

主題

# 인터넷 QoS 라우팅

이화여자대학교 이 미 정

차례

- I. 서론
- II. 일반적으로 QoS 라우팅에 관련해 제기된 연구 이슈들
- III. 인트라도메인에서의 QoS 라우팅: QoS 지원을 위한 OSPF 확장
- IV. 멀티캐스트와 인터도메인을 위한 QoS 라우팅
- V. 결론

## I. 서론

패킷 스위칭 네트워크의 용량이 커짐에 따라, 비디오 컨퍼런스나 인터넷 전화, 원격 학습등과 같은 새로운 응용들을 지원할 수 있게 되었다. 그런데, 디지털 비디오나 오디오와 같은 멀티미디어 트래픽은 기존의 데이터 트래픽에 비하여 매우 엄격한 QoS 요구를 네트워크에 부과한다. 이러한 멀티미디어 응용의 QoS 요구에 대하여 네트워크에서 그 성능을 보장해 주기 위해서는 네트워크의 트래픽 전달 경로 상에 자원을 예약할 수 있는 방안이 필요하다. 자원 예약은 필요한 자원의 발견과 예약이라는 두 가지의 필수적인 단계로 이루어지는데 라우팅에 의해 필요한 자원을 충분히 가지고 있는 경로를 발견하는 것은 자원 예약을 위해 반드시 요구되는 과정이다.

그런데 전통적인 데이터 네트워크에서의 라우팅은 연결성만을 염두에 두고 있다. 따라서 전통적인 라우팅 프로토콜은 홉 카운트와 같이 정적인 단일

메트릭에 의해 소스로부터 목적지에 이르는 최단 경로를 찾는 알고리즘으로 경로를 계산하고 결정된 경로를 통해 최선서비스로 데이터를 전송하였다. 그러나 다양한 QoS 요구를 지원하기 위해서는 다양한 메트릭 혹은 복합적인 메트릭에 의하여 경로를 찾을 수 있는 좀 더 복잡한 라우팅 프로토콜 모델이 필요하다. 또한, 네트워크 상의 가용 자원은 트래픽 로드 분산에 의하여 동적으로 변화하게 되므로, 동적 네트워크 상황을 반영할 수 있는 동적 메트릭을 사용하여 경로를 계산할 필요성이 있다. 이러한 라우팅 메트릭의 복잡성과 동적인 성격은 경로 계산의 복잡성 및 라우팅 프로토콜 오버헤드의 증가를 초래할 수 있다. 따라서, QoS 지원을 가능하도록 하면서도 오버헤드를 조절함으로써 라우팅 프로토콜의 확장성을 유지할 수 있는 QoS 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 이루어져야 한다. 데이터 네트워크에서의 멀티미디어 전송 지원 필요성이 크게 부각됨에 따라, 최근 몇 년간에 걸쳐 이러한 측면에서 QoS 라우팅

에 관하여 매우 활발한 연구가 이루어져 왔다.

QoS 라우팅이란 '적정(feasible) 경로'를 동적으로 결정하는 라우팅이라고 정의할 수 있는데, 이때, '적정 경로'란 플로우가 요구하는 QoS를 지원할 수 있으면서 서비스 제공자나 경로 사용 비용 등과 같은 정책 제약에 위반되지 않는 경로를 의미한다<sup>[1]</sup>. QoS 라우팅은 QoS를 요구하는 플로우에 대하여 이러한 '적정 경로'를 찾아주되 네트워크의 자원 활용율을 극대화하고, 네트워크 엔지니어링과 네트워크에 부과되는 트래픽 로드 간에 일시적인 불일치가 발생하는 경우의 성능 저하를 최소화 하는 것을 목적으로 한다<sup>[1]</sup>.

본 고에서는 이러한 QoS 라우팅에 대하여 최근 여러 연구 논문에서 활발하게 논의되어 온 이슈들을 종합적으로 고찰하고, 앞으로의 연구 방향을 제시하고자 한다. I 장의 서론에 이어 II 장에서는 QoS 라우팅에 대하여 제기되고 있는 일반적인 연구 이슈들에 대하여 다루고, III 장에서는 인터넷에서 현재 대표적으로 사용되고 있는 인트라도메인 라우팅 프로토콜인 OSPF를 QoS 지원을 위해 확장하는 방안을 소개한다. IV 장에서는 멀티캐스트와 인터도메인 라우팅 프로토콜을 QoS를 위해 확장하는 경우 고려되어야 할 사항들에 대하여 소개하고, 끝으로 V 장에서는 결론을 맺는다.

## II. 일반적으로 QoS 라우팅에 관련해 제기된 연구 이슈들

### 1. 라우팅 메트릭

QoS 라우팅에 있어서 고려되어야 할 문제 중 가장 기본적인 것 중 하나가 라우팅 메트릭이다. 라우팅 메트릭은 라우팅에 있어서 네트워크를 추상적으로 표현하는 수단이 된다. 그런데, 이 라우팅 메트릭을 어떠한 것을 사용하는가에 따라 경로 계산의 복

잡도가 달라지게 될 뿐 아니라 지원할 수 있는 QoS의 범주도 달라지게 된다. 라우팅 메트릭을 결정하는데 있어서 최소한 다음의 세 가지 사항을 고려하여야 한다<sup>[1, 2]</sup>.

- 선택된 메트릭에 대해 효율적인 경로 계산 알고리즘이 존재해야 한다.
- 네트워크의 기본적인 특성을 반영할 수 있는 메트리어야 한다. QoS 요구는 메트릭으로 표현되는 경로에 대한 제약 사항으로 매핑이 된다. 따라서, 메트릭이 내포하고 있는 정보가 기본적인 QoS 요구를 지원할 수 있어야 한다. 즉, 네트워크가 지원할 수 있는 QoS의 종류가 메트릭에 의하여 결정된다. 가령, 라우팅 메트릭이 가용 대역폭이면 모든 QoS 요구는 가용 대역폭에 대한 요구로 매핑이 되어야 한다. 이런 경우, 경로의 신뢰성 같은 QoS 요구는 경로 결정에 반영될 수 없게 된다.
- 여러 개의 메트릭을 복합적으로 사용하는 경우, 메트릭 간에는 서로 연관성이 없고 독립적이어야 한다. 메트릭 간에 중복되는 정보가 있는 경우에는 경로 계산의 복잡도가 훨씬 증가하기 때문이다.

QoS 라우팅에서는 다양한 QoS 요구를 반영하기 위해 전통적인 라우팅에 비하여 다양하고 복합적인 라우팅 메트릭을 사용해야 한다. 복합적인 라우팅 메트릭을 사용하는 방법은 크게 다중의 라우팅 메트릭으로부터 단일 메트릭을 계산해 내는 함수를 적용해 다중의 메트릭을 단일 메트릭으로 변환해 사용하는 방법과 다중의 메트릭을 그대로 사용하는 두 가지의 방법으로 나누어 볼 수 있다<sup>[1, 2]</sup>. 전자의 경우는 네트워크를 정확하게 모델링할 수 없어 엄격한 의미에서 QoS를 보장할 수 없고, 후자의 경우에는 경로 계산이 매우 어려워지게 된다 (이 경우의 경로 계산 문제는 일반적으로 NP-hard 문제가 됨). 여

기에 대한 절충안이 다중의 라우팅 메트릭을 하나씩 순차적으로 적용해 적정 경로를 필터링해 나가는 방법이다<sup>[1]</sup>. 그러나 이 방법으로는 다중의 메트릭에 대해 종합적으로 최적의 경로를 발견할 수는 없다. 즉, 이 방법은 경로 계산의 복잡성과 최적성을 절충하는 방안이다.

