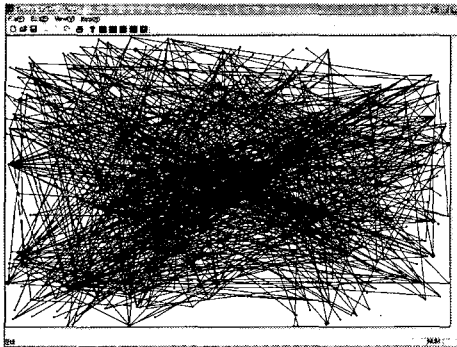
<그림 3> A 모델의 망 형태

A 모델은 Waxman 연결방식으로 490개의 서브 노드를 추가 하였다. A 모델의 망 형태는 <그림 3>과 같다. 고정된 크기의 지역에서 노드를 계속 추가하면서 링크를 생성하므로, 링크의 개수가 매우 많은 망의 형태가 나왔다. 이에 대한 power-law 그래프는 <그림 4>와 같다. 각각의 상관계수는 -0.8008, 0.2957, -0.9677, 0.6131 이다. 코어 네트워크와 마찬가지로 power-law (1), (2), (4)가 성립하지 않고, power-law (3)만 성립하는 것을 볼 수 있다. B 모델은 Barabasi-albert 모델 방식으로 490개의 서브 노드를 추가 하였다.

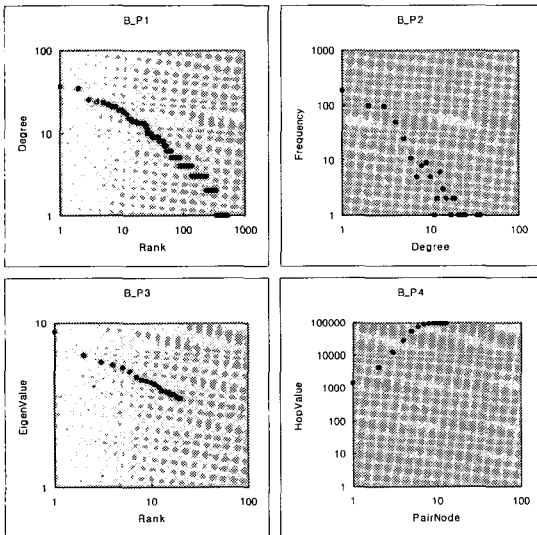


<그림 4> A 모델의 power-law 그래프

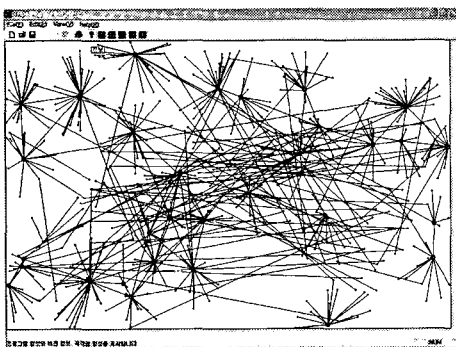
B 모델의 망 형태는 <그림 5>와 같다. 거리를 고려하지 않고 차수가 높은 노드에 에지가 연결될 확률만 고려한 망의 형태를 보인다. 노드들 간의 거리를 고려하지 않았기 때문에 에지의 길이가 매우 긴 망의 형태가 나왔다. 이에 대한 power-law 그래프는 <그림 6>과 같다. 각각의 상관계수는 -0.9585, -0.9509, -0.9941, 0.9629 이고, power-law (1), (2), (3), (4) 모두 성립함을 볼 수 있다.



