

QoS 라우팅을 위한 부하균등 비용산정 방식

홍종준[†] · 김승훈^{††} · 이균하^{†††}

요약

효율적인 QoS 라우팅을 위하여 각각의 요구에 대한 제한조건을 충족시키는 것은 물론, 전체 네트워크 자원의 최적화에 대해서도 고려해야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 QoS 라우팅의 on-demand 방식과 precomputation 방식의 경로계산에서 자원 비용 산정 방식을 제안하여 전체 네트워크 자원의 최적 사용과 네트워크 자원의 부하 균등을 가능하게 하였다. 또한 도메인으로 분할된 대규모 네트워크의 QoS 라우팅에서 transit traffic을 위한 경로를 precomputation 방식으로 설정하고, 이들 경로들의 예약 가능성을 높이기 위해 자원 예약 측면에서 가장 좋은 K 개의 경로들을 부하균등을 고려하여 설정하는 방안을 제안하였다. 그리고 동일한 자원 비용 산정 방식을 transit traffic과 intra traffic에 모두 적용하여 도메인간 라우팅(inter-domain routing)과 도메인내 라우팅(intra-domain routing)을 무리 없이 연계하면서 transit traffic을 우선으로 하는 방식을 제안하였다. 끝으로 본 논문에서 제안된 비용 산정 방식은 기존의 QoS 라우팅 알고리즘 자체를 변형시키지 않으면서, 그들의 비용 요소만을 대체하여 쉽게 사용되어질 수 있는 장점이 있다.

An efficient Load Balanced Cost Calculation Scheme for QoS Routing

Jong-Joon Hong[†] · Seung-Hoon Kim^{††} · Kyoon-Ha Lee^{†††}

ABSTRACT

An efficient QoS routing scheme needs to find a path that satisfies a given QoS requirements while consuming as few resources as possible. In this paper, we propose two schemes of calculating resources' costs one for on-demand and one for precomputation QoS routing schemes. These schemes are effective in respect to the global network utilization and the balanced use of network resources. We also propose a QoS routing scheme for transit and intra traffic in a large scale of domain-based network. For a domain in the network, the routing scheme first precomputes K multiple paths between all pairs of ingress and egress border routers while considering balancing of the expected load. We, therefore, expect that the paths are better than any other paths in respect to reserving the network resources on paths. The routing scheme combines inter and intra domain routings seamlessly and uses the same cost calculation scheme. Note that our cost calculation schemes for both kinds of traffic could be used in existing QoS routing protocols without any modification in small and large scale of networks.

키워드 : QoS 라우팅(QoS Routing), 부하균등(load balancing)

1. 서론

오늘날 대규모 네트워크에서는 다양한 QoS를 요구하는 다수의 멀티미디어 응용들을 지원해야 한다. 이러한 QoS를 고려한 경로 설정을 위해 QoS 라우팅은 여러 QoS 요구들을 다뤄야 한다. 이들 요구 각각은 경로 선택에 대역폭 및 종단간 지연 등의 제한조건(constraints)을 부과하고 있다[1-8]. 효율적인 QoS 라우팅이 되기 위하여 각각의 요구에 대한 제한조건을 충족시키는 것은 물론, 전체 네트워크 자원의 최적화에 대해서도 고려해야 할 필요가 있다[9].

QoS 라우팅에는 각 요청이 요구하는 QoS 를 만족하는 경로를 매번 요구시 별도로 계산하는 on-demand 방식[1-3]과

모든 송신자/수신자 쌍간에 가능한 모든 QoS 요구에 대한 경로설정을 미리 계산한 후 실제로 요청에서 요구할 때 사용하도록 하는 precomputation 방식[9, 10]이 있다. On-demand 방식은 대규모 네트워크에서는 scalability 문제를 가지고 있는 것으로 알려졌으나 소규모의 네트워크에서는 각 QoS 요구에 적합한 경로를 찾을 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나 QoS요구를 만족하는 경로를 설정한 후, 실제 자원 예약 단계에서 설정된 경로상의 자원이 사용 가능하지 않는 경우가 발생할 수 있으며, crankback 라우팅[5, 17]을 사용하여 이를 해결하기도 한다. 또한 전체 네트워크의 사용 효율을 위하여 전체 네트워크 자원 사용의 최적화를 고려하여야 하지만, 네트워크 일부 지역에서의 congestion을 방지하여야 하는 것도 중요하다. 이를 위하여 전체 네트워크에 걸쳐 각 자원의 부하가 균등하게 사용될 필요가 있다. 각 요청에서 요구하는 QoS를 만족하는 경로를 사용할 때

[†] 정 회 원 : 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 교수

^{††} 정 회 원 : 단국대학교 전자·컴퓨터공학부 교수

^{†††} 통신회원 : 인하대학교 전자·전기·컴퓨터공학부 교수
논문접수 : 2001년 6월 11일, 심사완료 : 2001년 10월 25일

네트워크 자원을 실제로 소모하게 되며, 이를 많은 논문들에서 비용 요소로 다룬다[9]. 본 논문에서는 이러한 비용과는 별도로 QoS 라우팅에서 경로 설정을 위하여 사용할 비용을 산정하는 방식을 제안한다. 이는 전체 네트워크 자원의 최적화는 물론 부하 분산을 고려한 QoS 라우팅을 위하여 네트워크 자원의 비용을 산정한다.

