http://dx.doi.org/10.3745/KIPSTC.2011.18C.5.361

계층적 QoS 라우팅을 위한 스타 기반의 노드 집단화

권 소 라[†] · 전 창 호[††]

요 약

본 논문에서는 계층적 QoS 라우팅을 위해 소스 라우팅 방식을 채택하고 있는 전달망에서 적정 경로를 배정하기 위해 필요로 하는 망의 상태 정보를 효율적으로 집단화하는 방법을 제안한다. 이것은 비대칭망에서 집단화 할 링크의 QoS 파라미터가 두 개 이상일 때 기존 스타 집단화 방법이 갖는 집단화된 정보의 부정확성을 줄이기 위한 방법으로, 서비스경계라인을 논리 링크로 갖는 풀 메쉬 토폴로지를 스타 토폴로지로 변형한다. 이를 위해 본 논문에서는 서비스경계라인의 3가지 속성인 분할, 조인 그리고 통합을 정의하며 이 속성들을 이용한 스타 토폴로지로의 변형과 풀 메쉬로의 복원 방법을 제시한다. 제안 방법은 기존 방법과 유사한 공간 복잡도와 시간 복잡도를 갖지만 집단화된 정보의 정확도와 질의 응답 정확도는 기존 방법보다 높다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

키워드 : 스타 토폴로지 집단화, 계층적 QoS 라우팅, 서비스경계라인, 네트워크 상태 정보

Star-Based Node Aggregation for Hierarchical QoS Routing

Sora Kwon[†] · Changho Jeon[††]

ABSTRACT

In this study, we present a method for efficiently aggregating networks state information required to determine feasible paths in transport networks that uses the source routing algorithm for hierarchical QoS routing. It is proposed to transform the full mesh topology whose Service Boundary Line serves as its logical link into the star topology. This is an aggregation method that can be used when there are two or more QoS parameters for the link to be aggregated in an asymmetric network, and it improves the information accuracy of the star topology. For this purpose, the Service Boundary Line's 3 attributes, splitting, joining and integrating, are defined in this study, and they are used to present a topology transformation method. The proposed method is similar to space complexity and time complexity of other known techniques. But simulation results showed that aggregated information accuracy and query response accuracy is more highly than that of other known method.

Keywords : Star Topology Aggration, Hierarchical QoS Routing, Service Boundary Line, Netwokrs State Information

1. 서 론

계층적 QoS 라우팅을 위해 소스 라우팅 방식을 채택하고 있는 망에서는 적정 경로를 배정하기 위해 외부 망들의 상태 정보가 필요하다. 따라서 같은 계층 상에 있는 망들은 서로의 망 상태 정보를 집단화해 주고 받으면서 경로 업데이트를 한다. 이것은 망이 커지면서 업데이트 해야 할 상태 정보량 증가로 확장성을 고려해야만 한다. 이에 ATM (Asynchroncus Transfer Mode) 포럼에서는 다양한 토폴로지 집단화 방법들을 통해 확장성 문제를 해결하고자 하였다 [1]. 현재 계층망을 권고하면서 QoS 라우팅을 지원하고 있는 ASON(Automatically Switched Optical Network)에서의 토폴로지 집단화 기술은 중요한 부분이다[2].

토폴로지 집단화는 망을 구성하고 있는 노드들의 연결 및 링크들의 상태 정보를 추상화 또는 요약화한다 [3]. 이것은 링크 집단화와 노드 집단화로 나뉜다[1]. 노드 집단화는 복잡한 구조의 물리적 토폴로지를 간략한 논리적 토폴로지로 변형하는 것이며, 링크 집단화는 다수개의 물리적 경로들의 상태 정보를 하나의 논리 링크 상에 나타내는 것이다. 토폴로지 집단화에서 중요한 것은 QoS 파라미터의 개수와 속성이다. 단일 QoS 파라미터의 집단화는 명확하면서도 비교적 단순하고 집단화한 정보의 정확성도 높다. 하지만 망의 대형화와 다양한 애플리케이션의 등장은 단일 QoS 파라미터에 대한 집단화만으로는 분명 한계가 있다. 따라서 속성이 다른 두 개 이상의 QoS 파라미터 집단화가 NP-Complete [4]로 알려져 있음에도 불구하고 이에 관한 연구는 꾸준히 진행되고 있다.

† 정 회 원 : 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
†† 종신회원 : 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수
논문접수 : 2011년 6월 9일
수 정 일 : 1차 2011년 8월 16일
심사완료 : 2011년 8월 17일

Lee는 증가 기반 특성을 가진 지연과 비증가 기반 특성을 가진 대역폭을 동시에 QoS 파라미터로 갖는 경우의 집단화 방법을 제안하였다[5]. 이 방법은 물리적 토폴로지를 풀 메쉬의 논리 토폴로지로 변형 후 풀 메쉬를 다시 스패닝 트리로 변형한다. 변형 이유는 공간 복잡도를 줄이기 위해서다. Lee의 방법은 두 가지 문제점이 있다. 첫 번째는 대역폭과 지연 모두를 고려한 듯 하지만 대역폭 중심의 풀 메쉬가 스패닝 트리로 변형되기 때문에 대역폭은 비교적 정확한 정보를 나타내지만 지연은 큰 왜곡을 갖는다. 두 번째 문제점은 비대칭 망에 부적합하다는 것이다. 이러한 Lee의 문제를 해결하기 위해 다양한 집단화 방법들이 제시되었다. 이 방법들의 공통점은 물리적 토폴로지를 풀 메쉬로 변형 후 이것을 다시 망 특성에 맞는 토폴로지로 변형한다는 것이다. 하지만 차이점은 풀 메쉬를 구성하는 논리 링크들의 가중치 정확성에 초점을 맞추고 있다. 이것은 노드 집단화보다 링크 집단화가 집단화된 정보의 정확성에 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 최근 집단화 관련 연구들은 집단화한 정보의 정확성을 높이기 위해 기하학 기반의 링크 근사화 방법을 이용한 다양한 토폴로지 변형 방법들을 제시되고 있다[3].

