

QoS경로의 효율적인 선계산을 위한 부하균등 비용산정 방식

정희원 홍종준*, 김승훈**, 이균하***

Load Balanced Cost Calculation Scheme for Efficient Precomputation of QoS Routes

Jong-Joon Hong*, Seung-Hoon Kim**, Kyoon-Ha Lee*** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 효율적인 QoS 라우팅을 위하여 선계산(precomputation) 방식의 경로계산에서 자원 비용 산정 방식을 제안하여 전체 네트워크 자원의 최적 사용과 네트워크 자원의 부하 균등을 가능하게 하였다. 도메인으로 분할된 대규모 네트워크의 QoS 라우팅에서 transit traffic을 위한 경로를 선계산 방식으로 설정하고, 이들 경로들의 예약 가능성을 높이기 위해 자원 예약 측면에서 가장 좋은 K 개의 경로들을 부하균등을 고려하여 계산한 후 경로 선택확률에 따라 경로를 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 부하균등 비용산정을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a scheme of calculating resources' costs for precomputation in QoS routing schemes. This scheme is 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 and then selects paths with the probability of path selection. 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. And for analysis of a load balancing cost calculation proposed a simulation is done.

I. 서론

효율적인 QoS 라우팅은 QoS 각각의 요구에 대한 제한조건(constraints) 충족은 물론, 전체 네트워크 자원의 최적화에 대한 고려가 필요하다^[1-9]. 이는 적

은 자원으로 주어진 QoS 요구를 만족시키는 경로를 설정한다면, 이후의 다른 요청에 대한 경로 설정 가능성이 더욱 높아지기 때문이다.

QoS 라우팅에는 각 요청이 요구하는 QoS 를 만족하는 경로를 요구 시 별도로 계산하는 요구 시 계산(on-demand) 방식^[11-13]과 모든 송신자/수신자 쌍

* 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과
논문번호 : 010163-0628, 접수일자 : 2001년 6월 28일

** 단국대학교 전자·컴퓨터학부

*** 인하대학교 전자계산공학과

간에 가능한 모든 QoS 요구에 대한 경로설정을 미리 계산한 후 실제로 요청에서 요구할 때 사용하도록 하는 선계산(precomputation)방식^{[9],[10]}이 있다. 요구 시 계산 방식은 대규모 통신 네트워크에서는 확장성(scalability) 문제를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 QoS요구를 만족하는 경로를 설정한 후, 실제 자원 예약 단계에서 설정된 경로상의 자원이 사용 가능하지 않는 경우가 발생할 수 있으며, crankback 라우팅^{[5],[14]}을 사용하여 이를 해결하기도 한다.

선계산 방식에서는 계산 및 통신의 부하를 줄이기 위하여 요구 시 계산 방식보다 비교적 정적인 정보를 사용하여 경로 설정 계산을 하여, 동적인 네트워크 자원 변화를 경로설정 계산 단계에서 반영하기 어렵다. 또한 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]}. 경로 설정은 전체 네트워크 자원의 최적화 뿐만 아니라 혼잡(congestion)을 방지하기 위한 네트워크 자원의 균등한 사용을 고려해야 한다. 선계산 방식의 경로설정 단계에서는 동적인 네트워크 자원 변화를 반영하지 못하므로 네트워크의 어느 지역에 혼잡이 발생할지를 예측하는 것이 항상 가능한 것은 아니다. 그러나 만일 네트워크의 어느 지역에 경로가 집중적으로 선택되었다면, 그 지역이 실제로 항상 혼잡이 발생한다는 것을 의미하는 것은 아니지만, 자원 예약의 실패 가능성이 다른 지역의 경로에 비하여 비교적 높다고 판단할 수 있다. 이에 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 예약 시 선택된 경로상의 자원 예약의 가능성을 높이도록 한다. 본 논문에서는 선계산 방식의 경로설정 계산을 위한 네트워크 자원의 비용 산정에서 링크 자원만을 대상으로 하였으나, 노드 등 다른 자원에도 적용이 가능하다. 또한 본 논문에서는 실제 경로 설정을 계산하기 위한 알고리즘을 제안하지 않는다. 기존에 제안된 많은 QoS 라우팅에서 사용된