Precomputation 방식에서는 계산 및 통신의 부하를 줄이기 위하여 on-demand 방식에서보다 비교적 정적인 정보를 사용하여 경로 설정 계산을 하게 되며, 따라서 동적인 네트워크 자원 변화를 경로설정 계산 단계에서 반영하기 어렵다. 또한 만일 QoS요구를 만족하는 경로를 하나만을 설정한다면 항상 이 경로만을 사용하므로 과부하의 가능성이 많아지고 자원예약이 불가능할 경우가 많다. 따라서 이를 보완하기 위해 주어진 QoS를 만족하는 $K(K \geq 1)$ 개의 경로를 미리 설정하고 요청 시 이들 중에서 선택하는 방안이 사용된다[11]. 자원예약 측면에서 가장 좋은 K 개의 경로들은 경로의 전부 혹은 일부를 서로 공유하지 않는 경로들이다[12, 13]. Precomputation 방식의 경로설정 단계에서는 동적인 네트워크 자원 변화를 반영하지 못하므로 네트워크의 어느 지역에 congestion이 발생할지를 예측하는 것이 항상 가능하지 않다. 그러나 만일 네트워크의 어느 지역에 경로가 집중적으로 선택되었다면, 그 지역이 실제로 항상 congestion이 발생한다는 것을 의미하는 것은 아니지만, 자원예약의 실패 가능성이 다른 지역의 경로에 비하여 비교적 높다고 판단할 수 있다. 본 논문에서는 가능한 모든 QoS요구에 대한 경로 설정을 미리 계산 할 때, 네트워크의 자원에 대한 부하 균등을 고려하기 위한 비용 산정 방식을 제안한다. 즉, 부하 균등을 위한 요소들을 경로 선정 계산 시의 비용에 포함하도록 하여 실제 자원 예약시 선택된 경로상의 자원 예약의 가능성을 높이도록 한다.

대규모 네트워크에서는 정책적인 이유 및 scalability 문제로 인하여 네트워크를 도메인으로 분할하는 것이 일반적이다. 이러한 경우 QoS라우팅은 송신자와 수신자가 같은 도메인 내에 위치하는 경우의 도메인내 라우팅(intra-domain routing)은 물론 서로 다른 도메인 내에 위치하는 도메인간(inter-domain routing)도 고려하여야 한다. 도메인내 라우팅에서는 도메인 내의 intra traffic을 다루게 되며, 도메인간 라우팅에서는 송신자로부터 송신자 도메인내 임의 border router까지의 outgoing traffic, 임의 도메인내의 border router간의 transit traffic 및 수신자 도메인의 border router로부터 수신자까지의 incoming traffic을 다루게 된다. Precomputation 방식의 도메인간 QoS 라우팅에서는 특히 도메인의 ingress border router로부터 egress border router까지의 transit traffic에 대한 경로 설정 및 자원예약의 성공이 중요하다. 이는 transit traffic을 위한 경로를 intra traffic을 위한 경로보다 더욱 빈번하게 요구하며, 따라서 이러한 경로를 중심으로 congestion이 일어날 가능성이 높기 때문이다. 도메인간 라우팅에서는 여러 도메인들을 거치며 경