본 논문에서는 서비스경계라인[6]을 논리 링크로 갖는 풀 메쉬 토폴로지를 스타 토폴로지로 변형하는 토폴로지 변형 집단화 방법을 제한한다. 이것은 스타 토폴로지가 O(N)의 공간 복잡도와 비대칭망에 적합하다는 장점에 비해 집단화된 정보 정확성이 낮다는 단점을 줄이기 위한 것이다. 서비스경계라인은 기하학 기반의 링크 집단화 방법을 통해 생성된 논리 링크로 비교적 정확한 집단화된 상태 정보를 갖고 있는 반면 공간 복잡도가 높다는 단점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 서비스경계라인의 세가지 속성을 정의하며 이 속성을 이용한 집단화 방법을 기술한다. 이 세 가지 속성은 서비스경계라인의 장점을 유지하면서도 단점을 줄여 효율적인 집단화를 위한 것들이다.

논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 토폴로지 집단화 관련 기존 연구들을 살펴보고, 3장에서는 서비스경계라인 속성을 고려한 스타 토폴로지 변형 방법을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션으로 제안 방법의 효율성을 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 기하학 기반의 링크 집단화

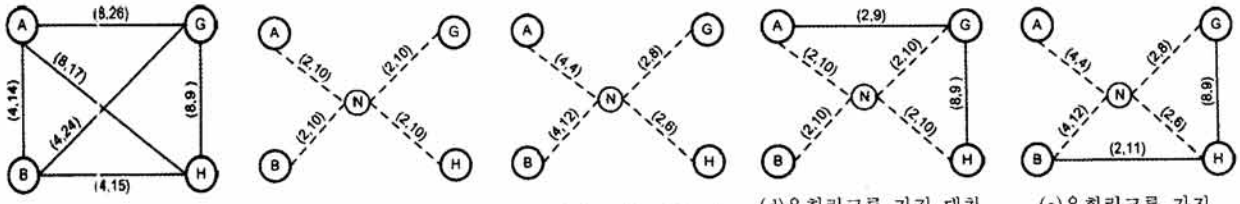
다 수개의 QoS 파라미터들을 집단화하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 방법이 기하학 기반의 링크 집단화 방법이다 [3]. 이것은 집단화를 위해 데카르트 평면을 사용하며 평면의 축은 QoS 파라미터들이다. 예를 들어 데카르트 평면의 X축을 지연, Y축을 대역폭으로 한다. 이렇게 축을 이룬 평면 상에는 두 노드 사이에 존재하는 경로들의 가중치들을 교차점으로 나타낸다. 교차점들 중 주요 몇 개의 교차점을 대표점이라 하며 대표점들의 연결은 불규칙한 모양의 서비스 계단을 형성한다. 서비스 계단을 통해 생성된 서비스 영역은 두 노드 사이에 존재하는 경로들이 제공하는 QoS 정보를 나타낸다.

기하학 기반의 방법은 서비스 영역에 근사한 영역을 정의함으로써 링크들의 상태정보를 집단화한다. 따라서 관련 연구들은 불규칙한 계단 형태의 서비스 영역에 근접한 영역을 나타내기 위해 다양한 근사법을 제시하였다. 이 근사법들은 크게 선형 근사법과 곡선 근사법으로 나뉜다. 선형 근사법은 서비스 영역을 선형 영역으로[7], 곡선 근사법은 2차 곡선이나 다차원 곡선 영역으로 서비스 영역을 나타낸다 [8]. 선형 근사법은 집단화 방법이 간단한 반면 불규칙한 계단 영역을 단순히 선형 영역으로 간략하게 나타냄으로써 영역 왜곡이 심하다. 반면 곡선 근사법은 선형보다는 정보 왜곡은 줄었으나 이산 영역을 곡선 영역으로 나타냄으로써 서비스 영역을 구성하는 주요 상태정보의 상실로 영역 왜곡을 줄이는데 한계가 발생한다.

기존 근사법들의 문제를 해결하기 위해 제안된 방법이 확장된 선형 근사법인 폴리라인 [8]과 곡선 피팅계단 [9]이다. 폴리라인은 주요 대표점을 선정 후 이 점들의 연결로 서비스 계단에 근사화한다. 주요 대표점 선정은 휴릭스틱하다. 곡선 피팅계단은 대표점 유지를 위해 2차 곡선을 형성 한 후 지연 중심의 함수로 대표점을 복원한다. 이 방법은 대역폭이 지연 의존적이라는 문제점과 대표점들의 값의 변화가 불규칙적 일 때는 정보 왜곡이 크게 발생한다. 따라서 곡선 피팅계단은 망의 크기가 작을 때는 정보 정확성이 높으나 망의 크기가 커질수록 집단화된 정보의 정확성이 떨어진다.

2.2 스타 기반의 노드 집단화

스타 토폴로지는 가상 노드를 망 중앙에 두고 망 내의 경계 노드들과 가상 노드를 가상 링크로 연결한다. [1]에서는 중앙의 가상 노드를 nucleus, 가상 링크를 spoke라 한다. 즉, spoke는 스타 토폴로지를 구성하는 논리 링크다. 스타 기반의 노드 집단화 방법은 spoke들의 가중치 동일성 여부에 따라 대칭 스타 집단화와 비대칭 스타 집단화로 나뉘며, 스타 토폴로지 내의 우회 링크 유무에 우회링크(bypass)를 가진 대칭 스타 집단화와 우회링크를 가진 비대칭 스타 집단화로 분류한다. 대칭 스타 집단화 방법은 spoke들의 가중치가 모두 동일하다 [10]. 반면 비대칭 스타 집단화 방법은 spoke들의 가중치가 다르다 [4]. (그림 1)은 지연과 대역폭을 논리 링크의 가중치로 갖는 풀 메쉬 토폴로지를 스타 토폴로지로 변형한 것으로 (그림 1(a))의 풀 메쉬 토폴로지를 (그림 1(b))의 대칭 스타 토폴로지와 (그림 1(c))는 비대칭 스타 토폴로지로 각각 나타낸 것이다. 대칭 스타 집단화 방법은 대칭적 특성을 가진 증가기반의 QoS 파라미터에는 유용하지만 대칭적 특성을 갖지 않는 비 증가기반의 QoS 파라미터들에는 유용하지 않다. 따라서 대칭 스타 집단화 방법은 두 개 이상의 서로 다른 특성을 가진 QoS 파라미터들을 동시에 만족해야 하는 집단화에는 적합하지 않다. 또한 스타 집단화 방법은 우회링크를 고려한 대칭 스타 집단화 방법 [11],[12]과 비대칭 스타 집단화 방법[7]으로 분류한다. 스타에서의 우회 링크는 스타 집단화 시 발생하는 정보 손실량



