

서비스경계라인 속성을 이용한 스페닝 트리 집단화

권 소 라[†] · 전 창 호^{††}

요 약

본 논문은 망 상태 정보를 효율적으로 집단화하는 방법을 제시하였다. 이것은 비대칭 망에서 링크의 QoS(Quality of Service) 파라미터가 두 개 이상일 때 기존 집단화 방법들이 갖는 정보의 부정확성을 줄이기 위한 방법이다. 제안 방법은 공간 복잡도를 줄이기 위해 다단계 토폴로지 변형 시 토폴로지를 구성하는 논리 링크들의 유사성을 측정, 유사한 링크들의 그룹화 후 통합 과정을 통해 논리 링크들의 정보 왜곡을 줄인다. 이 방법은 서비스경계라인을 논리 링크로 갖는 풀 메쉬 토폴로지를 스페닝 트리 토폴로지로 변형 시 적용한다. 또한 실험을 통하여 기존 방법 보다 집단화된 정보의 정확도와 질의 응답 정확도에서 나은 성능을 가짐을 증명하였다.

키워드 : 토폴로지 집단화, 서비스경계라인, 스페닝 트리, 유사성, 통합

Spanning Tree Aggregation Using Attribute of Service Boundary Line

Sora Kwon[†] · Changho Jeon^{††}

ABSTRACT

In this study, we present a method for efficiently aggregating network state information. It is especially useful for aggregating links that have both delay and bandwidth in an asymmetric network. Proposed method reduces the information distortion of logical link by integration process after similar measure and grouping of logical links in multi-level topology transformation to reduce the space complexity. It is applied to transform the full mesh topology whose Service Boundary Line (SBL) serves as its logical link into a spanning tree topology. Simulation results show that aggregated information accuracy and query response accuracy are higher than that of other known method.

Keywords : Topology Aggregation, Service Boundary Line, Spanning Tree, Similarity, Integration

1. 서 론

토폴로지 집단화는 망 내의 상태 정보를 추상화 또는 요약화하는 기술로, 상태 정보 크기를 줄여 외부 망에 전달함으로써 확장성뿐만 아니라 망의 상세 정보를 외부에 드러내지 않으므로 보안성도 보장한다 [1]. 집단화 시 고려 할 항목은 망의 특성과 집단화할 링크의 QoS 파라미터 개수다. 망의 특성은 대칭 망과 비대칭 망으로 나뉘며, QoS 파라미터 개수는 단일과 다중 파라미터로 나뉜다. 초기 집단화 방법들은 대칭 망에 단일 QoS 파라미터를 가진 링크들의 집단화에 초점을 맞췄다. 하지만 망의 비대칭화와 다양한 애플리케이션 등장으로 QoS 요구 사항들이 복잡해지면서 기존 방법들로는 한계가 있다.

Lui는 비대칭 망에서 지연과 대역폭을 동시에 링크 QoS

파라미터로 갖는 경우의 집단화를 제안하였다 [2]. 이것은 다단계 토폴로지 변형을 이용한 방법으로 집단화 정보의 공간 복잡도를 줄이기 위해 물리적 토폴로지를 풀 메쉬의 논리적 토폴로지로 변형 후 다시 스타 토폴로지로 변형한다. 스타로의 변형은 비대칭 망의 적합성뿐만 아니라 $O(N)$ 의 공간 복잡도를 가짐으로써 확장성도 보장한다 [1]. 하지만 노드 수가 n 개인 경우 풀 메쉬의 $n(n-1)$ 개 링크가 n 개의 링크로 감축되면서 발생하는 많은 양의 정보 누락은 집단화 정보의 부정확성을 더욱 증가시킨다. 따라서 스타 관련 연구들은 이러한 문제를 줄이기 위해 토폴로지를 구성하는 논리 링크들의 상태 정보 정확성에 초점을 맞추고 있다. 최근 [3]에서는 서비스경계라인 [4]을 논리 링크로 갖는 풀 메쉬를 스타로 변형하는 집단화 방법을 제안하였다. 이 방법은 서비스경계라인의 파라미터 속성 중 스타 링크 특성을 따를 수 있는 속성을 정의, 스타로의 변형 과정에 적용함으로써 집단화 정보의 정확성을 높였다.