로가 설정되는 경우가 빈번하다. 이러한 경우 처음과 마지막 도메인에서는 intra traffic을 위하여 설정된 경로를 이용하며 중간 도메인들에서는 transit traffic을 위하여 설정된 경로를 이용하게 된다. 설정된 경로상의 자원예약 단계에서 중간 도메인에서의 transit traffic을 위한 자원예약이 실패할 경우가 송신자 혹은 수신자 도메인에서의 intra traffic에서의 자원예약 실패보다 더욱 심각한 문제이다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 방식으로 transit traffic 및 intra traffic을 위한 다중 경로 설정을 제안한다. 임의의 도메인에 대하여, 먼저 도메인의 모든 transit traffic을 위한 K 개의 경로를 그들 간의 부하균등을 고려하여 설정한다. 이제 transit traffic을 위한 경로에서 사용된 자원은 부하 균등을 위한 비용이 고려되었으므로 비용이 증가되었을 것이다. 따라서 이제 intra traffic을 위한 경로 설정을 할 때, 고비용의 자원 사용을 회피하도록 유도함으로써 transit traffic을 위한 경로와 전부 혹은 일부가 가능한 한 중복되지 않도록 할 수 있다. 결과적으로 transit traffic간의 경로 중복은 물론, transit traffic과 intra traffic간의 경로 중복을 회피하도록 하여 자원예약 단계에서 transit traffic을 위한 자원예약이 성공할 가능성을 높일 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2절에서는 본 논문에서 대상으로 하는 네트워크에 대한 모델 및 정의를 제시하였다. 제3절과 제4절에서는 각각 on-demand computation 방식의 비용산정과 precomputation 방식의 비용산정 방식을 제안한다. 제5절에서는 transit traffic 및 intra traffic을 구분하여 경로계산을 하는 precomputation 방식의 QoS 라우팅을 제안한다. 제6절에서는 제안한 비용산정방식의 분석을 위한 시뮬레이션 및 결과분석을 제시하고 제7절에서는 결론과 추후 연구분야를 포함한다.

2. 네트워크 모델 및 정의

네트워크는 그래프 $G(V, E)$ 로 표현된다. 여기서 V 는 노드들의 집합을 의미하고, E 는 링크들의 집합을 나타낸다. $N=|V|, M=|E|$ 라 하자.

하나의 경로는 노드들의 유한 집합으로 다음과 같이 표현된다.

$$p = (v_0, v_1, \dots, v_h) \text{ for } 0 \leq n \leq h-1, (v_n, v_{n+1}) \in E$$

여기서 h 는 경로 p 상에서 hop의 수를 나타내어, $h=|p|$ 이다.

QoS 요구는 경로선택을 위한 대역폭, 종단간 지연 등의 제한조건으로 부과된다. 어떤 제한조건에 대하여 링크 e 의 가중치(weight)를 $w(e)$ 로 표현된다. 예를들어 링크 e 의 대역폭(bandwidth)을 $b(e)$ 라고 할 때, $w(e) = \frac{1}{b(e)}$ 로 표현될 수 있다.

주어진 QoS 요구에 맞는 경로, 즉 모든 제한조건을 만족하는 경로를 가용 경로(feasible path)라 한다. 그러나 주어

진 가중치에 대하여 최소 가중치 경로가 전체 네트워크 사용 측면에서 반드시 좋은 선택일 수 없다. 선정된 경로상의 hop의 수가 많을 경우 많은 네트워크 자원을 소모하기 때문이다[9]. 따라서 가용 경로들 중에서 자원 사용에 따른 비용을 최소화하는 경로를 최소 비용 경로라 할 수 있다.

본 논문에서는 네트워크 자원 중에서 링크만을 다룬다. 이러한 링크 비용을 정의하기 위해 $c(e)$ 와 $l(e)$ 를 이용한다. $c(e)$ 는 QoS 요청과의 협의에 따라 결정되는 정적인 비용으로 요청이 링크 e 를 사용할 경우의 실제 소모되는 네트워크 자원 비용을 의미한다. 간단하게 모든 링크에 대하여 같은 비용을 부과할 경우는 경로상의 hop의 수를 비용으로 산정하게 된다. $l(e)$ 는 QoS 라우팅에서 경로 설정을 위하여 사용되는 링크 비용으로 네트워크의 상태에 따라 동적으로 변화하는 비용을 의미한다. 이러한 자원 사용 비용과 함께 다음 절부터 제시하는 경로비용 산정 방식에 적용하여 최소 비용 경로를 설정할 수 있도록 하였다.

3. On-Demand Computation 방식의 QoS라우팅을 위한 비용산정 방식

On-demand 방식에서는 요청이 요구하는 QoS를 만족하는 경로를 설정한 후, 실제 자원예약 단계에서 설정된 경로상의 자원이 사용 가능하지 못한 경우가 발생할 수 있으며, 이러한 경우 crankback 라우팅을 사용하여 문제 해결을 시도하기도 한다[5]. 따라서 초기 경로 설정단계에서 현재 네트워크 상의 자원 사용을 고려한 경로설정이 이루어 질 필요가 있다. 또한 QoS 라우팅은 네트워크 자원의 사용을 최소화하도록 하여 이루어져야 한다. 전체 네트워크 자원의 최적화는 전체 네트워크의 사용 효율을 위하여 고려되어야 하지만, 네트워크 일부 지역에서의 congestion을 방지하기 위하여, 전체 네트워크에 걸쳐 각 자원의 부하가 균등하게 사용될 필요가 있다. 어떤 요청이 링크 e 를 사용할 경우 지불하는 비용은 그 링크의 현재 사용부하 정도에 연관 지을 것인지는 정책적인 문제이다. 만일 연관시킨다면 네트워크의 부하에 따라 요청의 비용이 결정되므로 사용자에게 불합리한 측면이 있다. 따라서 링크 사용에 따른 비용 $c(e)$ 과 QoS라우팅의 경로 선정에 이 링크를 사용할 경우 네트워크에 초래되는 비용 $l(e)$ 를 분리할 필요가 있다. 전자는 요청과의 협의에 따라 결정되는 정적인 비용이고, 후자는 네트워크의 상태에 따라 동적으로 변화하는 비용으로 경로 설정을 위하여 사용된다.