또한, QoS 라우팅에서는 네트워크에 부과되는 트래픽 로드에서 따라 동적으로 변화하는 가용 네트워크 자원의 변화를 반영하기 위하여 동적인 라우팅 메트릭을 사용하게 된다. 동적인 라우팅 메트릭의 문제는 시간이 감에 따라 이들 동적 메트릭으로 표현되는 네트워크 상태가 변화하기 때문에 이러한 네트워크 상태 정보를 라우터 간에 빈번하게 주고 받기 위한 오버헤드가 증가하게 될 뿐 아니라 이러한 변화에 따라 경로 계산이 다시 이루어져야 한다는 점이다. 이러한 라우팅 프로토콜의 오버헤드를 줄이기 위하여 라우팅 메트릭을 양자화할 수 있다<sup>[1, 3, 4]</sup>.

## 2. 경로 계산 및 라우팅 오버헤드

이렇게 QoS 라우팅을 위해서는 복합적이고 동적인 라우팅 메트릭 사용으로 인한 라우팅 오버헤드 및 경로 계산의 복잡도 증가가 불가피하므로 QoS 라우팅 구현의 가능성을 타진해 보는 연구<sup>[5]</sup> 및 그 오버헤드를 줄이기 위한 일련의 연구들이 이루어졌다<sup>[4, 6, 7, 8]</sup>. 구현의 오버헤드를 줄이는 방안은 크게 경로 계산 오버헤드를 줄이기 위한 방안과 네트워크 상태 업데이트를 위한 오버헤드를 줄이기 위한 방안으로 나뉜다.

경로 계산 오버헤드를 위해 제안된 방안은 경로의 사전 계산 (pre-computation) 및 캐싱 (caching) 방안이다<sup>[7, 8]</sup>. QoS 라우팅의 경로 계산은 동적인 라우팅 메트릭을 사용하므로 가장 최근의 네트워크 상태 정보를 반영하여 경로를 계산하기 위해서는 라우팅 요청이 있을 때마다 그 때 그 때 현재의 네트워크 상태 정보를 사용하여 경로 계산을

해 주어야 한다. 이러한 방식을 요구기반(on-demand) 방식이라 하는데, 가장 최근의 네트워크 상태 정보를 이용해 경로를 계산한다는 장점이 있지만, 경로 계산을 위한 프로세싱 오버헤드가 매우 크다. 사전 계산은 한 번 계산한 경로를 여러 번 사용함으로써 경로 계산을 위한 프로세싱 오버헤드를 절감한다<sup>[7]</sup>. 즉, 사전 계산 방식에서는 전통적인 라우팅과 같이 모든 목적지로의 QoS 경로들을 계산하여 그 결과를 저장해 두고 라우팅 요청이 있을 때 이렇게 미리 계산된 경로를 사용하는 것이다. [7]에서는 정기적으로 이러한 사전 계산된 라우팅 테이블을 업데이트한다. [7]에 의하면 이 사전 계산 방식에 의해서 프로세싱 오버헤드는 상당히 절감할 수 있으나 그에 비례해 라우팅 성능이 저하함을 볼 수 있다. 사전 계산된 라우팅 테이블의 업데이트 주기가 커지면 동적인 현재 가용 자원 정보 대신 정적인 최대 자원 정보를 이용해 경로를 선택하는 라우팅보다도 성능이 더 나빠질 수도 있다.

사전 계산 방식은 모든 목적지에 대하여 경로를 계산하고 그 결과를 저장해 두기 때문에 모든 목적지에 대하여 QoS 트래픽 플로우 전달 요구가 발생하지 않는다면 프로세싱 및 메모리에 낭비가 있게 된다. 이에 착안하여 오버헤드를 더 절감하려는 방안이 캐시를 이용해 온 디맨드로 계산된 경로 정보를 일정 기간 저장해 두고 한 번 이상 사용하는 것이다<sup>[8]</sup>. 이렇게 함으로써 사용되지 않는 정보를 계산하고 기록하는 오버헤드를 절감할 수 있다. [8]에서는 캐시 엔트리를 대체하거나 업데이트하는 정책에 따라 라우팅 성능 및 오버헤드가 달라짐을 보였다.

경로 계산은 주로 프로세싱 오버헤드만을 야기하는데 반해, 동적인 네트워크 상태 정보를 주고 받기 위한 네트워크 상태 업데이트에 의해서는 이 제어 정보를 전달하기 위한 네트워크 자원 소모 및 제어 정보를 프로세스하기 위한 오버헤드가 모두 발생하게 된다. 따라서 이러한 동적인 네트워크 상태 정보 교환이 QoS 라우팅 프로토콜에서 더 비중이 큰 오

버헤드이다. 특히, 라우팅 프로토콜의 상태 정보 교환 방식이 플러딩에 의한 것이라면 이러한 오버헤드의 비중은 더욱 커지게 된다. [6]은 이러한 상태 정보 교환 오버헤드를 절감하고 제어하기 위한 방안들을 제시하고 그 방안들의 성능을 비교한 연구를 보고하였다. 네트워크 상태 정보 교환에 의해 발생하는 오버헤드는 상태 정보 갱신 유발 정책에 따라 달라지게 되는데 [6]에서 제안하고 비교한 갱신 유발 정책은 다음의 세 가지이다.

- 상대적인 가용 자원 변화를 혹은 임계치 기반 갱신 유발 정책: 지난번의 네트워크 상태 정보 선전 시의 가용 자원의 양과 현재 가용 자원의 양의 차가 어떤 임계치를 초과한 경우 새로운 네트워크 상태 정보를 선전
- 절대적인 가용 자원 변화 혹은 클래스 기반 갱신 유발 정책: 가용 자원 양을 몇 개의 클래스로 나누고 가용 자원 양이 변화하여 클래스 경계를 넘어서는 경우 새로운 네트워크 상태 정보를 선전
- 타이머 기반 갱신 유발: 주기적으로 새로운 네트워크 상태 정보 선전

이러한 각각의 스킴에서 모두 갱신 정보의 양과 경로 선택에 사용할 네트워크 상태 정보의 정확성 사이에는 서로 상쇄 관계가 있다. 1), 2)의 의해서는 라우터가 보유하게 되는 네트워크 상태 정보가 불확실할 수는 있으나 어느 범위 안에 있다는 것은 확실히 알 수 있다. 그러나 네트워크 상태 정보의 발생 양은 네트워크의 동적인 정도에 따라 변하게 되므로 예측할 수 없다. 3)의 타이머 기반 갱신 유발을 사용하면 네트워크 상태 정보의 최대 발생량을 예측할 수는 있으나 라우터가 보유하게 되는 네트워크 상태 정보의 정확성이 어느 정도인지를 가늠할 수 없다. 3)의 방법은 1), 2)의 방법과 함께 복합적으로 사용되어 네트워크 상태 정보를 교환하는 오버헤

드를 어느 범위 이하로 억제하는 역할을 하기도 한다.

### 3. 종단-대-종단 QoS 보장을 위한 경로 선택 방법

QoS 라우팅에서의 경로 선택은 사용자 플로우의 QoS 요구를 만족시킬 수 있는 적정 경로를 선택하되 그 플로우에 의해 소모되는 네트워크 자원의 양을 절감하고 네트워크 상의 부하 분포를 균등하도록 조절하므로써 네트워크 자원 활용율을 극대화하는 것을 목적으로 한다. 그런데 이러한 경로 선택 알고리즘은 QoS를 표시하는 메트릭에 따라 그 복잡도가 달라지게 된다. QoS 요구를 표시하는 대표적인 메트릭은 지연, 지연 지터, 대역폭, 손실율 등이 있다.