이에 본 논문에서는 서비스경계라인 속성을 이용한 집단화의 또 다른 접근 방법인 스페닝 트리 기반의 집단화 방법

[†] 정 회 원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
^{††} 종신회원 : 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수
논문접수 : 2011년 9월 9일
심사완료 : 2011년 9월 19일

을 제안하다. 스페닝 트리는 $\mathcal{O}(M)$ 의 공간 복잡도와 대칭 망에서는 $(n-1)$ 개, 비대칭 망에서는 $2(n-1)$ 개 링크를 가진 풀 메쉬와 스타 사이의 중간적인 집산화 방법이다. 이것은 대칭망에서 매우 높은 정보 정확성을 갖지만 비대칭 망에서는 대역폭 중심의 집산화로 지연 왜곡 문제를 갖는다. 따라서 본 논문에서는 대역폭과 지연을 동시에 QoS 파라미터로 갖는 경우 집산화 정보의 정확성을 높이기 위해 서비스경계라인을 논리 링크로 갖는 풀 메쉬를 스페닝 트리로 변형하는 방법을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 토폴로지 변형 방법에 대해 알아보고 3장에서는 시뮬레이션으로 제안 기법의 효율성을 알아본다. 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

2. 서비스경계라인을 기반한 스페닝 트리 집산화

2.1 유사성 측정 변수

서비스경계라인은 경로들의 상태 정보를 기하학적 집산화 방법[5]을 이용해 간략하게 나타낸 것이다. 이것은 집산화 과정에서 몇몇 경로 가중치들의 소멸로 높아지는 정보 왜곡을 줄이기 위해 주요 경로 가중치와 집산화 정보로 구성되어 있다. [4]에서는 주요 경로 가중치를 가외치(outlier)로 정의하였으며 이것의 3가지 선정 방법을 제시하였다. 이에 본 논문에서는 기억 공간과 정보 정확성을 고려해 두 번째 선정방법을 기준으로 가외치를 선정한다. 따라서 서비스경계라인의 파라미터는 $((d_i, w_i), (wd_{avg}, hd_{avg}), l, m)$ 로 $l = \{(d_{j+i}, w_{j+i}) \mid df_{avg} \cdot T \geq df_j, i=1, \dots, n-1\}$ 다. 여기서 첫 번째 파라미터 (d_i, w_i) 는 최소 지연과 대역폭을 가진 특정 경로의 가중치다. (wd_{avg}, hd_{avg}) 는 x 축은 지연, y 축은 대역폭으로 하는 2차원 좌표 상에 점(point)들로 나타낸 경로 가중치들의 거리 간격들을 평균화한 것으로 wd_{avg} 는 너비 값들의 평균이며, hd_{avg} 는 높이 값들의 평균이다. 세 번째 파라미터 l 은 가외치로 선정 기준은 $df_{avg} \cdot T \geq df$ 다. 마지막 파라미터 m 은 좌표상의 전체 경로 가중치 개수다.

서비스경계라인 통합은 다수 개의 서비스경계라인들을 하나의 서비스경계라인으로 나타냄으로써 망에서 지원 가능한 자원 정보를 간략화한다 [3]. 통합 시 고려해야 하는 것은 서비스경계라인들의 유사성이다. 이것은 근사한 서비스경계라인들의 통합으로 정보 왜곡을 줄이기 위한 척도다. 하지만 불규칙한 계단 모양을 가진 서비스경계라인들의 유사성을 측정하기는 어렵다. 따라서 서비스경계라인들의 대략적 유사성을 비교한다. 여기서 대략적 유사성이란 서비스경계라인을 직선화한 후 직선화된 선들의 기울기와 거리 편차로 유사성을 측정하기 때문이다. 식 (1)은 서비스경계라인의 파라미터를 이용한 직선화한 식이다. 이때 r_i, s_i, t_i 는 $r_i = w_{m-1}w_1, s_i = -(d_{m-1}d_1), t_i = d_{m-1}w_1 - d_1w_{m-1}$ 다.

$$r_i x + s_i y + t_i = 0 \tag{1}$$

직선화된 서비스경계라인들의 유사성 측정 변수는 sf (similar factor)과 mdf (multi deviation factor)다. sf 는 두 개의 선들의 유사성을, mdf 는 다 수개의 선들의 유사성을 비교한다. 식 (2)의 sf 는 두 개의 선들 사이의 기울기 차 (θ) 와 시작점 거리(d)의 합이다. 이 값은 작을수록 두 개의 서비스경계라인은 유사한 서비스 영역을 갖는다. 예를 들어 직선화된 서비스경계라인이 각각 $r_1x_1+s_1y_1+t_1=0$ 와 $r_2x_2+s_2y_2+t_2=0$ 인 경우 두 선의 기울기 차 θ 는 $|\theta_1 - \theta_2|$, 거리 d 는 $\sqrt{(x_1-x_2)^2 + (y_1-y_2)^2}$ 다. θ_i 는 i 번째 선의 기울기로 r_i / s_i 와 같다.