경로설정 알고리즘이 본 논문에서는 별다른 변형 없이 사용될 수 있다. 비용산정에서 사용된 방식과 연계하여 실제 경로 요구 시 경로선택 알고리즘을 제시하였다

대규모 네트워크에서는 정책적인 이유 및 확장성 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 라우팅(inter-domain routing)도 고려하여야 한다. 도메인내 라우팅에서는 도메인 내의 intra traffic을 다루게 되며, 도메인간 라우팅에서는 송신자로부터 송신자 도메인내 임의border router까지의 outgoing traffic, 임의 도메인내의 border router간의 transit traffic 및 수신자 도메인의 border router로부터 수신자까지의 incoming traffic을 다루게 된다. 선계산 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 요구하여, 이러한 경로를 중심으로 혼잡이 일어날 가능성이 높기 때문이다. 도메인간 라우팅에서는 여러 도메인들을 거치며 경로가 설정되는 경우가 빈번하다. 이러한 경우 처음과 마지막 도메인에서는 intra traffic을 위하여 설정된 경로를 이용하여 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 문제라 하겠다. 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 traffic 간의 경로 중복을 회피

하도록 하여 자원예약 단계에서 transit traffic을 위한 자원예약이 성공할 가능성을 높일 수 있다.

II. 네트워크 모델 및 정의

본 논문에서 대상으로 하는 네트워크에 관한 모델의 정의에서 시작하여 다음 절에서 제시할 비용산정을 위한 각각의 요소에 대한 정의를 하였다.

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. $p = (v_0, v_1, \dots, v_h)$ 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. 예를 들어 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 주어진 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. 노드의 비용도 비슷한 방법으로 적용될 수 있다. 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 비용을 가중치와 함께 다음 절부터 제시하는 경로비용 산정 방식에 적용하여 최소 비용 경로를 설정할 수 있도록 하였다

III. 선계산 방식의 비용산정 방식

대규모 네트워크에서 각 요청별로 별도의 경로 설정을 한다는 것은 많은 계산을 요구함은 물론 경로 설정을 위하여 네트워크의 동적인 상황에 맞는 정보를 유지하기 어렵게 한다. 따라서 통신이 이루어질 모든 송신자/수신자 간에 가능한 모든 QoS 요구에 대한 경로설정을 미리 한 후 실제로 요청에서 요구할 때 사용하도록 함으로써 요청시의 계산을 많이 줄일 수 있다. 이러한 경우 경로설정은 부하가 많지 않은 시점에서 background로 계산이 가능하다. 선계산 방식의 경로설정에서는 요구 시 계산 방식의 경로설정에서보다 비교적 정적인 정보를 사용하여 경로설정 계산을 하게 된다^{[9],[10]}. 만일 그렇지 않다면, 동적인 정보의 변화에 따라 빈번하게 경로 설정 계산을 하게 되며 선계산 방식을 사용하게 되는 장점을 잃게 된다. 따라서 동적인 네트워크 정보가 반영되지 못하므로, 이미 설정된 경로를 따라 자원을 예약하고자 할 때 요구 시 계산 방식 보다 자원예약이 실패할 가능성이 더 높다 하겠다. 만일 주어진 송신자/수신자간에 QoS 요구를 만족하는 경로를 하나만을 설정한다면, 매번 요청 시마다 이 경로를 사용하여야 하며 이 경로가 overload되어 자원예약이 불가능할 경우가 많다. 이를 보완하기 위하여 단순히 하나의 경로만을 설정하기 보다는 K 개의 경로를 미리 설정하고 요청 시 선택하는 것이 바람직하다 하겠다^[11]. 자원예약 측면에서 가장 좋은 K 개의 경로들은 경로의 전부 혹은 일부를 서로 공유하지 않는 경로이다^{[12],[13]}.