이 중 지연이나 지연 지터와 같은 증가기반(additive) 메트릭의 경우에는 이들 메트릭을 다중으로 QoS의 제약 조건으로 사용하여 적정 경로를 찾는 문제나, 이들 제약 조건을 만족하는 적정 경로 중 최소 비용 경로를 선택하는 문제가 일반적으로 NP-complete 임이 알려져 있다<sup>[9]</sup>. 따라서, 이러한 문제에 대해서는 폴리노미얼 시간 휴리스틱에 대한 연구가 다양하게 이루어졌다<sup>[10, 11, 12, 13, 14]</sup>. 특히, [14]에서는 Integrated Service 클래스의 보장서비스 클래스에서 제안된 것처럼<sup>[15]</sup>, 지연 요구를 각 노드에서의 율 보장 요구로 변환하여 적정 경로를 선택하는 방식을 제안하였고, 여기에 추가로 적정 경로이면서 최적의 부하 분포 균일화를 이룰 수 있는 경로를 선택함으로써 좀 더 네트워크의 플로우 수용율을 높일 수 있는 방안을 제시하였다.

대역폭인 손실율과 같이 최소치 혹은 최대치 기반의 메트릭을 QoS 요구 메트릭으로 하면 적정 경로 선택 문제는 훨씬 간단해진다. 따라서, 이 경우에는 적정 경로를 선택하되 네트워크 자원 활용율 및 네트워크의 플로우 수용율을 높이는 면에서 유리한 경로를 선택하는 방안에 대한 연구가 다양하게 이루어졌다<sup>[10, 11, 16]</sup>. 네트워크의 자원 활용율 및 플로우 수용율을 높이기 위해서는 일련의 경로 선택에 의하

여 네트워크 상에 부과되는 트래픽 부하의 분산이 될 수 있으면 균일하여야 하고, 한 플로우가 전달되기 위해 소모되는 총 네트워크 자원이 가능한 한 적어야 한다. 하나의 플로우 전달을 위해 소요되는 네트워크 자원을 최소화하기 위해서는 QoS 제약을 만족시킬 수 있는 적정 경로들 중 최소 홉수의 경로를 선택해야 하는데, 이것이 경우에 따라서는 네트워크 상의 부하 분포 균일화 목적과 상충될 수 있다.

[16]에서는 대역폭을 QoS 요구 메트릭으로 하는 경우, 자원 사용 최소화과 부하 분포 균일화의 두 가지 측면에서 서로 다른 상쇄 효과를 가지고 있는 네 가지의 경로 선택 알고리즘을 제시하고 그 성능을 비교한 결과를 보고하였다. 이 연구에 의하면 네트워크 부하가 높은 경우에는 선택되는 경로의 홉수에 제한을 두는데 더 비중을 두는 경로 선택 알고리즘의 성능이 더 좋고, 네트워크 부하가 낮은 경우에는 부하 분포 균일화를 도모하는데 더 비중을 둔 경로 선택 알고리즘의 성능이 약간 나음을 볼 수 있다. [10, 11, 16]에서 보고된 결과를 종합적으로 보면, 일반적으로 적정 경로들 중 최소 홉수 경로를 선택하는 방식의 성능이 우수하며, 우회(alternate) 경로를 사용하는 것은 매우 제한적으로 이루어져야 함을 알 수 있다.

#### 4. 기타 QoS 라우팅에서 고려되어야 할 문제들

좀 더 효과적으로 서론에서 제시한 QoS 라우팅의 목적들을 성취하기 위해서는 QoS 라우팅과 함께 상위 레벨에서의 입장 제어, 플로우 우선순위 제어, 다중 서비스 클래스에 대한 자원 할당 제어 등의 세 가지의 제어가 이루어져야 한다<sup>(1)</sup>. 또한, 전통적인 라우팅에 비하여 QoS 라우팅을 위한 라우팅 프로토콜 오버헤드 및 복잡도가 더 높기 때문에 확장성의 문제가 더 심각한데 이에 대한 고려가 필요하다.

##### 1) 상위 레벨의 입장 제어

QoS 라우팅을 하는데 있어서 주된 목적 중 하나가 네트워크의 단위시간 당 작업량을 늘리는데 있다. 이러한 측면에서 볼 때에는 QoS를 만족시킬 수 있는 경로가 있다고 해서 무조건 그 경로로 플로우를 라우팅하는 것은 바람직하지 않다. 이것은 차선(alternate) 경로를 아무런 제약 없이 사용하는 것과 마찬가지로 트래픽 부하가 높은 상황에서는 상당히 심각한 성능 저하를 가져올 수 있기 때문이다<sup>(17, 18)</sup>. 따라서, 어떤 QoS 요구 플로우에게 경로를 할당하려고 하는 경우에는 플로우가 라우트될 경로를 따라 그 플로우에 할당해야 하는 자원의 총량이 얼마나 되며 현재 가용 자원의 수준에 비해 볼 때 그 양이 어떠한 비중을 차지하는지를 고려하여 플로우를 받아들일 것인지를 결정하여야 한다. 즉, 플로우에 경로를 할당하는 비용이 그에 대한 수입을 초과하지 않도록 해야 한다. 이 때의 비용이란 플로우가 라우트될 경로 상에서의 자원을 그 플로우가 사용하므로써 추후 다른 플로우의 요구를 들어 줄 수 없게 되어 발생하게 되는 수입 손실을 말한다.

##### 2) 플로우 우선순위 제어

플로우의 우선순위를 제어하기 위해서는 먼저 트래픽 플로우의 우선순위를 결정할 수 있는 정책이 있어야 하고, 사용자 플로우가 어떤 우선순위를 주장할 때 네트워크에서 이것이 합당한지를 확인할 수 있는 방법이 정의되어야 한다. 그리고 QoS 라우팅 스킴은 우선순위가 더 높은 플로우일수록 요구한 QoS를 만족시키는 경로를 사용할 수 있는 확률이 더 높아지도록 해야 한다.

그런데, 네트워크가 이렇게 다중의 우선순위 트래픽 플로우들을 서비스해야하는 경우 아래의 3)에서 논의한 것처럼 우선순위가 낮은 플로우에 대한 자원을 절대적으로 할당해 두지 않는다면 우선순위가 낮은 플로우의 경우 혼잡이나 서비스 고갈을 겪게 될 수 있다. [19]에서는 우선순위가 다른 다중의 서비

스 클래스를 지원하는 네트워크에서 높은 우선순위의 플로우에 대한 입장 허용율을 저하시키지 않으면서 낮은 우선순위의 플로우에 대한 서비스를 향상시켜 전체적인 네트워크 작업량을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. [19]에서 제시한 방안의 기본적인 아이디어는 높은 우선순위 트래픽 플로우를 위한 경로 계산에 사용하는 링크 메트릭에 낮은 우선순위 트래픽의 혼잡도 정도를 반영하므로써 높은 우선순위 트래픽 플로우가 낮은 우선순위 플로우로 인해 혼잡한 지역을 피해서 경로를 선택하도록 한다는 것이다.