$$l(e) = a \left(1 - \frac{\hat{b}(e)}{b(e)} \right) d(e) + (1-a)c(e) \quad (1)$$

여기서,

$l(e)$: QoS 라우팅에서 경로 설정을 위하여 사용되는 링크 비용
 $c(e)$: 요청이 링크 e 를 사용할 경우의 실제 비용으로 사실 전체 자원사용을 고려하는 비용. 간단하게 모든 링크에 대하여 같은비용을 부과할 경우, 즉 $\forall e \in E, c(e) = c$, 경로상의 hop의 수를 비용으로 산정하게 된다. 여기서 c 는 상

수이다.

$d(e)$: 링크 e 가 네트워크에 미치는 영향의 정도, 즉 링크 e 가 fully loaded되어 더 이상 사용되지 못하게 될 경우 네트워크에 미치는 피해(damage)의 정도. 이는 네트워크에서 각 링크의 역할의 다양성을 고려하기 위한 것으로, 만일 고려할 필요가 없다면, 모든 링크에 대하여 같은 비용을 부과해도 된다. 즉 $\forall e \in E, d(e) = c$, 여기서 d 는 상수이다.

a : 부하 균등 요소(load balancing factor), $0 \leq a \leq 1$
 $l(e)$ 에 $d(e)$ 와 $c(e)$ 를 어떤 비율로 반영할 것인지를 결정하는 요소

if $a = 0$, 즉 $l(e) = c(e)$
 부하균등 분배는 고려치 않고, 전체 자원 사용만을 고려하여 경로선택

if $a = 1$, 즉 $l(e) = \left(1 - \frac{\hat{b}(e)}{b(e)} \right) d(e)$
 부하균등 분배만을 고려하고, 전체 자원 사용은 고려치 않고 경로선택

$b(e)$: 링크 e 의 초기 대역폭

$\hat{b}(e)$: 링크 e 의 가용 대역폭(available bandwidth)

4. Precomputation 방식의 QoS라우팅을 위한 비용산정 방식

Precomputation 방식에서는 모든 송신자/수신자간에 가능한 모든 QoS 요구에 대한 경로설정을 미리한 후 실제로 요청에서 요구할 때 사용하도록 함으로써 요청시의 계산을 많이 줄일 수 있다. 이러한 경우 경로설정은 부하가 많지 않은 시점에서 background로 계산이 가능하다. 한편 이는 on-demand 방식에서보다 비교적 정적인 정보를 사용하여 경로설정 계산을 하게 된다[9, 10]. 만일 그렇지 않다면, 동적인 정보의 변화에 따라 빈번하게 경로설정 계산을 하게 되며 pre-computation 방식을 사용하게 되는 장점을 잃게 된다. 따라서 동적인 네트워크 정보가 반영되지 못하므로, 이미 설정된 경로를 따라 자원을 예약하고자 할 때 on-demand 방식 보다 자원예약이 실패할 가능성이 더 높게 된다. 또한 만일 주어진 송신자/수신자간에 QoS 요구를 만족하는 경로를 하나만을 설정한다면, 요청 시마다 이 경로를 사용하여야 하며 이 경로가 overload 되어 자원예약이 불가능할 경우가 많다. 이를 보완하기 위하여 단순히 하나의 경로만을 설정하기보다는 K 개의 경로를 미리 설정하고 요청시 선택하는 것이 바람직하다[11]. 자원예약 측면에서 가장 좋은 K 개의 경로들은 경로의 전부 혹은 일부를 서로 공유하지 않는 경로이다 [12, 13]. 즉, link-disjoint 혹은 node-disjoint한 K 개의 경로를 선택하는 것이 좋으나 네트워크 topology에 따라서는 이것이 항상 가능하지 않는 경우가 많다. 어느 지역에 집중적으로 경로를 미리 설정한다는 것이 그 지역에 실제로 항상 congestion이 일어난다는 것을 의미하지는 않지만, 자원예약이 실패할 가능성이 비교적 높을 수 있다. 또한 한 송신자/수신자 쌍의 어떤 주어진 QoS 요구만을 대상으로 하는 부하 균등도 중요하지만, 그보다는 가능한 모든 송신자/수신자 쌍의 가능한 모든 QoS 요구에 대한 경로를 미리 설