(a)풀 메쉬 (b)대칭 스타 토폴로지 (c)비대칭 스타 토폴로지 (d)우회링크를 가진 대칭 스타 (e)우회링크를 가진 비대칭스타

(그림 1) 스타 기반의 집단화 방법들[3]

을 줄이기 위해 기본 링크 외에 추가 되는 논리 링크로 두 경계 노드를 직접 연결한다. (그림 1(d))와 (e)은 각각 우회 경로를 가진 대칭 스타 토폴로지와 우회경로를 가진 비대칭 스타 토폴로지를 나타낸 것이다. 우회 링크의 선정은 스타로 변형된 링크들의 가중치와 풀 메쉬의 가중치 차가 큰 링크들을 찾아 스타 토폴로지에 추가된다.

Lui는 선형 근사법으로 얻은 라인 세그먼트를 논리 링크로 구성한 풀 메쉬 토폴로지를 비대칭 스타 토폴로지 또는 우회 링크를 가진 비대칭 스타 토폴로지로 변형하는 방법을 제안하였다[7]. Lui의 비대칭 스타 집단화 방법은 집단화 과정에서 링크 가중치들의 평균으로 자원 정보를 간략화 함으로써 정보 정확성이 떨어진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Lui는 우회 링크를 고려한 비대칭 스타 집단화 방법을 제안하였으며 이때 우회 링크 선정 기준을 명확히 제안 기술하였다. [9]에서는 곡선 근사법을 통해 얻은 커브피팅 계단을 논리 링크로 구성한 풀메쉬 토폴로지를 스타 토폴로지로 변형한다. 이때 스타 변형 방법은 Lui의 방법을 따른다. 이것은 라인 세그먼트 보다 정보 정확성이 높은 커브피팅 계단의 특성을 고려하지 않은 변형 방법으로 집단화된 정보의 정확성을 높이는 한계의 원인이다.

3. 서비스경계라인을 기반한 스타 토폴로지 집단화

서비스경계라인 근사법은 제어점 사이의 거리 정보와 가외치로 서비스 계단에 근접한 계단을 생성한다[6]. 논문 [6]에서는 서비스 계단을 구성하는 대표점을 기존 방법들과 기능적 차이를 두기 위해 제어점으로 정의한다. 제어점은 볼록 제어점과 오목 제어점으로 나눈다. 볼록 제어점은 계단의 볼록 코너점으로 데카르트 평면 상의 교차점들 중에서 [6]의 대표점 선출 방법을 따른다. 오목 제어점은 계단의 오목 코너점으로 인접한 볼록 제어점들 사이의 거리정보로 생성한 가상점이다. 제어점 사이의 거리는 유사 거리와 예외 거리로 나뉜다. 유사 거리란 지정한 범위 안에 포함된 거리며 이것들의 평균이 서비스경계라인의 두 번째 파라미터인 거리 평균이다. 반면 지정한 범위에 포함되지 않은 값이 예외 거리다. 예외 거리의 제어점이 서비스경계라인의 세 번째 파라미터인 가외치다. [6]에서는 가외치 산출 방법을 3가지 제안하였다. 본 논문에서는 기억 공간과 정보 정확성을 고려해 두 번째 가외치 선정방법인 유사도 측정변수 df를 기준으로 가외치를 선정한다. 따라서 본 논문에서의 서비스경계라인의 파라미터는 $((d_1, w_1), (wd_{avg}, hd_{avg}), t, n)$로 t는 $\{(d_{j+1}, w_{j+1}) | df_{avg} \cdot T \geq df_j \quad i=1,\cdots,n-1\}$다.

3.1 서비스경계라인 속성

(1) 분할

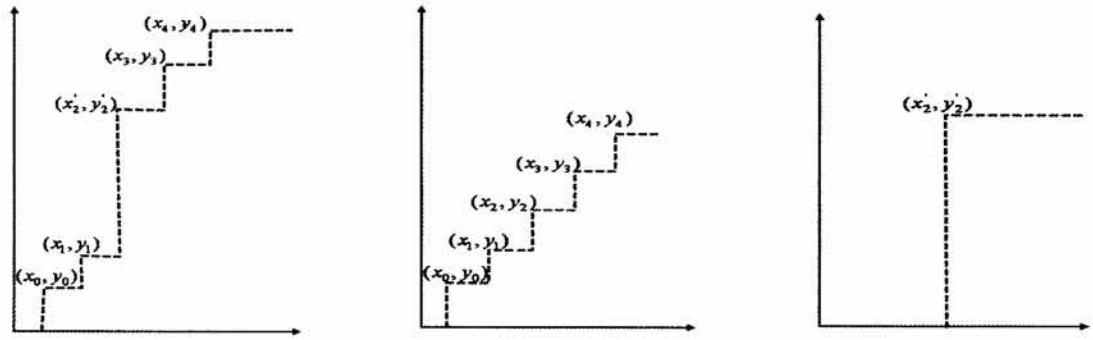
서비스경계라인 분할 속성은 서비스경계라인이 규칙 라인과 불규칙 라인으로 나누는 것으로 서비스경계라인의 두 번째와 세 번째 파라미터들의 특성 때문이다. 서비스경계라인의 두 번째 파라미터인 거리 평균 (wd_{avg}, hd_{ag})은 너비의 평균과 높이의 평균으로 제어점을 일정하게 증가시킨다. 따라서 거리 평균을 통해 규칙적인 라인이 생성된다. 반면 서비스경계라인의 세 번째 파라미터 t 즉, 가외치는 너비와 높이의 규칙성이 없기 때문에 이들의 연결은 불규칙한 라인을 생성한다. 분할 시 규칙 라인의 제어점 번호는 볼록 제어점 개 수만큼 1씩 증가하며 불규칙 라인의 가외치 번호는 서비스경계라인의 제어점 번호를 그대로 사용한다. 예를 들어 볼록 제어점 개수 n이 5일 때, 서비스경계라인의 제어점 집합 S가 $\{(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x'_2, y'_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$이고 (x'_2, y'_2)가 가외치인 경우, 규칙 라인의 제어점들과 이들의 제어점 번호는 $\{(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$이며 불규칙 라인의 제어점과 제어점 번호는 $\{(x'_2, y'_2)\}$다. (그림 3(b))와 (그림 2(c))는 (그림 2(a))의 서비스경계라인을 규칙 라인과 가외치 라인으로 분할한 것이다. 분할 속성에 의해 생성된 규칙 라인과 가외치 라인은 정의 1과 같다.