### 3) 다중 서비스 클래스에 대한 자원 할당

네트워크 엔지니어링을 통해 각 서비스 클래스에 대해 예상된 양의 트래픽 요구를 들어주도록 해야 한다. 이렇게 하기 위해서는 라우터와 링크의 자원을 논리적으로 서비스 클래스 별로 할당하는 것이 필요한데, 이러한 서비스 클래스 별 자원 할당은 정적으로 이루어질 수도 있고 동적으로 이루어질 수도 있다. 정적인 자원 할당은 단순하다는 장점이 있지만, 자원을 공유하기 위해 멀티플렉싱되는 플로우가 같은 서비스 클래스에 속하는 플로우들로 제한되므로 정적 자원 할당시에 가정한 트래픽 로드와 실제 부과되는 트래픽 로드의 구성이 동적으로 달라짐에 따라 네트워크의 자원 이용 효율이 저하하게 된다. 동적인 자원 할당은 현재의 트래픽 플로우 요구에 따라 서비스 클래스 별로 자원을 할당하므로 네트워크 자원 활용율은 높지만 복잡하며 서비스 클래스 별로 최소한의 플로우 입장 승인 혹은 최소한의 서비스 정도 제공을 지원하기 어렵다.

다중 서비스가 네트워크 자원을 공유하는 경우 고려해 주어야 할 또 다른 사항은 서비스 클래스 별로 어느 정도의 자원을 할당하느냐는 문제이다. 우선순위가 높은 서비스 클래스에 대한 자원 할당율을 높이면 그만큼 우선순위가 높은 사용자 플로우에 대한 블라킹율을 낮출 수 있다는 장점이 있지만, 우선순

위가 낮은 서비스 클래스에 대하여 가용한 네트워크 자원이 우선순위가 높은 서비스 클래스에 속하는 트래픽 플로우의 분포 및 부하에 의해 크게 영향을 받게 되며, 경우에 따라 우선순위가 낮은 트래픽에 의해 혼잡이 발생하거나 우선순위가 낮은 트래픽에 대한 서비스 고갈 (starvation) 이 발생할 수도 있다.

### 4) 확장성

라우팅 프로토콜의 확장성 문제는 일반적으로 네트워크를 계층적으로 병합 (aggregation) 하여 보므로써 해결하여 왔다<sup>[20]</sup>. 그런데 이렇게 네트워크를 계층적으로 병합하여 보기 위해서는 상태 정보를 병합해야 하는데 이러한 과정에서 상태 정보의 정확성이 떨어지게 된다<sup>[21]</sup>. 특히, 사용하는 메트릭이 복합적인 경우에는 이러한 상태 정보 병합이 더욱 어려운 문제가 된다. 정확하지 않은 상태 정보에 의해 플로우를 받아들이지 라우트하게 되면 라우트 되는 경로 상에 플로우가 요구하는 QoS를 지원해 줄 수 있는 자원이 실제로는 부족한 상황이 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 플로우를 라우트해 나가면서 동적으로 우회경로를 찾아보는 크랭크백 (crankback) 방법을 취할 수 있다. 그러나 크랭크백에 의해 경로를 찾는 경우에는 플로우를 위한 셋업 시간이 길어지고 우회경로를 사용하므로 전체적인 라우팅 성능에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다.

## III. 인트라도메인에서의 QoS 라우팅: QoS 지원을 위한 OSPF 확장

본 절에서는 현재 인터넷에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 인트라 도메인 라우팅 프로토콜인 OSPF를 QoS 라우팅을 위해 확장하는 방안에 대하여 IETF의 RFC 2676에 제시된 내용을 기반으로 소개하고자 한다<sup>[3, 4, 5]</sup>. RFC 2676에서는

QoS 지원을 위해 OSPF에서 사용할 새로운 라우팅 메트릭, 링크 선전 (link advertisement) 메카니즘, 경로 선택 알고리즘등에 대하여 논의하고 있다. RFC 2676에서 제시된 확장 방안은 가능한 기존의 OSPF 메카니즘을 그대로 유지하면서 플로우의 QoS 요구를 만족시킬 수 있는 경로를 찾아낼 수 있는 방안을 첨가하는 것을 목표로 한다. 이것은 초기에 QoS 라우팅이 기용될 때의 용이성을 고려한데서 기인한 목표이다. 본 절에서는 먼저 RFC 2676이 제안하는 QoS 지원을 위한 OSPF의 확장 방안의 전반적인 구조와 가정을 살펴보고, 경로선택 정보와 알고리즘에 대하여 설명한다. 그리고 구체적으로 QoS 지원 정보를 기존의 OSPF 프로토콜에 어떻게 인코딩하는지에 대해서도 살펴본다.

## 1. 전반적인 구조 및 가정

IETF의 QoS를 위한 OSPF 확장 방안에서는 네트워크 상에서 QoS를 지원하는 라우터들이 각각 자원의 일부를 QoS 플로우를 위해 별도로 책정해 두고 있다고 가정한다. 또한, QoS 플로우를 위해 가용한 현재 자원의 양을 판단할 수 있으며, 이를 선전할 수 있다고 가정한다. 그리고 네트워크의 모든 라우터가 QoS 라우팅 지원이 가능한 라우터들로만 구성된다고 가정하고, 유니캐스트의 경우만을 주로 다루는 것으로 한정한다. 물론 제시된 확장 방안의 많은 부분은 멀티캐스트의 경우에도 적용될 수 있는 것들이다.

QoS를 요구하는 플로우들은 라우팅 프로토콜에서 접근할 수 있는 형태로 QoS 요구사항을 사전에 표시한다고 가정한다. 예를 들어, RSVP의 PATH 메시지 같은 것의 Tspec을 목적지 주소와 함께 라우팅 프로토콜 계층에 넘기면 라우팅 프로토콜에서는 플로우의 요구에 비추어 가장 적합한 경로를 선택하여 주고, 이렇게 선택된 경로는 플로우가 그 경로를 해제할 때까지 혹은 경로가 부적합해질 때까지

그 플로우에 의하여 사용된다.

IETF의 OSPF 확장 방안에서 경로 선택을 위해 사용하는 QoS 메트릭은 대역폭이다. 경로 선택 알고리즘은 대역폭 요구를 만족시킬 수 있는 적정 경로를 선택하면서 네트워크의 자원 사용을 최소화하기 위하여 최소 홉수의 경로를 선택한다. 대역폭은 대부분의 경우 QoS 요구를 표시하기에 적합하지만 모든 범주의 QoS 요구를 표시할 수는 없다. 예를 들어 지연에 민감한 대화식 응용의 경우 위의 기준에 따라 충분한 가용 대역폭을 가지고 있는 한 홉의 위성 링크를 경로로 선택하는 것은 바람직하지 못할 수 있다. 이러한 경우에 대비하여 대역폭이라는 비교적 간단한 QoS 메트릭을 사용하는 것을 보완하기 위해 RFC 2676에서는 지연에 민감한 응용을 위한 경로를 선택할 때에는 경로 선택 알고리즘을 적용하기에 앞서 위성 링크와 같이 지연이 큰 링크를 미리 고려 대상에서 제거하여 버리는 방안을 제시하였다. 보안이나 개인 정보 보호와 같은 다른 정책을 위해서도 이와 같은 방법을 동일하게 적용할 수 있다. 이러한 방식은 단순하다는 장점이 있지만 효율적인 면에서는 좋지 못한 결과를 낳을 수도 있다.