정할 때의 부하 균등이 더욱 중요하다. 본 논문에서는 부하 균등을 위한 요소를 경로 선정에 위한 계산시의 비용에 포함하도록 하여, 실제로 요청의 자원 예약 시 선택된 경로상의 자원예약의 가능성을 높이고자 한다. 이와 같은 방식으로 동적인 자원변화에 따른 congestion을 정적인 비용으로 예측하여 고려하는 것이 어느 정도 가능하다.

$$l_k(e) = \alpha L_k(e) d(e) + (1 - \alpha) c(e) \quad (2)$$

여기서,

$l_k(e)$, $k=1, 2, \dots, K$: QoS라우팅에서 k 번째 경로를 미리 설정하기 위하여 사용할 링크 비용

$c(e)$: 요청이 링크 e 를 사용할 경우의 실제 비용(앞 절과 동일함)

$d(e)$: 링크 e 가 네트워크에 미치는 영향의 정도(앞 절과 동일함)

α : 부하 균등 요소(load balancing factor), $0 \leq \alpha \leq 1$

$l(e)$ 에 $c(e)$ 와 $d(e)$ 를 어떤 비율로 반영할 것인지를 결정하는 요소

if $\alpha=0$, 즉 $l_k(e) = c(e)$

부하균등 분배는 고려치 않고, 전체자원 사용만을 고려하여 경로선택

if $\alpha=1$, 즉 $l_k(e) = L_k(e) d(e)$

부하균등 분배만을 고려하고, 전체자원 사용은 고려치 않고 경로선택

$L_k(e)$: k 번째 경로설정을 위하여 사용할 링크 e 의 예측 부하율로 다음과 같이 정의된다. ($0 \leq L_k(e) \leq 1$)

$L_k(e)=0$: 링크 e 가 어떤 경로상에서도 사용되지 않는다면

$L_k(e)=1$: 링크 e 가 여러 경로상에서 충분히 사용되어, 실제로 congestion이 일어날 것으로 예측될 때

예를 들어, $L_k(e)$ 는 다음과 같이 정할 수 있다.

$L_0(e)=0$: 초기

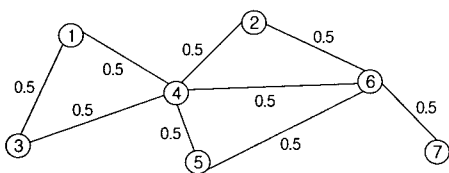
$L_k(e) = L_{k-1}(e)$: 만약 링크 e 가 k 번째 경로에 사용되지 않는다면

$L_k(e) = L_{k-1}(e) + \delta^k$: 만약 링크 e 가 k 번째 경로에 사용될 경우 ($0 < \delta < 1$)

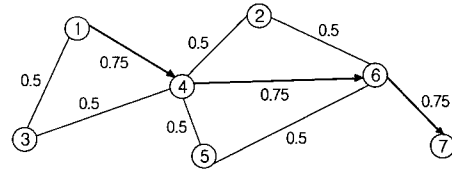
이와 같이 k 번째 경로에서 사용된 링크가 $(k+1)$ 번째 경로에서 사용된 링크보다 예측 부하율에 있어서 부하의 비율이 큰 이유는, k 번째 경로가 $(k+1)$ 번째 경로보다 비용측면에서 좋은 경로이므로, 후에 경로 선택과정에 있어서 더욱 빈번하게 사용될 가능성이 높고 따라서 더욱 congestion이 일어날 가능성이 높기 때문이다.

식 (2)를 적용한 예제는 (그림 1)과 (그림 2)에 나타내어 표현하였다.

$k=0$ 일 때의 모든 링크 $L_k(e)$, 즉 $L_0(e)$ 의 값을 (그림 1)에 표현하였다. 여기서 $\alpha = 0.5$, $\delta = 0.25$ 라 하고, 모든 링크 e 에서 $c(e) = 1$, $d(e) = 1$ 이라 가정한다.



(그림 1) 식 (2)를 위한 네트워크 예제 ($l_0(e)$)



(그림 2) 식 (2)를 적용한 후 네트워크 예제 ($l_1(e)$)

식 (2)를 적용하여, 1번 노드에서 7번 노드로의 $k=1$ 일 때의 경로(1, 4, 6, 7) 계산 후 모든 링크 $l_k(e)$ 즉, $l_1(e)$ 의 값을 (그림 2)에 표기하였다. 경로상의 값만 0.5에서 0.75로 변경이 일어났다.