정의 1. 서비스경계라인의 제어점 집합 S는 규칙 라인의 제어점 집합 RL와 불규칙 라인 또는 가외치 라인의 제어점 집합

IL으로 분할된다. RL는 $\{(x_i, y_i) \mid x_i=d_1+i \cdot wd_{avg}, y_i=w_1+i \cdot hd_{avg} \quad i=0,1,\cdots,n-1\}$이며, IL= $\{(x'_k, y'_k) \mid T \cdot df_{avg} \geq d_{fk}$ 을 만족하는 k번째 너비 또는 높이의 제어점들, $0 \leq T \leq 1\}$다.

(2) 조인

서비스경계라인의 두 번째 속성은 조인이다. 이것은 규칙 라인의 제어점과 불규칙 라인의 제어점 연결은 새로운 서비스경계라인 또는 기존 서비스경계라인의 복원을 가능케 하는 것으로 가외치 우선 원칙을 따른다. 가외치 우선이란 규칙 라인의 제어점보다 불규칙 라인의 제어점을 우선하는 것으로, 불규칙 라인의 제어점은 실제의 경로 가중치이므로



(a) 서비스경계라인 (b) 규칙 라인(RL, Regular Line) (c) 불규칙계단(IL, Irregular Line)

(그림 2) 규칙 라인과 가외치 라인

평균을 통해 얻은 가상의 제어점보다 우선되어야 한다. 예를 들어 두 개의 제어점 집합 RL={(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)}와 IL= {(x'_2, y'_2)}에 동일한 번호의 제어점들이 각각의 집합에 존재할 경우 불규칙 라인 집합의 제어점을 선점한다. 따라서 조인된 서비스경계라인 S'는 {(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x'_2, y'_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)}이다. 가외치 우선 원칙은 정의 2, 조인된 서비스경계라인은 정의 3과 같다.

정의 2. 제어점 집합의 RL와 IL에 대해 $(x_1, y_1)\in RL$이고 $(x'_i, y'_i)\in IL$ 일 때, 조인된 서비스계단의 제어점 집합 S' 는 $(x'_i, y'_i)\in S'$ 이면서 $(x_1, y_1)\notin S'$ 이다.

정의 3. 조인된 서비스경계라인 S'는 {$RL \ltimes IL$ | 가외치 우선원칙에 따른 조인}로 정의한다.

(3) 통합

서비스경계라인 통합은 서비스경계라인들의 제어점을 이용해 다 수개의 서비스경계라인을 하나의 서비스경계라인으로 나타내는 것이다. 통합 목적은 여러 개의 서비스경계라인으로 생성된 서비스 영역들을 하나의 영역으로 정의함으로써 망에서 지원 가능한 자원 정보를 간략화하기 위해서다. 볼록 제어점 통합은 m개의 서비스경계라인들의 볼록 제어점들 중 대표 볼록 제어점들을 선출해 통합된 서비스경계라인을 생성하는 것이며, 오목 제어점 통합은 m개의 서비스경계라인들의 오목 제어점들 중 대표 오목 제어점을 선출해 통합된 서비스경계라인을 생성한다.

정의 4. 임의의 두 제어점 (d, w)과 (d', w')에 대해 $d\le d'$와 $w\ge w'$를 만족하는 제어점 (d, w)이 대표 볼록 제어점이며, 제어점 (d', w')은 대표 오목 제어점이다.

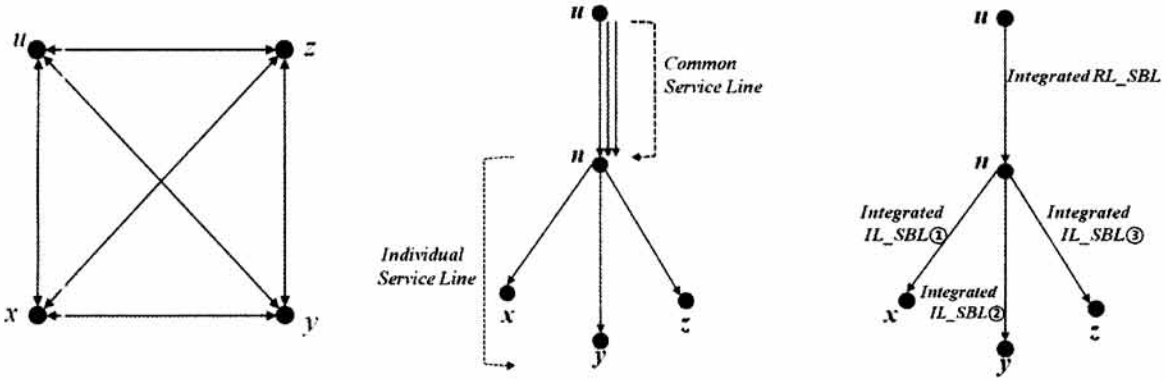
k번째 서비스경계라인의 볼록 제어점들이 vp_k={(d_i, w_i) | i=1,2,⋯,p p은 볼록 제어점 개수}이고 오목 제어점들은 cp_k={(d'_j, w'_j) | j=1,2,⋯,p-1 p는 볼록 제어점 개수}일 때, m개의 서비스경계라인들의 볼록 제어점들의 집합 VP={vp_1, vp_2, ⋯, vp_m}이며 오목 제어점들의 집합 CP={cp_1, cp_2, ⋯, cp_m}다. 집합 VP의 대표 볼록 제어점은 지연을 오름차순 정렬 후 정의 4에 따라 선정하는 반면 집합 CP의 대표 오목 제어점은 지연을 내림차순 정렬 후 정의 4에 따라 선정한다. 두 방법 모두 세부적인 선정 과정은 [6]를 따른다. 따라서 대표 제어점들의 연결로 생성된 통합 서비스 영역은 정의 4을 기반으로 정의 5의 속성을 갖는다.