## 2. 경로 선택 정보와 알고리즘

이 절에서는 RFC 2676에서 QoS 경로 선택을 위해 제안한 세 가지의 알고리즘을 소개하고, 이 경로 선택 알고리즘에서 사용하는 정보 및 메트릭에 대하여 살펴보고자 한다. 앞에서 설명하였듯이 QoS 요구를 만족시킬 수 있는 적정 경로를 선택하기 위해서는 먼저 플로우의 요구 사항과 트래픽 특성을 알아야 하고 네트워크에 현재 가용한 자원의 양에 대한 정보가 있어야 한다. 또한, 효율적인 경로 할당을 위해서 새 플로우에 특정 경로를 할당함으로써 소모되는 총 네트워크 자원 양을 고려할 수 있어야 한다. RFC 2676의 QoS를 위한 OSPF 확장 방안

에서 사용하는 메트릭 및 정보를 정리하면 다음과 같다.

- 가용 링크 대역폭: 어떤 링크가 새로운 플로우를 받아들일 수 있으려면 그 플로우가 요구하는 대역폭이 최소한 현재 그 링크에 남아있는 가용 대역폭과 같아야 한다.
- 홑수: 이 정보는 경로 비용을 측정하기 위하여 사용된다. 경로의 홑 수가 적을수록 소모되는 총 네트워크 자원의 양이 적으므로 경로 비용 면에서 더 유리하다.
- 정책: 성능 면에서나 특성상 적합하지 않은 링크를 고려 대상에서 미리 제거하기 위해 정책 정보가 필요하다.

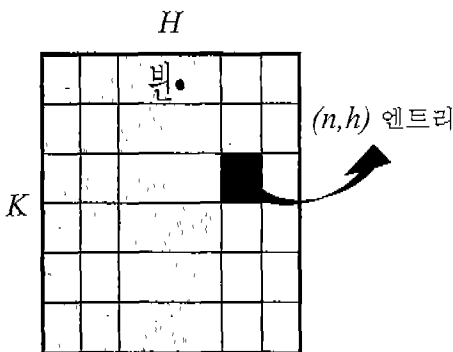
경로 선택 알고리즘은 플로우 별로 라우팅 요구가 있을 때 실행할 수도 있고 사용하는 알고리즘 따라 사전 계산 (pre-computation)이 가능한 경우에는 링크 상태에 변화가 발생하였을 때 실행할 수도 있다. 토폴로지는 OSPF와 마찬가지로 라우터와 네트워크를 점으로 하는 방향성 있는 그래프 (directed graph)로 표현된다. 경로 선택 알고리즘에 따라 위의 세 가지 메트릭을 경로 선택 과정에서 어떻게 사용하는지는 달라지지만 궁극적으로 요구된 대역폭을 제공할 수 있는 경로 중 최소 홑수의 경로를 선택한다는 목적은 모두 동일하다. 그런데

OSPF 토폴로지 표현에서 네트워크도 점으로 표시되므로 이를 유의하여 홑 수를 세는 것이 필요하다. 예를 들어, 두 라우터 사이에 네트워크가 있다면 실제로 두 라우터는 한 홑 떨어져 있는 것이지만 OSPF 토폴로지 표현에는 두 홑이 떨어져 있는 것이 된다. 이를 위해 RFC 2676에서는 0 홑 엣지라는 개념을 도입하였다.

1) 정확하게 QoS 경로를 사전 계산하는 알고리즘 (Algorithm for exact pre-computed QoS Paths)

이 알고리즘은 Bellman-Ford (BF)의 최단 경로 알고리즘을 기반으로 하여, 각 홑 수 별로 최대 가용 대역폭을 계산하도록 원래의 BF를 변형한 것이다. 이 알고리즘을 사용하면 네트워크의 모든 목적지에 대하여 모든 가능한 QoS 경로 (가능한 모든 대역폭 값에 대하여 그에 해당하는 경로들)를 발견할 수 있고, 최소 홑수의 경로 중 최대 대역폭을 가지는 경로를 알 수 있다. 이 알고리즘의 계산 복잡도는 원래의 최단 경로 알고리즘 계산 복잡도와 같은 수준이다.

BF 알고리즘은 h 번째 이터레이션에서 각 목적지에 대하여 h 홑를 넘지 않는 경로들 중 최적 경로 (최대 가용 대역폭 경로)를 알아내므로, 이를 이용하여 그림 1과 같은 라우팅 테이블을 작성할 수 있다.



- K: 목적지 수
- H: 임의의 한 경로상에 최대 허용되는 홑 수
- (n, h) 엔트리: 목적지 n으로 최대 h 홑에 갈 수 있는 경로에 대한 정보
  - ▶ 대역폭: 최대 가용 대역폭
  - ▶ 라우팅 정보: 다음 홑 주소 혹은 전체 경로 정보

그림 1. '정확하게 QoS 경로를 사전 계산하는 알고리즘'에 의하여 만들어지는 라우팅 테이블



2) 요구시 QoS 경로를 계산하는 알고리즘  
(Algorithm for on-demand computation of QoS paths)

QoS 경로는 동적으로 네트워크 상태가 변화함에 따라 업데이트되어야 하므로 전통적인 경로 계산에 비하여 상당히 빈번하게 실행되어야 한다. 1)에서와 같은 방법은 모든 목적지에 대한 모든 가능한 QoS 경로를 한 번에 계산하고 이를 저장해 두기 때문에 경로 재계산이 매우 빈번하게 이루어져야 할 필요가 있는 경우, 즉 네트워크가 매우 동적인 경우에는 낭비가 커지게 된다. 1)과 같이 사전에 경로 계산을 하지 않고 요구가 있을 때마다 해당 목적지로의 요구된 QoS를 만족시킬 수 있는 적정 경로를 계산하면 가장 최근의 네트워크 상태 정보를 사용하여 경로를 계산할 수 있고 QoS 라우팅 테이블을 저장할 필요가 없다는 장점이 있다. 1)에서 소개한 방법과 2)의 방법의 상대적인 효율성은 경로 재계산이 얼마나 빈번하게 이루어져야 하는지에 달렸다.

요구시 QoS 경로를 계산하는 알고리즘은 원래 OSPF가 사용하는 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘을 근간으로 하여 선택하는 경로가 QoS 요구를 만족시키는 경로가 되도록 이를 변형한 것이다. 이 알고리즘은 원래의 Dijkstra 알고리즘을 적용하기 전에 토폴로지에서 현재 플로우가 요구하는 QoS를 만족시킬 수 없는 링크들은 모두 제거시킨다. 그리고 나서 Dijkstra의 최단 경로를 찾는 알고리즘을

적용하여 경로를 찾으면 이 경로는 최소한 현재 요구된 대역폭을 제공할 수 있으면서 가장 짧은 경로가 된다. 또한, 최단 경로를 찾는 데 있어서 원래의 Dijkstra 알고리즘은 단 하나의 최단 후보 경로를 유지하는데 반해 여기에서는 최단 경로 중 최대 대역폭 경로를 발견하기 위하여 동일 홉 수의 경로들을 모두 알고 있어야 하며, 이들 동일 홉 수의 경로들을 가용 대역폭 순으로 정렬해야 한다.