5. transit traffic 및 intra traffic을 위한 QoS 라우팅

도메인간 라우팅에서는 여러 도메인들을 거치며 경로가 설정되게 되는 경우가 빈번하다. 이러한 경우 처음과 마지막 도메인에서는 intra traffic을 위하여 설정된 경로를 이용하며 중간 도메인들에서는 transit traffic을 위하여 설정된 경로를 이용하게 된다. 설정된 경로상의 자원예약 단계에서 중간 도메인에서의 transit traffic을 위한 자원예약이 실패할 경우가 더욱 심각한 문제라 하겠다. 본 논문에서는 앞 절에서 제시한 비용산정 방식을 이용하여 다음과 같은 순서로 transit traffic 및 intra traffic의 다중 경로를 설정할 것을 제안한다. 먼저 도메인의 모든 transit traffic을 위한 K 개의 경로를 설정하며 이 때 경로들간의 부하 균등을 이루도록 한다. 이제 transit traffic을 위한 경로에서 사용된 자원은 부하 균등을 위한 비용이 고려되었으므로 비용이 증가되었을 것이다. 따라서 이제 intra traffic을 위한 경로 설정을 할 때, 고 비용의 자원 사용을 회피하도록 유도함으로써 transit traffic을 위한 경로와 전부 혹은 일부가 가능한 한 중복되지 않도록 한다.

위와 같은 방법으로 transit traffic간의 경로 중복은 물론, transit traffic과 intra traffic간의 경로 중복을 회피하도록 함으로써, 결과적으로 자원예약 단계에서 transit traffic을 위한 자원예약이 성공할 가능성을 높이게 된다.

Algorithm Precomputation (D)

/* 주어진 도메인 D에 대하여 border router쌍간에 먼저 K 다중 경로 계산 후에 intermediate router 쌍간에 K 다중 경로 계산 */

```

{
   $l_0(e)=0$  for  $\forall e \in E$ 
  for  $k = 1, 2, \dots, K$  do
    for each pair of border routers in decreasing order of significance do
      {
        computes  $l_k(e)=0$  for  $\forall e \in E$ 
        select the  $k$ -th best path for the pair by using a path selection algorithm
      }
    for  $k = 1, 2, \dots, K$  do
      for each pair of intermediate routers do
        {
          computes  $l_k(e)=0$  for  $\forall e \in E$ 
        }
  }

```

```

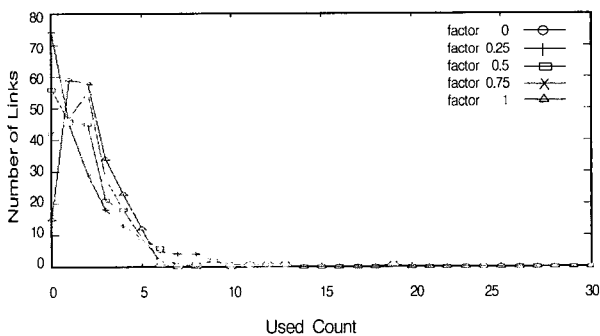
select the k-th best path for the pair by using a path selection algorithm
}
}
    
```

여기서 경로 선택 알고리즘은 최소 비용을 위하여 기존에 제안된 임의의 QoS 라우팅을 이용할 수 있다.

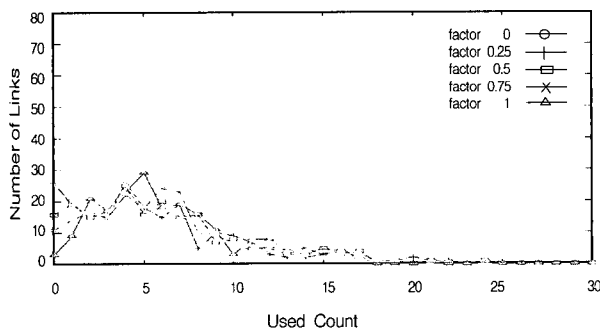
6. 시뮬레이션 및 결과 분석

한 도메인을 구성하는 네트워크를 모델링하기 위하여 Waxman의 그래프 모델 [18]을 근거하여 50개의 노드를 가지는 그래프를 구성하였다. 부하 분산을 검증하기 위해 네트워크 내의 상당한 트래픽을 가정하기 위한 300개 노드 쌍의 연결과 비교적 적은 규모를 위한 100개의 연결에 대하여 실험하였다. 시뮬레이션은 범용 시뮬레이션 언어인 SIMSCRIPT II.5를 사용하였다.