정의 5. 볼록 제어점 통합 방법으로 생성된 통합 서비스경계라인은 서비스경계라인들의 최대 서비스영역을 나타내며, 오목 제어점 통합 방법으로 생성된 통합 서비스경계라인은 서비스경계라인들의 최소 서비스 영역을 나타낸다.

3.2 스타 토폴로지 변형과 복원

스타 토폴로지의 노드들은 중앙 가상노드 n(*nucleus*)을 경유하여 연결된다[1]. 따라서 풀 메쉬의 링크들이 스타로 변형 시 노드 n을 중심으로 링크 분할을 한다. 스타의 노드 개수가 k개 일 때, 노드 $\dot{n}$으로 향하는 (k-1)개의 링크 가중치들은 (k-1)개 링크들의 갖는 공통의 가중치를 갖는다. 반면 노드 n에서 임의의 노드로 향하는 링크 가중치는 해당 링크의 고유 링크 가중치를 갖는다. 예를 들어 풀 메쉬를 구성하는 k개의 노드가 u, x, y,..., z일 때, 노드 u와 연결된 노드들의 링크 가중치가 $\overrightarrow{ux}, \overrightarrow{uy}, \ldots, \overrightarrow{uz}$인 경우 노드 n을 중심으로 분할된 링크의 가중치들은 $\overrightarrow{ux}=\overrightarrow{un}+\overrightarrow{nx}$, $\overrightarrow{uy}=\overrightarrow{un}+\overrightarrow{ny}$, $\overrightarrow{uz}=\overrightarrow{un}+\overrightarrow{nz}$다. 이때 링크들은 가중치 $\overrightarrow{un}$을 공통적으로 갖는다. 또한 노드 n에서 노드로 향하는 링크의 가중치들은 $\overrightarrow{nx}=\overrightarrow{ux}-\overrightarrow{un}$, $\overrightarrow{ny}=\overrightarrow{uy}-\overrightarrow{un}$,..., $\overrightarrow{nz}=\overrightarrow{uz}-\overrightarrow{un}$다. 이것은 링크의 전체 가중치에서 공통 가중치를 뺀 것으로 각 링크가 갖는 고유 가중치라 할 수 있다. 이와 같은 특성을 이용해 본 논문에서는 중앙 가상노드 n으로 향하는 링크를 공통 서비스라인으로, 노드 n에서 임의의 한 노드로 향하는 링크를 개별 서비스라인으로 정의한다. (그림 3(a))는 4개의 노드와 12개의 링크로 구성된 비대칭 풀 메쉬 토폴로지며, (그림 3(b))는 (그림 5(a))의 풀 메쉬 토폴로지를 스타로 변형한 것이다.

<표 1>은 스타 토폴로지를 구성하는 링크들의 특성을 이용한 스타 토폴로지 변형 과정을 나타낸 것이다. 첫 번째 단계는 서비스경계라인의 분할이다. 이것은 풀 메쉬의 논리



(a) 풀 메쉬 토폴로지 (b) 공통 규칙라인과 개별 가외치 라인 (c) 불규칙계단(IL, Irregular Line)

(그림 3) 노드 개수가 4인 스타 토폴로지

링크을 노드 n을 중심으로 규칙 라인과 불규칙 라인으로 나눠 연결한다. 두 번째와 세 번째 단계는 라인들의 통합이다. 두 번째 단계에서는 $(k-1)$개의 규칙 라인들을 오목 제어점 통합을 수행하며, 세 번째 단계에서는 불규칙 라인들의 볼록 제어점 통합을 수행한다.

〈표 1〉 스타 토폴로지 변형 단계

[단계 1] SBL을 노드 n을 중심으로 규칙과 가외치 라인으로 분할
[단계 2] 노드 n으로 향하는 $(k-1)$개의 규칙 라인들을 오목 제어점 중심의 라인 통합
[단계 3] 노드 n에서 특정 노드로 향하는 $(k-1)$개의 불규칙 라인들을 볼록 제어점 중심의 라인 통합