3) 대략적인 QoS 경로를 사전 계산하는 알고리즘  
(Algorithm for approximate pre-computed QoS paths)

이것은 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 모든 목적지에 대해 모든 대역폭 값에 대한 QoS 경로를 사전 계산하는 방법이다. BF 알고리즘의 경우에는 최대 대역폭을 제공하는 경로를 구해나가는 과정에서 각 대역폭 값에 대하여 이를 제공하는 최소 홉 수 정보를 알 수 있게 된다. 그런데 Dijkstra 알고리즘은 이 두 가지 목적을 동시에 달성할 수 없기 때문에 각 대역폭 값에 대하여 이를 제공할 수 있는 최단 경로를 발견하기 위해 Dijkstra 알고리즘을 대역폭 값 별로 실행한다. 이렇게 하기 위해서는 대역폭 값의 종류가 한정되어야 하므로 양자화된 대역폭 값을 사용한다. 예를 들어, 대역폭 값을 낮은 값, 중간 값, 높은 값 등의 종류로 나누고 각 대역폭 값을 제공할 수 있는 모든 목적지로의 최단 경로를 계산하는 것

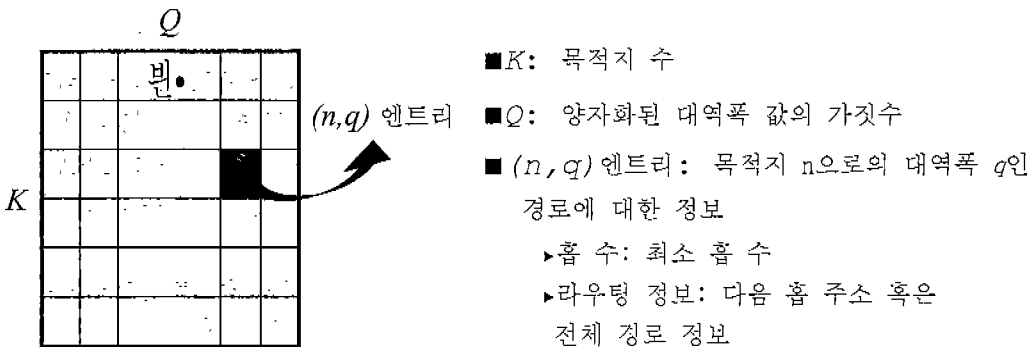


그림 2. '대략적인 QoS 경로를 사전 계산하는 알고리즘'에 의하여 만들어지는 라우팅 테이블

이다. 가장 높은 양자화된 대역폭 값으로부터 시작하여 차례로 다음 값으로 경로 찾는 작업을 진행해 나간다. 각 단계에서 현재 대상으로 하는 대역폭 값 미만의 링크들은 토폴로지에서 제거하고 경로를 계산한다. 그림 2는 이와 같은 과정에 의하여 사전 계산된 QoS 라우팅 테이블의 구조를 보여준다.

#### 4) 계산 복잡도

최악의 경우 계산 복잡도를 비교해 보면 BF 알고리즘에 비하여 Dijkstra 알고리즘이 더 낫기 때문에 일반적으로는 Dijkstra 알고리즘이 더 효율적이라 알려져 있다. N이 점의 수이고, M이 엣지의 수이며, H가 BF 알고리즘의 최대 이터레이션 수라고 할 때, Dijkstra 알고리즘은 최악의 경우 어신포복 복잡도가  $O(M \log N)$ 이고, BF 알고리즘은  $O(H \cdot M)$ 이다. H의 값은 최단 경로의 최대 홉 수이므로 최대 (N-1)이 될 수 있으나 실제적인 네트워크에서는 이보다 훨씬 작은 값이 되는 경우가 많고 특히 입장 제어의 정책으로 H 값을 매우 작은 값으로 제한하는 경우도 있다. 따라서 이들 알고리즘을 네트워크에서 최단 경로를 찾는 문제에 적용하였을 때 실제적으로는 BF 알고리즘이 더 효율적이다.

특히, QoS 경로를 선택하는 경우에는 BF 알고리즘이 홉 수 별로 최적 경로를 찾아나가는 특성으로 인해 대역폭과 홉 수를 동시에 반영하여 경로를 선택하는데 더 유리하다. QoS 경로 계산을 사전에 수행하는 경우, BF를 사용하는 방식 1)의 경우에는 계산 복잡도에 있어서 원래의 BF 알고리즘을 적용하는 것에 비하여 추가되는 것이 없고 가용 대역폭을 정확하게 계산할 수 있다는 이점이 있는 반면, Dijkstra를 사용하는 방식 3)은 Q를 양자화된 대역폭 값의 수라고 할 때, 계산 복잡도가 원래의 Dijkstra 알고리즘의 Q 배가 된다. 또한, 가용 대역폭도 정확한 값을 알 수 없다.

### 3. OSPF 프로토콜 확장

이 절에서는 1절과 2절에서 설명된 대로 QoS를 지원하기 위해 OSPF 프로토콜을 확장하는 것에 대하여 간략하게 소개한다. 앞서 언급한대로 RFC 2676에서 제시된 OSPF 확장 방안은 기존의 OSPF에 대한 영향을 최소화하는 것을 중요한 목표로 삼고 있기 때문에 기존 OSPF 메카니즘과 데이터 구조, 선전 방법, 데이터 포맷 등은 그대로 유지된다.

#### 1) QoS 옵션 표시

OSPF의 Hello 패킷과 데이터베이스 묘사 패킷, LSA(Link State Advertisement) 등에는 모두 Option 필드가 있다. 이 Option 필드는 다양한 선택적 역량 (optional capability)의 OSPF 라우터들이 다른 OSPF 라우터들에게 자신의 선택적 역량이 어느 레벨인지를 알릴 수 있도록 해 준다. 이러한 필드가 있기 때문에 OSPF 라우팅 도메인에는 다양한 역량의 라우터들이 존재할 수 있다. 현재 OSPF 표준안에는 옵션 옥텟 중 3번째 비트부터 7번째 비트까지 5 비트가 사용되고 있는데, 과거 TOS (Type Of Service) 표시 플래그로 사용되었던 8번째 비트를 Q 비트라 이름을 바꾸어 사용한다. 만약 Hello 패킷 옵션 필드의 Q 비트가 세트되어 있으면 이것은 그 Hello 패킷을 보낸 라우터가 QoS를 지원하는 라우터임을 표시하고, 라우터 LSA 패킷 옵션 필드의 Q 비트가 세트되어 있으면 이것은 그 패킷의 QoS 관련 필드를 처리해야 함을 의미한다. 만약 네트워크 LSA 패킷의 옵션 필드 Q 비트가 세트되어 있으면 이것은 그 LSA에 묘사된 네트워크가 QoS 지원 가능성을 의미한다.

2) OSPF 패킷에 자원 정보를 인코딩하는 방법  
QoS 지원 메카니즘을 도입하는 것이 기존의 OSPF 작동과 충돌하지 않도록 매우 주의 깊게

QoS 정보를 인코딩하는 방안이 필요하다. 즉, QoS 정보를 이해할 수 없는 라우터의 경우에는 이 정보를 무시하거나 최악의 경우라도 이 정보를 잘 못 해독하는 것으로 인해 큰 문제가 발생하지 않도록 패킷 포맷을 정의하여야 한다.

사용하는 QoS 메트릭이 무엇인지를 표시하는 것은 기존 OSPF 패킷의 TOS 필드를 이용한다. 다행히 현재 정의된 TOS 값은 4 비트만을 이용해 표시하기 때문에 이 TOS 필드의 5번째 비트를 세트시키면 현재 정의된 TOS 값과 전혀 충돌하지 않는 32가지의 서로 다른 QoS 메트릭을 표시할 수 있다. 현재 정의된 QoS 메트릭은 대역폭과 지연 두 가지이다. 라우터가 TOS 필드의 4 비트만을 해독하도록 (기존에 정의된 TOS 값은 4 비트에 국한되어 표시되므로) 구현된 경우에도 최대한 일치하는 서비스를 위해 QoS 메트릭이 대역폭인 경우 TOS 필드 값(10100)의 LSB(Least Significant Bit) 4 비트가 기존 TOS 값 중 '작업량 극대화'에 해당하는 TOS 값(00100)의 LSB 4 비트와 일치하도록 하였다. 지연의 경우에도 마찬가지로 지연이라는 QoS 메트릭을 표시하는 TOS 값(11000)의 LSB 4 비트와 '지연 최소화'를 의미하는 기존의 TOS 값(01000)의 LSB 4 비트가 일치하도록 하였다. 이렇게 TOS 필드를 이용하여 QoS 메트릭을 표시함으로써 QoS 지원 역량은 새로운 TOS의 한 가지로 간주될 수 있다. QoS를 지원하는 라우터의 경우는 이 TOS 필드를 보고 QoS 메트릭을 알 수 있고, QoS를 지원하지 않는 라우터는 자신이 해독할 수 없는 새로운 TOS 값이므로 이를 무시하게 된다.