시뮬레이션을 간단히 하기 위해 네트워크내에 모든 링크는 같은 대역폭을 갖고 있고, 각 연결은 동일한 대역폭을 요구한다고 가정하고 $c(e)$ 와 $d(e)$ 의 값을 각각 1로, δ 의 값을 0.25로 가정한다. 모든 연결에 대한 각 링크의 사용횟수를 부하균등의 척도로 측정하였다. 시뮬레이션은 부하균등요소 (α) 값에 따른 부하균등 정도를 나타내기 위하여 0에서 1까지의 값들을 적용하였다. 본 논문에서 제안한 부하균등 비용산정방식을 적용하기 위하여 각 연결에 대하여 Dijkstra 알고리즘에 의한 경로 설정후 식 (2)를 적용하여 경로상의 모든 링크의 비용을 증가시켰다.



(그림 3) 부하균등의 시뮬레이션 결과(100개의 연결)



(그림 4) 부하균등의 시뮬레이션 결과(300개의 연결)

100개 연결과 300개 연결 시뮬레이션 결과, 연결 개수가 많을수록, 즉 트래픽이 많아질수록 부하균등의 효과가 높아짐을 알 수 있다. 따라서 제안한 방식은 트래픽이 많은 대규모의 네트워크에서 효과가 있음을 추정할 수 있다.

(그림 4)와 같이 $\alpha = 0$ 에서 사용횟수가 높은 링크들의 개수가 많이 있음을 발견할 수 있었다. 사용횟수가 높다는 것은 부하균등의 효과는 떨어지고 congestion의 발생확률이 높다고 판단할 수 있다. $\alpha = 1$ 에 접근할수록 사용횟수가 높은 링크수가 적어지게 되었다. 이는 congestion이 덜 발생함을 의미하고 네트워크 전체에 걸쳐 부하가 균등한 경로 설정이 되었다고 판단할 수 있다. 또한 $\alpha = 1$ 에 접근할수록 사용횟수가 적은 값에서 링크수가 많고, 많은 값에서 링크수가 적게 되어 부하균등이 이루어짐을 알 수 있다.

한편 전체 연결들의 네트워크 자원 사용은 <표 1>과 같이 부하균등요소 α 값에 따라 반복된 실험을 거쳐 사용된 링크 총 개수를 구하였다.

<표 1> 네트워크 자원 사용에 대한 결과

부하균등요소	0	0.25	0.5	0.75	1
총 링크수(연결 300개)	1308	1325	1364	1403	1470
총 링크수(연결 100개)	426	427	433	450	508

<표 1>과 같이 $\alpha = 0$ 에서 최소 링크수로 가장 적은 자원을 사용함을 알 수 있고, $\alpha = 1$ 에서 최대 링크수로 가장 많은 자원을 사용함을 알 수 있다.

이와 같은 시뮬레이션에서 나타난 것과 같이 부하균등은 $\alpha = 1$ 에서 최적의 결과를 찾을 수 있었고, 네트워크 자원 사용은 $\alpha = 0$ 에서 최적의 결과를 찾을 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 비용산정방식은 부하균등과 네트워크자원 사용의 최적화 목적에 따라 부하균등요소의 값을 변화하면서 네트워크 특성에 맞추어 적용할 수 있다.

7. 결 론

본 논문에서는 자원 비용 산정 방식을 on-demand 방식과 precomputation 방식의 QoS 라우팅 경로 계산에서 모두 제안하였다. 또한 precomputation 방식으로 계산된 경로의 자원예약 가능성을 높이기 위해 임의의 도메인내 모든 transit traffic을 위한 K개의 경로를 그들 간의 부하균등을 고려하여 설정하는 방안을 제안하였다. 그리고 transit traffic의 자원 예약을 intra traffic에 우선하는 방식을 제안하여 도메인간 라우팅과 도메인내 라우팅을 무리 없이 연계할 수 있도록 하였다. 따라서 QoS 요구를 만족하는 최소 비용 경로들을 설정하여, 부하 균등과 전체 네트워크 자원의 최적 사용을 위한 효율적 해결방안을 제시할 수 있게 되었다.

한편 MPLS(MultiProtocol Label Switching)의 LSP(Label Switched Path)설정[14-16]에 본 논문에서 제시한 transit

traffic을 위한 경로 선택 알고리즘을 사용할 수 있다. 따라서 QoS 요구를 만족하는 LSP설정은 물론 전체 네트워크 자원의 최적화를 고려한 LSP설정을 피할 수 있게 되었다. 또한 설정된 경로들 중에서 복구(restoration) 서비스를 위한 백업 경로를 운용할 수 있게 하여 결함 허용(fault tolerant)의 효과를 얻을 수 있다[13, 14].