$$sf = \theta + d \tag{2}$$

식(3)은 다수 개의 선들의 유사성 계산식으로 sf 들의 표준편차로 sf 는 $\theta_i + d_i$ 며, 노드 수 n 에 대해 s 는 $n(n-1)/2 - l$ 다. 유사도 범위 조절 변수 C 는 0보다 큰 정수로 기본 값은 1이다.

$$mdf = C \times \frac{1}{1+f} \left\{ f = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=2}^s (sf_i - sf_{avg})^2} \right. \tag{3}$$

C is any integer greater than 0

2.2 스페닝 트리 집산화 알고리즘

<표 1>은 n 개의 노드와 비대칭 양방향 논리 링크가 서비스경계라인인 풀 메쉬 토폴로지를 스페닝 트리로 변형하는 알고리즘이다. 4단계 처리 과정의 이 알고리즘은 유사한 가중치를 갖는 링크들의 통합 과정을 거쳐 집합화를 수행한다.

<표 1> 스페닝 트리 집산화 알고리즘

1 단계.	비대칭 양방향 링크의 풀 메쉬를 두 개의 단방향 풀 메쉬로 분할
2 단계.	스페닝 트리 생성, sf 로 스페닝 트리를 구성하는 $(n-1)$ 개의 대표 링크 선정
3 단계.	대표 링크와 유사한 링크 가중치를 가진 비대표 링크 검색 후 그룹핑
4 단계.	그룹 내 링크들의 mdf 값에 따라 서비스경계라인 통합

첫 번째는 비대칭 양방향 링크의 풀 메쉬를 단방향 링크를 가진 두 개의 풀 메쉬로 분할한다. 분할 특성은 DSTA[6]를 따르며 분할 기준은 서비스경계라인의 마지막 파라미터인 제어점 개수(m)다. 즉, 제어점 개수의 합이 최소가 되는 링크들로 구성된 풀 메쉬와 최대가 되는 링크들로 구성된 풀 메쉬로 나눈다. 두 번째는 분할된 각각의 풀 메쉬의 스페닝 트리 생성이다. 이를 위해 풀 메쉬의 $n(n-1)/2$ 개 링크들 중 루핑을 일으키지 않는 $(n-1)$ 개의 링크 선정이 필요하다. 본 논문에서는 스페닝 트리를 구성하는 링크를 대표 링크라 한다. 대표 링크들의 가중치는 중복성이 없어야 한다. 따라서 대표 링크 선정은 다음과 같다. 먼저 풀 메쉬의 링크들 중 임의로 한 링크를 기준으로 $n(n-1)/2 - 1$ 개 링크들의 sf 를 산출한다. 기준 링크는 비교 횟 수를 $\mathcal{O}(n)$ 으로 유지하기 위한 것이므로 특정 조건을 만족할 필요는 없으며 본 논문에서는 최소 지연과 대역폭을 가진 링크를 기준 링크로 한다. 이렇게 산출된 sf 값들 중 최소 sf 와 최대 sf 를 가진 링크를 대표 링크로 선정 후 이 두 링크의 sf 를 제외한 나머지 링크들의 sf 평균치를 통해 다음 대표 링크를 선정한다. 만일 sf

평균치가 중복되거나 존재하지 않을 경우 sf 평균치와 최소 거리 차를 가진 링크를 대표 링크로 선정하며 이 과정은 $(n-1)$ 개의 링크가 선정 될 때까지 반복한다. 세 번째는 비대표 링크 중 대표 링크와 유사한 링크 가중치를 가진 링크를 찾아 그룹핑한다. 식(4)의 r_i 는 대표링크그룹 R 의 i 번째 대표 링크며 nr_j 는 비대표 링크그룹 NR 의 j 번째 비대표 링크로 r_i 와 최소 거리를 가진 nr_j 는 i 번째 그룹 GR_i 에 포함된다. 이때 i 는 1에서 대표 링크 수만큼, j 는 비대표 링크 수만큼 증가하며 생성되는 그룹 수는 $(n-1)$ 개다.