OSPF 패킷에서 실제로 QoS 메트릭 값을 기입하는 필드는 길이가 16 비트이다. 대역폭을 QoS 메트릭으로 하는 경우 수 기가(Giga) 비트의 대역폭이 현실화되고 있으므로 QoS 메트릭 값을 이 필드에 그대로 인코딩하는 것은 불가능하다. 따라서, 목계적으로 사용되는 값을 베이스로 하고 메트릭 필드의 몇 비트는 지수를, 나머지 비트는 가수

(mantissa)를 표시하도록 하는 지수식 인코딩으로 기입한다.

요약하여 보면, QoS를 지원하는 라우터는 OSPF 패킷에서 옵션 필드의 Q 비트를 세트하여 자신이 QoS를 지원한다는 것을 네트워크 상의 다른 라우터들에게 알리고, TOS 필드에 자신이 선전하는 QoS 메트릭을 표시하며, QoS 메트릭 필드에 QoS 메트릭의 값을 지수식으로 인코딩하여 선전한다. LSA를 받은 라우터는 QoS를 지원하는 경우에는 Q 비트가 세트되었는지를 체크하고 세트되어 있다면 TOS 필드와 QoS 메트릭 필드를 해독 한다.

#### IV. 멀티캐스트와 인터도메인을 위한 QoS 라우팅

멀티캐스트와 인터도메인에서의 QoS 라우팅은 인트라도메인에서의 QoS 라우팅과 달리 II장에서 살펴 본 QoS 라우팅과 관련된 일반적인 이슈들이 외에도 특수하게 고려해야 할 사항들이 있다. 멀티캐스트의 경우에는 수신원의 이질성을 효율적으로 다룰 수 있는 방안이 고려되어야 하며, 인터도메인의 경우에는 네트워크의 규모가 커지게 되므로 확장성이 용이한 방안이 고려되어야 한다<sup>(1)</sup>.

##### 1. 멀티캐스트를 위한 QoS 라우팅

멀티캐스트 QoS 라우팅에서는 QoS 경로 계산이 어디에서 시작되는지에 따라 수신원의 이질성 고려 가능 여부가 결정된다. 송신원 쪽에서부터 시작해서 수신원 쪽을 향하여 멀티캐스트 트리 결정 과정이 진행된다면 수신원의 이질성이 반영된 효율적인 멀티캐스트 트리를 만들 수 없다. 수신원의 이질성을 고려한 멀티캐스트 트리를 만들기 위해서는 트리 결정 과정이 수신원 쪽에서부터 시작되어 송신원 쪽으로 진행되어야 한다.

송신원에서부터 트리 결정 과정이 시작된 경우에는 송신원의 트래픽 특성 선전을 수신원들에게 전달하기 위해 사용하는 경로와 동일한 경로를 통해 사용자의 QoS 플로우 데이터도 전송하게 된다. 그리고 송신원의 트래픽 특성 선전에 의해 결정되는 최대 자원 요구량에 맞추어 그 경로 상에 자원이 예약되게 된다. 이 멀티캐스트 트리 결정 방법은 송신원의 트래픽 특성 선전을 위해 사용된 경로를 사용자 플로우 데이터 전송에 그대로 사용한다는 면에서 RSVP 시그널링과 일치되는 면이 있다. 그러나 이렇게 송신원으로부터 경로를 결정해 나가면 수신원의 이질성을 반영할 수 없기 때문에, 수신원이 동질인 경우에 적합한 방법이다.

위 방법과는 반대로 수신원 쪽에서부터 시작하여 멀티캐스트를 위한 QoS 경로를 결정해 나가는 경우에는 각 수신원은 자신이 예약하고자 하는 양에 맞추어 송신원으로부터 자신에게 이르는 QoS 경로를 계산할 수 있다. 중간 라우터들은 수신원들로부터 온 예약 메시지를 처리하면서 여러 수신원들로부터의 자원 예약 요청을 효과적으로 반영하여 경로를 설정하고 자원을 예약할 수 있다. 이 방법은 송신원으로부터의 트래픽 특성 선전 메시지를 보내기 위한 최선 서비스 멀티캐스트 경로 계산을 별도로 해야 하지만, 이질적인 수신원의 자원 예약을 효율적으로 수용할 수 있고 자원을 공유할 수 있다는 면에서 매우 유리하다.

## 2. 인터도메인에서의 QoS 라우팅

인터도메인 라우팅에서는 일반적으로 대상으로 하는 네트워크의 규모가 크기 때문에 QoS 라우팅을 위해 매우 동적인 네트워크 상태 정보를 사용하는 것은 확장성 면에서 용이하지 못하다. 따라서 인터도메인의 경우는 비교적 장기간의 로드 정보 통계를 이용하여 네트워크 엔지니어링을 탄탄하게 하고 동적인 네트워크 상태에 대한 정보 교환은 되도록 적

게하는 것을 기본적인 방침으로 한다.

전통적인 라우팅에서와 마찬가지로 다른 도메인에 속하는 네트워크를 연결하고 자신이 속한 도메인의 정보를 외부에 알리는 역할을 하는 경계라우터들이 자신이 속한 AS (Autonomous System)에서 제공할 수 있는 QoS를 표시하는 "AS 메트릭"을 결정하여 이를 선전한다. AS 메트릭은 AS 내에서 특정 통과 플로우들의 병합 플로우에게 제공하기 위해 마련해 둔 가상 경로의 용량을 의미한다. 이웃한 AS로부터 예상되는 트래픽과 그 트래픽 플로우들의 QoS 요구정도 예측에 따라 이러한 가상 경로의 용량을 엔지니어링하게 된다. 이러한 AS 메트릭은 각각의 이웃 AS에 맞추어 다른 메트릭을 사용할 수 있다.

각 AS에서 자신을 경유하는 트래픽 플로우에 대한 상태 정보 양을 제한하기 위해서는 트래픽 플로우들을 병합하여 몇 개의 병합된 스트림으로 다루어야 한다. 이 때, 병합된 플로우들로 이루어진 하나의 스트림은 AS 내에서는 단일 플로우로 취급되어 라우트된다. AS로의 진입 경계에 있는 라우터들은 각 개별 플로우들에 대하여 그 플로우가 어느 병합 스트림에 속하는지 식별하고 현재 AS 내에서 그 스트림을 위해 할당해 둔 가상 경로의 현재 자원 가용량이 충분한지에 따라 개별 플로우에 대해 입장 제어를 행할 수 있다. 이러한 플로우 병합은 AS에서 유지해야 하는 개별 플로우 정보 양을 제한함으로써 확장성을 높여주지만, 병합된 큰 덩치의 스트림을 하나의 경로로 라우팅하기 때문에 부하 분산 및 균일화 측면에서는 좋지 못하다.