본 논문에서 제시한 자원비용 산정의 분석을 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과 부하균등은 부하균등요소 $\alpha = 1$ 에서 최적의 결과를 찾을 수 있었고, 네트워크 자원 사용은 $\alpha = 0$ 에서 최적의 결과를 찾을 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 비용산정방식은 부하균등과 네트워크자원 사용의 최적화 목적에 따라 부하균등요소의 값을 변화하면서 네트워크 특성에 맞추어 적용할 수 있다. 향후 본 논문에서 제시한 네트워크 모델은 계층적 네트워크 모델로 확장하여 계층적 도메인간 라우팅에서의 경로 설정을 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 김승훈, 김치하, "분산멀티미디어 응용을 위한 대규모 고속 통신망에서의 QoS-근거 계층적 도메인간 라우팅 방식", 한국통신학회논문지, 제24권 제7호, 1999.

[2] Seung-Hoon Kim, Kyungshik Lim and Cheeha Kim, "A Scalable QoS-based Inter-Domain Routing Scheme in a High Speed Wide Area Network," Computer Communications, Vol.21, No.4, pp.390-399, 1998.

[3] Yun Sik Kim, Seung-Hoon Kim, and Chul Hye Park, "QoS Guaranteed Routing in Wide Area Networks," Journal of Electrical Engineering and Information Science, Vol.4, No.1, pp.28-36, 1999.

[4] W. C. Lee, M. G. Hluchyj and P. A. Humber, "Routing Subject to Quality of Service Constraints in Integrated Communication Networks," IEEE Network, July-August, 1995.

[5] "Private Network-Network Interface Specification Version 1.0 (PNNI 1.0)," ATM Forum PNNI Subworking Group, af-pnni-0055.000, March, 1996.

[6] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, A. Orda, T. Przygienda, and D. Williams, "QoS Routing Mechanism and OSPF Extensions," RFC 2676, August, 1999.

[7] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, A. Orda and S. K. Tripathi, "Intra-Domain QoS Routing in IP Networks : A Feasibility and Cost/Benefit Analysis," IEEE Networks, Vol.13, No.5, pp.42-54, September-October, 1999.

[8] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, and H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the internet," RFC 2386, August, 1998.

[9] Ariel Orda and Alexander Sprintson, "QoS Routing : The Precomputation Perspective," Proceedings IEEE INFOCOM '2000, March, 2000.

[10] A. Shaikh, J. Rexford, and K. Shin, "Efficient Precomputation of Quality-of-Service Routes," Proc. Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV '98), July, 1998.

[11] Y. L. Chen, "An Algorithm for Finding the k Quickest Paths in a Network," Computers & Operations Research 20(1) : pp.59-65, 1993.

[12] Murali Kodialam, T. V. Lakshman, "Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering," Proceedings of IEEE INFOCOM'2000, March, 2000.

[13] Hiroyuki Saito, Yasuhiro Miyao, and Makiko Yoshida, "Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering," Proceedings of IEEE INFOCOM'2000, March, 2000.

[14] R. Callon, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, G. Swallow, and A. Viswanathan, "A Framework for Multiprotocol Label Switching," Internet draft, draft-ietf-mpls-framework-05.txt, September, 1999.

[15] E. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture," RFC 3031, January, 2001.

[16] S. Wqight, R. Jaeger, F. Reichmeyer, "Traffic Engineering of Load Distribution," Internet draft, draft-wright-load-distribution-00.txt, July, 2000.

[17] Atsushi Iwata, Gerald R. Ash, Adrian Farrel, "Crankback Routing Extensions for MPLS Signalling," Internet draft, draft-iwata-mpls-crankback-00.txt, November, 2000.

[18] B. M. Waxman, "Routing of Multipoint Connections," IEEE J. Select. Areas Commun. Vol.6, No.9, pp.1617-1622, December, 1988.



홍 종 준

e-mail : jjhong@mail.chungkang.ac.kr
 1991년 인하대학교 전자계산공학과 졸업
 1993년 인하대학교 대학원 전자계산공학과 (공학석사)
 1997년~현재 인하대학교 대학원 전자계산공학과 박사과정 수료

1993년~1998년 LG산전 연구소 주임연구원
 1999년~현재 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 조교수
 관심분야 : 초고속통신망, 분산시스템, 알고리즘



김 승 훈

e-mail : edina@anseo.dankook.ac.kr
 1985년 인하대학교 전자계산학과 졸업
 1989년 인하대학교 대학원 전자계산학과 (공학석사)
 1998년 포항공과대학 전자계산학과(공학박사)

1998년~2001년 상지대학교 전자계산공학과 조교수
 2001년~현재 단국대학교 전자.컴퓨터학부 조교수
 관심분야 : 컴퓨터네트워크, 초고속통신망, 알고리즘



이 균 하

e-mail : khlee@inha.ac.kr
 1970년 인하대학교 전기공학과 졸업
 1976년 인하대학교 전자공학과 석사
 1981년 인하대학교 전자공학과 박사
 1977년~1981년 광운대학교 교수
 1981년~현재 인하대학교 전자계산공학과 교수

관심분야 : 지능통신망, 패턴인식