$$GR_i = r_i \cup \text{MIN}\{d(r_i - nr_j)\} \quad \text{where } r_i \in R \text{ and } nr_j \in NR \quad (4)$$

네 번째는 그룹핑한 다수 개의 링크들을 하나의 링크로 통합한다. 통합 방법은 그룹 내의 링크들의 mdf 값에 따라 결정한다. 유사성이 높은 링크들은 블록 제어점 통합[3]을 유사성이 낮은 링크들은 오목 제어점 통합[3]을 수행한다. 예를 들어 C 가 1일 경우 mdf 값의 범위는 0과 1사이다. 이때 mdf 가 0~0.5에 있다면 서비스경계라인들은 유사성이 낮으며, 0.6~1에 있다면 유사성이 높은 것으로 가정 시, mdf 가 0.6이상이면 블록 제어점 통합을, 0.5이하이면 오목 제어점 통합을 수행한다. 유사성 범위 조절은 제어 변수 C 로 가변적으로 지정한다.

3. 성능 분석

이번 장에서는 집단화 정보의 왜곡 정도와 질의 응답 정확도로 제안 방법과 기존 방법의 성능을 비교한다. 실험은 Intel Pentium IV 2.0GHz CPU, 3.2 GB DDR DRAM 하드웨어 환경을 가지는 우분투 리눅스 v.8.10 운영체제하에서 수행하였으며, 시뮬레이터 구현 프로그램은 C++이다. 제안 방법(SBL_{span})과 성능비교가 될 기존 방법은 커브피팅계단을 기반한 스페닝 트리(CFS_{span} [7])다. (그림 1와 2)에서는 스페닝 트리 뿐만 아니라 [3]의 실험 결과도 같이 나타냄으로써 스페닝 트리와 스타의 정보 정확도를 함께 비교하였다. 따라서 SBL_{star} [3]는 서비스경계라인의 스타며, CFS_{star} [7]는 커브피팅계단의 스타 집단화다.

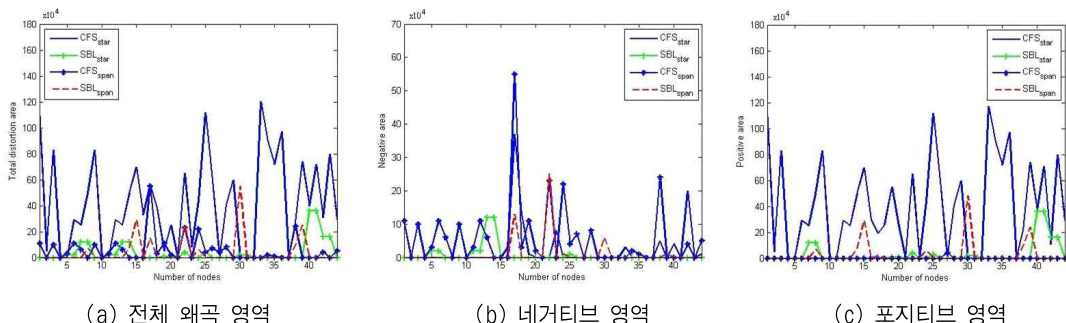
(그림 1)는 왜곡 영역을 측정된 결과로 (그림 1(a))는 전체 왜곡 영역, (그림 1(b))와 (그림 1(c))는 네거티브 영역과 포지티브 영역이다. 네거티브 영역은 실제 서비스가 가능함에도 서비스 불가능으로 나타난 영역이며, 포지티브 영역은 서비스가 불가능함에도 서비스 가능으로 나타나는 영역이다. 전체 왜곡 영역은 포지티브 영역과 네거티브 영역의 합

이다. 실험 환경은 망의 개수는 10개, 망 내의 노드 수는 1~45개로 랜덤하게 배치한다. 망 내의 토폴로지는 Waxman 모델[8]을 따라 노드 차수는 평균 4며 노드의 10%가 경계 노드다. 노드를 연결하는 링크의 지연과 대역폭은 100~1,000 사이의 지수분포를 따른다.