## V. 결 론

QoS 라우팅은 전통적으로 인터넷이 제공해 온 최선서비스 기반의 라우팅과는 달리, 사용자 플로우가 요구하는 QoS 요구 조건을 만족시킬 수 있는 적

정 경로를 찾는 라우팅 방식이다. QoS 라우팅은 이러한 적정 경로를 선택하면서, 네트워크 엔지니어링의 부정확성 및 부적응성을 보완하여 네트워크에 부과되는 트래픽 부하와 엔지니어링 간의 일시적인 불일치가 발생하였을 때 성능 저하를 감소시키고, 네트워크의 단위시간당 작업량을 극대화시키는 것을 목적으로 한다.

본 고에서는 QoS 라우팅을 위하여 고려되어야 할 일반적인 주된 이슈들에 대하여 최근 진행된 연구 및 IETF의 RFC와 드래프트 내용을 바탕으로 소개하였다. QoS 라우팅을 위해서는 네트워크의 QoS 지원 역량을 적절히 반영할 수 있는 라우팅 메트릭을 선택하여야 하는데, 이러한 라우팅 메트릭에 따라 경로계산의 복잡도가 달라지게 된다. 또한, QoS 라우팅은 전통적인 라우팅에 비하여 동적이고 복잡한 라우팅 메트릭을 사용하고 복잡도가 높은 경로 계산을 빈번하게 해야하기 때문에 프로토콜 오버헤드가 큰데, 이를 줄이기 위해 네트워크 상태 정보 업데이트 오버헤드를 줄이기 위한 방안과 경로 계산 오버헤드를 줄이기 위한 방안에 대한 연구가 이루어졌다. 일반적으로 라우팅 프로토콜 오버헤드를 줄이는 것과 라우팅 성능 간에는 서로 상쇄 관계가 있다. 그 밖에도 인터넷에서 최선서비스 이외의 더 높은 우선순위를 가지는 QoS 서비스를 제공하기 위해서는 다중의 서비스 클래스에 속하는 플로우 간 우선순위를 공정하게 지원하고 특정서비스의 고갈 현상도 피하면서 네트워크의 작업량을 극대화 하기 위한 연구들이 이루어졌다.

이러한 QoS 라우팅의 일반적인 이슈들에 이어, 본 고에서는 현재 인터넷에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 인트라도메인 라우팅 프로토콜인 OSPF를 QoS 라우팅을 위해 확장하는 방안에 대하여 IETF의 표준안을 기반으로 설명하였다. 또한, 인트라도메인 라우팅과 멀티캐스트 라우팅의 경우, 그 특성상 고려되어야 하는 확장성 문제와 수신원의 이질성 문제에 대한 고려들을 살펴보았다.

종합적으로 보면 현재까지의 QoS 라우팅 연구는 주로 QoS 라우팅의 기본 구조 제시 및 오버헤드 조정을 통한 기용 적정성(feasibility) 검증에 위한 것이었다. 현재까지의 연구가 단일 서비스 별로 라우팅 성능을 향상시키는 것에 집중되었던 것에 반하여 앞으로, 다중의 서비스간에 공정하고 효율적인 QoS 라우팅 서비스를 제공하기 위한 연구가 좀 더 활발하게 이루어질 것으로 예상된다. 그리고 부하 분포 균일화를 통한 작업량 극대화 및 인터넷 환경과 트래픽 특성을 좀 더 종합적으로 고려한 새로운 차원의 라우팅 오버헤드 감소 방안에 대한 연구가 좀 더 활발하게 이루어질 것으로 전망된다. 현재의 라우팅 패러다임에서는 동적인 네트워크 상태 정보에 기반하여 경로를 선택하여야 하는 QoS 라우팅의 경우 라우팅 성능과 오버헤드 발생간에는 극복할 수 없는 상호 역기능 관계가 있기 때문이다.

#### ※참고문헌

- [1] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, and H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet," RFC 2386, Internet Engineering Task Force, Aug. 1998.
- [2] Z. Wang and J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications," IEEE JSAC Vol. 14 No. 7 pp1288~1234, Sep. 1996.
- [3] G. Apostolopoulos, D. Williams, S. Kamat, R. Guerin, A. Orda, and T. Przygienda, "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions," RFC 2676, Internet Engineering Task Force, Aug. 1999.
- [4] R. Guerin, A. Orda, and D. Williams,

- "QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions," Proc. of Globecom '97 pp1903 ~ 1908.
- [5] G. Apostolopoulos, R. Guerin, and S. Karmat, "Implementation and Performance Measurements of QoS Routing Extensions to OSPF," Proc. of IEEE Infocom '99.
- [6] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, and S. Tripathi, "Quality of Service Based Routing: A Performance Perspective," Proc. of SIGCOM '98.
- [7] G. Apostolopoulos, and S. Tripathi, "On the Effectiveness of Path Pre-Computation in Reducing the Processing Cost of On-Demand QoS Path Computation," Proc. of IEEE Infocom '98.
- [8] G. Apostolopoulos, and S. Tripathi, "On Reducing the Processing Cost of On-Demand QoS Path Computation," Proc. of ICNP '98.
- [9] M. Garey, and D. Johnson, "Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness," New York: W. H. Freeman and Co., 1979.
- [10] Q. Ma, and P. Steenkiste, "Quality-of-Service Routing for Traffic with Performance Guarantees," Proc. of IFIP '97.
- [11] T. Korkmaz, and M. Krunz, "A Randomized Algorithm for Finding a Path Subject to Multiple QoS Constraints," Proc. of Globecom '99.
- [12] T. Korkmaz, M. Krunz, and S. Tragoudas, "An Efficient Algorithm for Finding a Path Subject to Two Additive Constraints," Proc. of Globecom '99.
- [13] H. Salama, D. Reeves, and Y. Viniotis, "A Distributed Algorithm for Delay-Constrained Unicast Routing," Proc. of Infocom '97.
- [14] A. Orda, "Routing with End-to-End QoS Guarantees in Broadband Networks," Proc. of Infocom '98.
- [15] S. Shenker, C. Patridge, and R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service," RFC 2212, Internet Engineering Task Force, Sep. 1997.
- [16] Q. Ma, and P. Steenkiste, "On Path Selection for Traffic with Bandwidth Guarantees," Proc. of ICNP '97.
- [17] R. S. Krupp, "Stabilization of Alternate Routing Networks," Proc. of IEEE ICC '82.
- [18] R. J. Gibbens, F. P. Kelly, and P. B. Key, "Dynamic Alternate Routing-Modeling and Behaviour," Teletraffic Science for New Cost-Effective Systems. Networks and Services, ITC-12. Elsevier Science Publishers, 1989.
- [19] Q. Ma, and P. Steenkiste, "Supporting Dynamic Inter-Class Resource Sharing: A Multi-Class QoS Routing Algorithm," Proc. of Infocom '99.
- [20] ATM Forum PNNI subworking group, "Private Network-Network

Interface Spec. v1.0 (PNNI 1.0),”  
afpnni-0055.00, Mar. 1996.

- [21] W. C. Lee, “Topology Aggregation for Hierarchical Routing in ATM Networks,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1995.

## 이 미 정

1983년~1987년 이화여자대학교 전자계산학 학사.

1987년~1989년 University of North Carolina at Chapel Hill 컴퓨터학 석사.

1990년~1994년 North Carolina State University 컴퓨터공학 박사.

1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과 부교수.

관심분야: 고속 통신 프로토콜 설계 및 성능 분석, ATM-LAN 연동 기술, 비디오 전송을 위한 트래픽 제어, QoS 라우팅, Ad-hoc 네트워크