2 단계 규칙 라인들의 오목 제어점 통합은 공통 서비스 라인이 갖는 공통 링크 가중치에 근접하기 위해서다. 3.2절에서 기술하였듯이 규칙 라인은 평균 거리를 이용해 생성된다. 평균 거리는 규칙 라인을 형성하므로 $S=RL \cup IL=\{w \mid w \in RL$ or $w \in IL\}$ 또는 $S-IL=\{w \mid w \in S$ and $w \notin IL\}=RL$다. 즉, 규칙 라인으로 형성된 서비스 영역은 서비스경계라인으로 형성된 서비스 영역의 일부분이다. 따라서 정의 5를 기반한 다수개의 규칙 라인의 오목 제어점 통합은 서비스경계라인들이 갖는 최소의 서비스 영역을 나타내면 이것은 곧 서비스경계라인들이 갖게 되는 공통 서비스영역을 포함한다. 반면 3단계의 불규칙 라인들의 볼록 제어점 통합은 개별 서비스 라인이 갖는 링크 가중치에 근접하기 위해서다. 불규칙 라인은 가외치를 이용해 생성한 서비스 라인이다. 이것 역시 $S=RL \cup IL=\{w \mid w \in RL$ or $w \in IL\}$ 또는 $S-RL=\{w \mid w \in S$ and $w \notin RL\}=IL$다. 따라서 불규칙 라인으로 형성된 서비스 영역은 서비스경계라인으로 형성된 서비스영역에 포함된다. 불규칙 라인을 구성하는 가외치는 실제 경로 가중치로 서비스경계라인의 형태를 결정하는 주요 제어점이다. 따라서 정의 5를 기반으로 다수개의 불규칙 라인들의 볼록 제어점 통합으로 불규칙 라인들이 갖는 모든 서비스 영역을 정의함으로써 개별 서비스 라인들 갖는 가중치 특성에 근접하도록 한다. (그림 3(c))는 라인들의 통합을 통해 생성된 통합 규칙라인 RL_SBL과 통합 불규칙 라인 IL_SBL으로 스타 토폴로지의 일부분을 나타낸 것이다. 분할과 통합을 통해 생성된 스타 토폴로지는 통합 라인들의 조인으로 풀 메쉬 토폴로지로 복원 가능하다. 식(1)은 통합된 규칙라인 Integrated_RL_SBL과 통합된 불규칙 라인 Integrated _IL_SBL을 정의 3에 따라 새로운 서비스경계라인으로 복원하는 것이다. 여기서 SBL^i은 복원된 i번째 서비스경계라인이다.

$$SBL^i = Integrated_RL_SBL^i \times Integrated_IL_SBL^i_j \quad (j=1,\cdots,k-1\ ,\ k\text{는 노드의 개수}) \tag{1}$$

(그림 3(c))에서 복원된 링크의 가중치 $\overrightarrow{SBL^{ux}}$는 $\overrightarrow{Integrated_RL_SBL^{un}} \times \overrightarrow{Integrated_IL_SBL_1^{ux}}$다. 마찬가지로 링크의 가중치 $\overrightarrow{SBL^{uy}}$는 $\overrightarrow{Integrated_RL_SBL^{un}} \times \overrightarrow{Integrated_IL_SBL_2^{uy}}$다.

4. 성능 평가

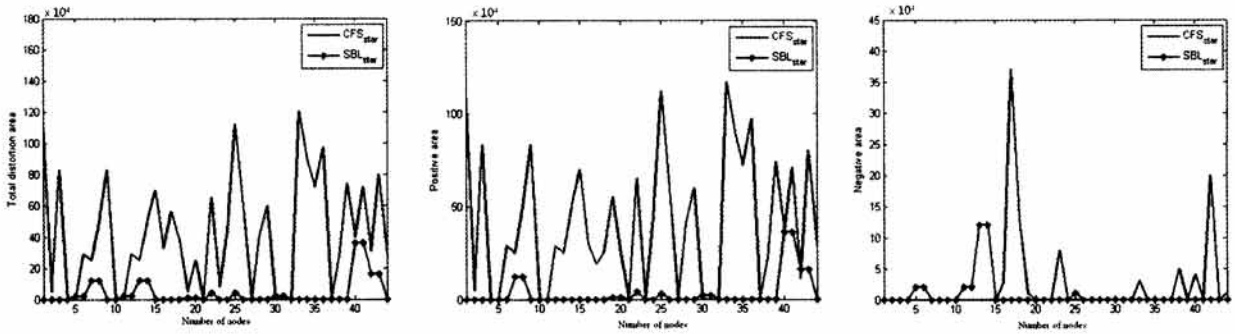
4.1 복잡도 측정

서비스경계라인은 $2k+5$개의 저장 공간을 갖는다. 5는 파라미터 $(d_l,\ w_l,\ wd_{avg},\ hd_{avg},\ n)$의 개수며 k는 가외치 개수다. 서비스경계라인의 저장 공간은 가외치 개수에 따라 가변적으로 증감한다. [6]에서는 특히 T 값이 0.3 또는 0.4인 경우가 저장공간 대비 정보정확성에서 가장 적정이라 정의하였다. 따라서 본 논문에서는 T를 0.3으로 지정 한 후 스타로의 집단화를 수행하였다.

실험 결과 스타 토폴로지 변형 후 망 크기 별 평균 가외치 개수 0에서 1사이였다. 즉, 실제 스타 토폴로지에는 가외치 출현 빈도수가 거의 0에 가까움을 알 수 있었다. 따라서 서비스경계라인의 저장 공간을 결정짓는 변수 k는 0 또는 1이므로 공간복잡도는 $O(|E|)$ 이다. 여기서 $|E|$는 논리 링크의 개수, $|V|$는 노드의 개수 그리고 $|B|$는 경계 노드의 개수

〈표 2〉 시간 복잡도

	Running Time Compliexity	
Step. 1 Total time for the full mesh construction	*Finding all the logical links for a full mesh* *Approximation staircase formation for a logical link*	$O(\|B\|\|E\|^2+\|B\|\|E\|\|V\|log\|V\|)$ $O(\|E\|)$
Step 2. Star Approach	*Split Full mesh* *checking SBL Similarity* *Generating Spanning Tree*	$O(\|E\|log\|E\|)$ $O(\|E\|)$ $O(\|B\|^2log\|E\|))$
Total running time	$O(\|B\|\|E\|^2+\|B\|\|E\|\|V\|log\|V\|)+ O(\|E\|)+ O(\|E\|log\|E\|)+ O(\|E\|)+(\|B\|^2log\|E\|))+ O(\|E\|^2) = O(\|B\|^2\|V\|\|E\|^2)$	



(a) 전체 왜곡 영역 (b) 포지티브 영역 (c) 네거티브 영역

(그림 4) 링크 별 정보 왜곡

다. <표 2>는 집단화를 수행 시 요구되는 시간 복잡도를 나타낸 것이다. 제안 기법을 이용한 스타 집단화는 크게 2단계로 나눠지며 단계별 시간 복잡도와 전체 시간복잡도는 다음과 같다. 따라서 기존 스타 변형 집단화 방법들이 갖는 시간복잡도와 유사함을 알 수 있다[5],[8].