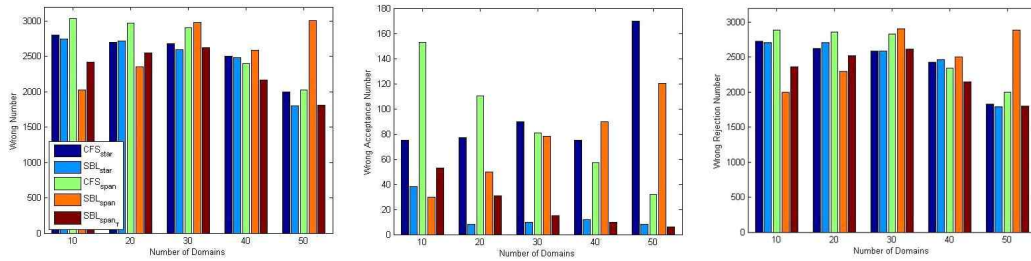
위 실험 결과 SBL_{span} 는 포지티브 영역에서 특정 부분을 제외하고 대체적으로 CFS_{span} 와 유사한 왜곡 영역을 갖는 반면 네거티브 영역에서는 CFS_{span} 보다 작은 왜곡 영역을 가짐으로써 낮은 정보 왜곡을 가진다. 또한 스타와 함께 비교한 정보 왜곡은 $SBL_{span} > CFS_{span}$, $SBL_{star} > CFS_{star}$ 로, CFS_{span} 와 SBL_{star} 은 유사한 정보 정확성을 보인다. 하지만 스타와 스페닝 트리의 링크적 구성을 고려한다면 SBL_{star} 가 CFS_{span} 보다 정보 정확성이 높다. 또한 SBL_{span} 뿐만 아니라 CFS_{span} 모두 포지티브나 네거티브 영역에서는 0인 부분이 많다. 이것은 두 방법 모두 공통 서비스 가능 영역에 초점을 맞춘 알고리즘을 기반으로 하기 때문이며 특히 SBL_{span} 는 서비스경계라인들의 낮은 유사성으로 오목 제어점 중심의 통합이 주요 원인이다. 따라서 영역 값이 0이란 결과는 제공 가능한 서비스 영역의 소멸을 의미하기도 하므로 반드시 정보 정확성이 높다고 볼 수는 없다.

아래 (그림 2)는 송신 노드들의 QoS 요구 질의에 대한 응답 정확도를 측정된 결과다. 실험 환경은 노드를 300개 생성 후 해당 노드들을 최소 10개에서 최대 50개의 망 내에 랜덤하게 분포시켰으며 망 내의 토폴로지는 Waxman 모델을 따른다. 노드 연결 링크의 지연은 1~5,000, 대역폭은 1~1,000로 균일 랜덤 분포하다. 이러한 수치적 범위를 설정한 이유는 다양한 집단화 정보를 생성시키기 위해서다. 경로 설정은 짧은 경로 우선으로 하였으며 백 트래킹은 허용치 않는다. 각 망에 요구 지연은 1~5,000, 요구 대역폭은 1~1,000 범위 내의 값으로 10,000번 랜덤 질의를 주었다. 실험 결과는 (그림 2)와 같다. 이 실험에서 SBL_{span} 은 스페닝 트리 생성 과정에서 세 번째와 네 번째 단계를 생략한 것이며 SBL_{span-T} 는 통합을 수행한 결과다. 이렇게 실험을 나눠 진행한 까닭은 통합의 유무에 따른 집단화 정보의 정확성을 예측하기 위해서다.

(그림 2(a))의 결과로 SBL_{span-T} 가 CFS_{span} 보다 응답 정확도가 높으며, SBL_{span-T} 는 망의 크기 변화에 큰 영향을 받지 않는 반면 CFS_{span} 는 망의 환경 변화에 민감함을 알 수 있다. 즉, CFS_{span} 는 망의 개수가 적은 경우 질의 응답 정확성이 떨어지지만 망의 개수가 많아지면서 정확성이 높아진다. 여기서 망의 개수가 적다는 것은 실험에서 노드의 개수를