<그림 5> B 모델의 망 형태



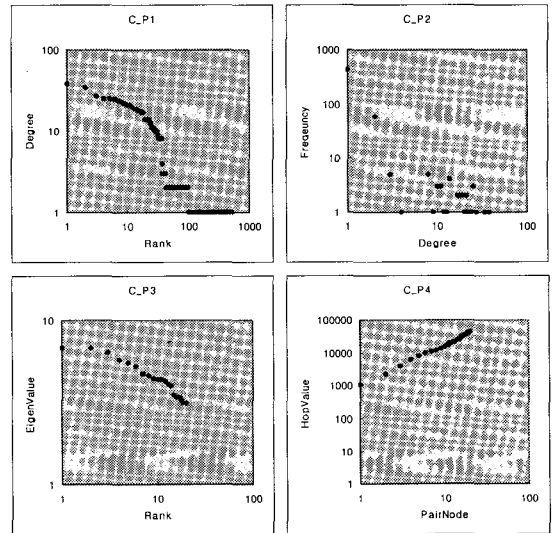
<그림 6> B 모델의 power-law 그래프



<그림 7> C 모델의 망 형태

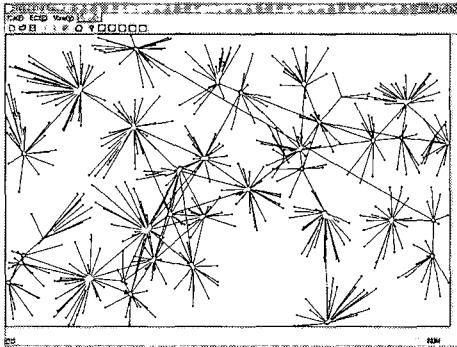
C 모델은 heavy-tailed 모델 방식으로 490 개 서브 노드를 추가 하였다. 에지 연결 방식은 거리를 고려하여 가까운 코어에 연결될 확률이 높은 방식을 사용하였다. C 모델의 망의 형태는 <그림 7>과 같다.

A, B 모델은 계층적 알고리즘을 적용하였으나 그 특징을 찾을 수 없는 망의 형태를 보였지만, C 모델은 계층적 망의 특징인 코어 노드에 대한 지역적 의존성이 반영된 망의 형태를 보인다. 이에 대한 power-law 그래프는 <그림 8>과 같다. 각각의 상관계수는 -0.8742 , -0.7973 , -0.9533 , 0.9920 이다. power-law (1), (2)는 B모델의 수치와 비교해서는 떨어지지만, power-law를 따르는 것으로 분석되었고, power-law (3), (4)는 정확하게 power-law가 성립된다.



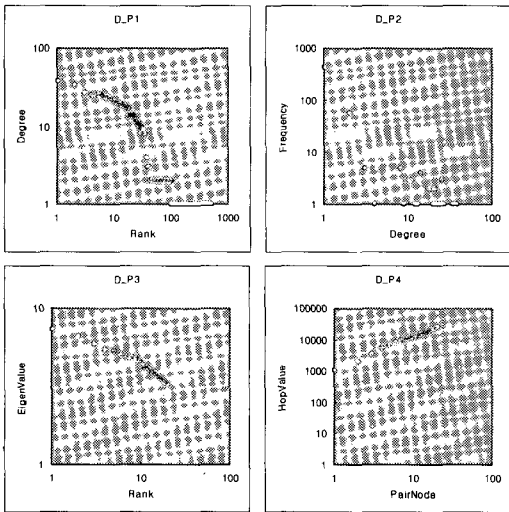
<그림 8> C 모델의 power-law 그래프

D 모델은 C 모델과 같은 알고리즘에서 삭제 단계의 알고리즘을 다르게 하였다. 코어 망에 연결되어있는 서브 노드가 일정비율 이상 없어진 노드에 대하여 코어노드가 없어지는 삭제 알고리즘을 적용하였다. C 모델의 망의 형태는 <그림 9>와 같다.



<그림 9> D 모델 망의 형태

C 모델과 마찬가지로 계층적 망의 특징인 코어 노드에 대한 지역적 의존성이 반영된 망의 형태를 보인다. 이에 대한 power-law 그래프는 <그림 10>과 같다. 각각의 상관계수는 -0.8742, -0.7973, -0.9788, 0.9965 이다. power-law (1), (2) 역시 B 모델의 수치와 비교해서는 떨어지지만, power-law를 따르는 것으로 분석되었고, power-law(3), (4)는 정확하게 power-law가 성립된다.



<그림 10> D 모델의 power-law 그래프

6. 결론

본 논문에서는 모델링 방법에서 DEVS 형식론을 적용하여 계층적 구조의 특징과 변화성을 반영한 위상생성기를 구현하였다. DEVS 정형화 기법을 사용하여, 모델링 단계에서 보다 정확하게 추상화된 인터넷 위상 모델을 추출할 수 있다. 인터넷은 시간의 흐름에 따라 매우 큰-규모로 확대되어 가고 있는데, 이러한 특성을 분석해 보면 인터넷 위상을 구성하고 있는 노드들이 증가만 하는 것이 아니라 시간적 특성과 지역적 특성, 그리고 환경에 의해 노드들은 삭제와 추가를 반복하면서 확장되고 있다. 이러한 인터넷의 변화특성을 반영하기 위해 본 논문에서는 계층적 구조의 특징과, 위상의 추가, 삭제, 링크의 추가, 링크의 삭제, 각 위상의 상태 변화를 반영한 위상생성기를 구현하였다. 그리고 모델링하는 방법에서 DEVS 형식론을 적용하여 모델을 정형화해서 구현, 비교 분석하였다. 그 결과로 A 모델은 power-law (3)만을 따르고 B, C, D 모델은 power-law (1),(2),(3),(4) 모두를 따르는 것을 확인하였다. 또한 A, B 모델은 계층적 알고리즘을 적용하였으나 그 특징을 찾을 수 없는 망의 형태를 보였지만 C, D 모델은 계층적 망의 특징인 코어 노드에 대한 지역적 군집성이 반영된 망의 형태가 나타남을 확인하였다.