4.2 실험 결과

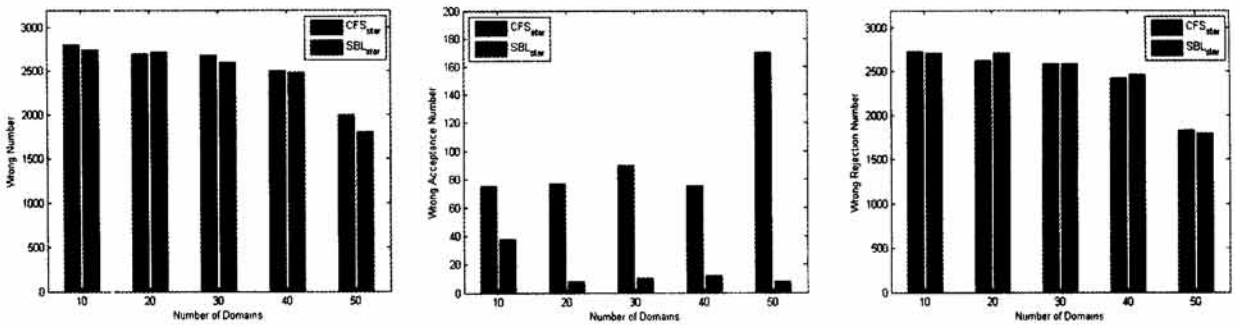
성능 분석은 두 부분으로 나눠 수행하였다. 첫 번째는 집단화된 정보의 왜곡을 측정하며 두 번째는 QoS 요구 질의에 대한 응답 정확도를 측정한다. 이 두 가지 실험은 서비스경계라인을 기반한 스타 집단화와 커브피팅 계단을 기반한 스타 집단화의 정보 정확성을 비교하기 위해서다. 본 논문에서는 커브피팅 계단을 기반한 집단화 방법을 CFS_{star}로 서비스경계라인을 기반한 집단화 방법을 SBL_{star}로 나타낸다. 실험은 Intel Pentium IV 2.0GHz CPU, 3.2 GB DDR DRAM 하드웨어 환경을 가지는 우분투(ubuntu) 리눅스 v.8.10 운영체제하에서 수행하였으며 시뮬레이터 구현 프로그램 언어는 C++이다.

(1) 집단화된 정보의 왜곡 정도

이 절에서는 집단화된 정보의 정확성을 측정하기 위해 집단화된 정보의 왜곡 영역을 측정한다. 왜곡 영역은 네거티브 영역과 포지티브 영역으로 나뉜다. 네거티브 영역은 실제 서비스가 가능함에도 서비스 불가능으로 표시된 영역이며 포지티브 영역은 서비스가 불가능함에도 서비스 가능으로 표시된 영역이다. 왜곡 영역을 네거티브 영역과 포지티브 영역으로 구분한 까닭은 망의 자원 효율성을 예측하기 위해서다. 왜곡 영역 측정 방법은 토폴로지를 구성하는 논리 링크의 집단화하기 전의 근

원 서비스 영역과 집단화 후 복원된 서비스 영역의 차로 측정한다. 이것을 측정하기 위한 실험 환경은 다음과 같다. 망의 개수는 10개며 각 망의 노드 수는 최소 1에서 최대 50개로 구성하였으며 망 당 토폴로지는 Waxman 모델[13]을 따른다. 여기서 망의 수를 10개로 지정한 이유는 영역 측정 방법에서 망 개수가 영역의 값을 변화시키는 변수가 아니기 때문에 실험환경에서 가장 작은 도메인에서의 왜곡 영역을 측정하였다. 노드 차수는 평균 4며 망 내의 노드들 중 10%가 경계 노드다. 물리적 링크의 지연과 대역폭은 100에서 1,000 사이의 지수분포를 따른다.

실험 결과는 (그림 4)와 같다. (그림 4(a))는 전체 정보 왜곡 영역 넓이, (그림 4(b))와 (그림 4(c))는 포지티브 영역과 네거티브 영역 넓이를 측정한 결과다. 이때 x축은 망을 구성하는 링크들이며 y축은 링크 별 왜곡 영역 넓이다. 실험결과 SBL_{star}가 특정 링크를 제외하고 대체적으로 CFS_{star}보다 포지티브 영역과 네거티브 영역 모두에서 작은 왜곡 영역 넓이를 가졌음을 알 수 있다. 하지만 SBL_{star}는 네거티브 영역뿐만 아니라 포지티브 영역에서 0인 부분이 많다. 이것은 집단화를 수행함으로써 가외치 소멸과 통합으로 공통된 서비스 영역 위주의 영역이 생성되기 때문이다. 이와 같은 의미에서 왜곡 영역이 작다는 것은 실제 제공 가능한 서비스 영역의 누락으로 요구 질의에 대한 적절한 응답에는 적합하지 못하다는 단점을 가질 수도 있다.



(a) 잘못된 응답 개수 (b) 잘못된 수락 개수 (c) 잘못된 거절 개수

(그림 5) 망 크기 별 질의 응답 정확도

(2) 질의 응답 정확도

이 절에서는 집단화된 정보의 정확성을 측정하기 위해 QoS 요구 질의에 대한 응답 정확성 측정한다. 측정 변수는 잘못된 응답 개수로 이것은 잘못된 수락 개수와 잘못된 거절 개수의 합이다. 잘못된 수락 개수는 서비스가 불가능한 자원임에도 불구하고 지원 가능으로 알려진 정보로 트래픽 전송이 실패한 개수다. 잘못된 거절 개수는 서비스가 가능한 자원임에도 불구하고 지원 불가능으로 알려진 정보에 의해 트래픽 전송이 실패한 개수다.