(그림 1) 노드 별 정보 왜곡 정도



(a) 전체 잘못된 응답 개수 (b) 잘못된 수락 개수 (c) 잘못된 거절 개수
(그림 2) 망 크기 별 질의 응답 정확도

제안했기 때문에 망 안에 노드 수가 많음을 뜻한다. 요약컨데 CFS_{span} 는 망의 노드 수가 많은 경우에는 부적합하다. (그림 2(b))와 (그림 2(c))로 $SBL_{span,T}$ 와 CFS_{span} 모두 적은 수의 잘못된 수락 개수를 갖지만, 많은 수의 잘못된 거절 개수를 갖는다는 것을 알 수 있다. 이것은 앞서서도 기술하였듯이 공통 서비스 가능 영역에 초점을 맞춘 집단화로 제공 가능한 서비스 영역의 소멸 때문이다. 또 스타와 관련된 제안 방법의 질의 응답 정확도는 망의 개수가 10에서 30개 사이인 경우는 $BL_{span,T} > CFS_{star}$, $SBL_{star} > CFS_{span}$ 망의 개수가 40에서 50개 사이의 경우 $SBL_{span,T} > CFS_{star}$, SBL_{star} , CFS_{span} 순의 응답 정확도를 갖는다. 이것은 망의 크기가 커질수록 CFS_{star} , SBL_{star} , CFS_{span} 은 약간의 차이를 갖지만 거의 유사한 응답 정확도를 가지며 SBL_{span} 는 망의 개수가 적은 경우 응답 정확도가 높은 반면 망의 개수가 늘어날수록 응답 정확도가 떨어짐을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 계층적 ASON(Automatically Switched Optical Network)에서 QoS 라우팅을 위해 망 내의 상태 정보 집단화 시 발생하는 정보의 왜곡을 줄이는 방법을 제안하였다. 이것은 지연과 대역폭을 동시에 링크의 QoS 파라미터를 갖는 경우의 집단화로 서비스경계라인의 통합 속성을 이용한 방법이다. 제안 방법은 s 와 md 라는 유사도 측정 변수로 서비스경계라인들의 유사성을 비교 후 서비스경계라인들의 그룹핑과 통합을 걸쳐 집단화를 수행한다. 이것은 서비스경계라인들의 통합 시 공통된 서비스 중심의 정보 집단화로 정확성을 높인 것이다. 이와 같이 서비스경계라인의 속성을 기반한 스타 및 스페닝 트리 집단화는 잘못된 서비스 수락 정보의 감소로 클랭크백(crankback) 수를 줄여 망의 효율성을 높인다는 장점을 갖는다. 특히 통합의 모호성을 해결한 스페닝 트리 집단화는 망의 크기에 영향을 받지 않으면서도 낮은 정보 왜곡을 갖는다. 하지만 서비스 가능한 정보들을 불가능한 정보로의 왜곡 역시 통합의 문제점이다. 따라서 앞으로 남아있는 문제는 서비스 가능 정보의 정확도를 높이는 방법을 찾는 것이다.

참고 문헌

[1] Private Network-Network Interface Specification Version 1.0, Mar., 1996.

[2] King-Shan Lui, Nahrstedt, K., Shigang Chen, "Routing with Topology Aggregation in Delay-Bandwidth Sensitive Networks," IEEE/ACM Transactions, Vol.3, pp.17 - 29, Feb., 2004.
 [3] 권소라, 전창호, "계층적 QoS 라우팅을 위한 스타 기반의 노드 집단화," 한국정보처리학회 논문지 C, 2011. 10월 게재 예정
 [4] Sora Kwon, Changho Jeon, "Link state information approximation for hierarchical QoS routing," IEEE ICISA, pp.205-210, Apr., 2011.
 [5] S.Uludag, K.Lui, Nahrstedt and G.Grewster, "Analysis of topology aggregation techniques for QoS routing," ACM Computing Surveys, Vol.39, No.3, pp.1-31, Aug., 2007.
 [6] Lei Lei, Yuefeng Ji, Lin Guo, "Asymmetric Attribute Aggregation in Hierarchical Networks," IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E90-B, No.8, pp.2034-2045, 2007.
 [7] J.Zhang, Y.Han, L.Wang, "New Topology Aggregation Mechanisms for Delay-Bandwidth Sensitive Networks," ICCS pp.737-742, Nov., 2008.
 [8] B.M. Waxman, "Routing of Multipoint Connections", IEEE Journal of selected Area in Communications, pp.1617-1622, Dec., 1988.



권 소 라

e-mail : srkwon@hanyang.ac.kr
 1996년 독학에 의한 학위 취득 전자계산학과(학사)
 2002년 한양대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2006년 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야: QoS routing, Topology Aggregation, Parallel Computing



전 창 호

e-mail : chj5193@hanyang.ac.kr
 1977년 한양대학교 전자공학과(학사)
 1982년 Cornell University(석사)
 1986년 Cornell University(박사)
 2011년 3월~현 재 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수
 관심분야: Cloud Computing, Grid Computing, Parallel Computing