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] Zegura, E., Calvert, K. and Bhattacharjee, S., "How to Model an Internetwork," In Proceedings of IEEE INFOCOM 1996, Vol. 2, pp. 594-602, April 1996.
- [3] Bernard. P. Zeigler, Herbert Praehofer and T. G Kim, "Theory of Modeling and Simulation," 2nd Ed., Academic Press, 2000
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] W. Aiello, F. Chung and L. Lu, "A Random Graph Model for Massive Graphs," In Proceedings of the Thirty-Second Annual ACM Symposium on Theory of Computing pp. 171-180, 2000.
- [7] B. M. Waxman, "Routing of Multipoint Connections," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 6, No. 9, pp. 1617-1622, December 1998.
- [8] A. L. Barabasi and R. Albert, "Emergence of Scaling in Random Network," Science, Vol. 286, pp. 509-512, October 1999.
- [9] M. Doar, "A Better Model for Generating Test Networks," In Proceedings of IEEE GLOBECOM, November, pp. 86-93, 1996.
- [10] Medina, A., Lakhina, A., I. Matta, and J. Byers, "BRITE: Universal Topology Generation from a Users Perspective," Technical Report BUCS-TR-2001-003, Boston University, 2001.
- [11] A. L. Barabasi, R. Albert, and Hawoong Jeong, "Mean-field theory for scale-free random networks," Physica A, Vol 272, pp. 173-187, 1999.
- [12] 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.
- [13] http://isis.nic.or.kr/sub01/sub01_index.html?sub=03A

주 작 성 자 : 손 주 항

논문투고일 : 2004. 07. 05

논문심사일 : 2004. 07. 27(1차), 2004. 07. 28(2차),
2004. 08. 03(3차)

심사판정일 : 2004. 08. 03

○ 저자소개 ○



손주항

2002년 남서울대학교 컴퓨터학과 학사

2002년 ~ 현재 송실대학교 컴퓨터학과 석사과정

연구분야: DEVS 모델링, 인터넷 망 분석, 무선이동통신 프로토콜



박상준

1996년 동국대학교 전자계산학과 학사

1998년 송실대학교 컴퓨터학과 석사

2002년 송실대학교 컴퓨터학과 박사

2000년 ~ 2002년 한국정보보호진흥원 시스템기술팀 연구원

2002년 ~ 2003년 런던대 ISG 박사후과정

2003년 ~ 현재 송실대학교 정보미디어기술연구소 전임연구원

연구분야: B3G 이동통신, 생존성기반 네트워크 시스템, 인터넷 망 분석, 유비쿼터스 디지털방송



한정안

1996년 경원대학교 전자계산학과 학사

1998년 송실대학교 대학원 컴퓨터학과 석사

1998년 ~ 현재 송실대학교 컴퓨터학과 박사과정

연구분야: 이동통신 프로토콜, ad-hoc 네트워크, 무선 센서 네트워크, 인터넷 망 분석



김형중

1996년 성균관대학교 정보공학과 학사

1998년 성균관대학교 정보공학과 석사

2001년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학 박사

2001년 ~ 현재 한국정보보호진흥원 기반시설보호단 선임연구원

연구분야 : 취약성분석, 네트워크보안, 침입감내, 지식기반시뮬레이션 방법론, 인터넷 망 분석

● 저자소개 ●



이종찬

1994년 군산대학교 컴퓨터학과 학사

1996년 숭실대학교 대학원 전자계산학과 석사

2000년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 박사

2000년 ~ 현재 한국전자통신연구원 개방형액세스연구팀 선임연구원

연구분야 : 이동체 추적, 무선 멀티미디어, B3G 시스템 구조, 인터넷 망 분석



김병기

1977년 서울대학교 전자공학과 학사

1979년 한국과학기술원 전산학과 석사

1997년 한국과학기술원 전산학과 박사

1982년 ~ 현재 숭실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부 교수

2003년 ~ 현재 숭실대학교 정보미디어기술연구소 소장

연구분야: 유비쿼터스 디지털방송, 인터넷 망 분석, 대용량 무선 네트워크