실험 환경은 다음과 같다. 먼저 300개의 노드를 랜덤하게 생성 후 망을 구성하는 노드 수를 최소 10개부터 최대 50개로 한다. 노드 차수는 평균 4이며 노드들 중 10%가 경계 노드다. 물리적 링크의 지연은 1에서 5,000 대역폭은 1에서 1,000으로 균일 랜덤 분포하게 갖게 한다. 이런 수치적 범위를 설정한 이유는 다양한 근원 서비스 계단 형태를 만들기 위해서다. 경로 설정 방법은 짧은 경로 우선으로 하였으며 백 트랙킹은 허용치 않는다. 위와 같은 환경을 기반으로 망 크기 별 10,000번의 질의를 수행한다. 요구 지연은 1에서 5,000 요구 대역폭은 1에서 1,000 범위 안에서 랜덤하게 질의한다.

(그림 5)은 실험 결과다. (그림 5(a))는 잘못 응답된 개수며 (그림 5(b))와 (c)는 질의에 의해 발생한 잘못된 거절 개수와 잘못된 승 개수를 각각 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 SBL_{star}가 CFS_{star}와 유사한 잘못된 거절 개수를 갖지만 잘못된 수락회수는 현저히 줄어듬을 알 수 있었다. 두 방법 모두 잘못된 수락 개수보다 잘못된 거절 개수 가 많은 이유는 서비스 계단 내부 중심의 복원이 진행되기 때문이다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 계층적 QoS 라우팅을 위해 소스 라우팅 방식을 채택하고 있는 비대칭 전달망에서 집단화할 링크의 QoS 파라미터가 두 개 이상일 때 집단화 정보의 부정확성으로 인해 발생하는 망 효율 저하 문제를 해결하기 위해 새로운 집단화 방법을 제안하였다. 이것은 풀 메쉬 토폴로지를 스타 토폴로지로 변형하는 토폴로지 변형 집단화 방법으로 기존 스타 집단화 방법이 $O(N)$의 공간 복잡도와 비대칭망에 적합하다는 장점에 비해 집단화된 정보 정확성이 낮다는 단점을 줄이기 위한 것이다. 기존 스타 집단화 방법들의 정보 부정확성은 토폴로지 변형 시 논리 링크들의 가중치를 나타내는 파라미터 값의 일반화 또는 파라미터의 속성 소멸로 인한 것이다.

따라서 본 논문에서는 풀 메쉬의 논리 링크들의 파라미터 속성을 스타로 변형 후에도 유지시킴으로써 집단화된 정보의 왜곡을 줄이고자 하였다. 이를 위해서 토폴로지의 논리 링크를 서비스경계라인으로 하였다. 즉, 서비스경계라인을 논리 링크로 갖는 풀 메쉬 토폴로지를 스타 토폴로지로 변형하는 토폴로지 변형 집단화 방법을 제안한다. 이 방법은 서비스경계라인이 갖는 파라미터 속성들 중 스타 토폴로지들의 링크 특성을 따를 수 있는 몇몇의 속성을 찾아 정의함으로써 풀 메쉬에서 스타로의 토폴로지 변형 혹은 복원 후에도 서비스경계라인의 가중치 변화가 크게 일어나지 않게 한다.

제안 방법은 $O(|E|)$의 공간 복잡도와 $O(|B|^2|V||E|^2)$의 시간 복잡도를 갖는다. 또한 실험을 통해 제안 방법이 기존 방법들보다 정보 왜곡이 줄어듬을 확인하였다. 따라서 제안 방법은 기존 방법들과 유사한 복잡도를 가지면서도 정보 왜곡을 감소시킴을 알 수 있다. 하지만 실험 결과에서 제안 방법 역시 집단화 과정에서 특정 QoS 정보들에 대해 지나친 집단화로 실제 제공한 서비스 정보들을 서비스 불가능 상태로 나타냄으로써 망 효율성을 떨어뜨림을 확인하였다.

이에 향후 관련 과제로 우회링크를 고려한 서비스경계라인을 기반한 비대칭 스타 집단화 방법을 통해 집단화된 정보의 정확성을 높이고자 한다.

참 고 문 헌

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

[2] Architecture for the Automatically Switched Optical Network,

ITU-T Rec. G.8080/Y.1304, Nov., 2001.

[3] 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.

[4] Fang Hao, Ellen W. Zegura, "On scalable QoS routing : Performance Evaluation of Topology Aggregation", IEEE Infocom pp.147 - 156, 2000.

[5] W.C. Lee, "Spanning tree method for link state aggregation in large communication networks," IEEE INFOCOM, pp.297-302, April, 1995.

[6] Sora Kwon, Changho Jeon, "Link state information approximation for hierarchical QoS routing," IEEE ICISA, pp.205-210, April, 2011.

[7] 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.

[8] Y.Tang , S.Chen, "QoS information approximation for aggregated networks," IEEE ICC, Paris, France, pp.3284-3299, June, 2004.

[9] J.Zhang, Y.Han, L.Wang, "Topology Aggregation Methods Based on Fitting Staircase," ICCEE, pp.344-348, 2008.

[10] A. Iwata, H. Suzuki, R. Izmailov and B.Sengupta, "QoS Aggregation Algorithms in Hierarchical ATM Networks," IEEE ICC, pp.243-248, 1998.

[11] I. Iliadis, "Optimal PNNI Complex Node Representation for Restrictive Costs and Minimal Path Computation time," IEEE/ACM trans, netw.8, August, 2000.

[12] W.C. Lee, "Minimum Equivalent Subspanner Algorithm for Topology Aggregation in ATM Networks," 2nd ICATM, pp.351-359, 1999.

[13] B.M. Waxman, "Routing of Multipoint Connections", IEEE Journal of selected Area in Communications, pp.1617-1622, December, 1988.

권 소 라

e-mail : srkwon@hanyang.ac.kr

1996년 독학에 의한 학위 취득 전자계산학과(학사)

2002년 한양대학교 컴퓨터공학과(석사)

2011년 현 재 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 현 재 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수

관심분야 : Cloud Computing, Grid Computing, Parallel Computing