주어진 송신자/수신자간의 주어진 QoS를 만족하는 K 개의 경로를 미리 설정할 경우, 비용을 최소화하는 경로 즉 전체 네트워크 상의 자원 사용을 최소화 하는 경로를 설정하는 것이 일반적이었다. 전체 네트워크 자원의 최적화를 위하여, 앞 절의 경우와 마찬가지로 간단하지만 효과적인 척도로 최소 hop 경로가 주로 고려되었다. 전체 네트워크 자원의 최적화는 전체 네트워크의 사용 효율을 위하여 고려되어야 하지만, 네트워크 일부 지역에서의 혼잡을 방지하기 위하여, 전체 네트워크에 걸쳐 각 자원의 부하가 균등하게 사용될 필요가 있다. 물론 어느 지역에 집중적으로 경로를 미리 설정한다는 것이 그 지역에 실제로 항상 혼잡이 일어난다는 것을 의미하지는 않지만, 자원예약이 실패할 가능성이 비교적 높다고 할 수 있다. 또한 한 송신자/수신자 쌍의 어

편 주어진 QoS 요구만을 대상으로 하는 부하 균등도 중요하지만, 그보다는 가능한 모든 송신자/수신자 쌍의 가능한 모든 QoS 요구에 대한 경로를 미리 설정할 때의 부하 균등이 더욱 중요하다고 하겠다. 본 논문에서는 부하 균등을 위한 요소를 경로 선정을 위한 계산시의 비용에 포함하도록 하여, 실제로 요청의 자원 예약 시 선택된 경로상의 자원에 약의 가능성을 높이고자 한다. 이와 같은 방식으로 동적인 자원변화에 따른 혼잡을 정적인 비용으로 예측하여 고려하는 것이 어느 정도 가능하다. 다음은 선계산 방식에서의 비용 산정을 나타낸다.

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

여기서

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

$c(e)$: 요청이 링크 e 를 사용할 경우의 실제 비용으로 전체 자원사용을 고려하는 비용.

간단히 모든 링크에 대하여 같은 비용을 부과할 경우, 즉 $\forall e \in E, c(e) = c$, 경로상의 hop의 수를 비용으로 산정하게 된다. 여기서 c 는 상수이다.

$d(e)$: 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 $\forall e \in E, d(e) = d$, 여기서 d 는 상수이다.

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

$l_k(e)$ 에 $c(e)$ 와 $d(e)$ 를 어떤 비율로 반영할 것인지를 결정하는 요소를 의미한다.

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. ($0 \leq L_k(e) \leq 1$) 링크 e 가 어떤 경로상에서도 사용되지 않는다면, $L_k(e) = 0$ 이 된다.

링크 e 가 여러 경로상에서 충분히 사용되어, 실제로 혼잡이 일어날 것으로 예측된다면, $L_k(e) = 1$ 이

된다.

예를 들어, $L_k(e)$ 는 다음과 같이 정할 수 있다.

$$L_0(e) = 0 \quad : \text{초기}$$

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

$$L_k(e) = L_{k-1}(e) + \Delta_{sum} \quad : \text{만약 링크 } e \text{가 } k \text{번째 경로에 사용될 경우}$$

$$\Delta_{sum} = \sum_{i=1}^K \delta^i \quad (0 < \delta < 1) \text{ 이다.}$$

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 혼잡이 일어날 가능성이 높기 때문이다.

그림 1과 2에서는 링크 e 의 예측부하율 $L_k(e)$ 를 $K=5, K=10$ 에 대해 각각 표현하였다. δ 의 값이 1에 가까울수록 링크 e 의 예측부하율 $L_k(e)$ 가 k 의 증가($1 \leq k \leq K$)에 따라 고르게 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 실제 경로선택 과정에서도 K 개의 경로를 비슷한 확률로 선택하여야 함을 의미하게 된다. 반면 δ 의 값이 0에 접근할수록, 링크 e 의 예측부하율 $L_k(e)$ 가 k 의 증가에 따라 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 실제 경로 선택과정에서도 이러한 증가와 비례하여 경로를 선택하여야 함을 의미하게 된다. 이와 같이 어떠한 δ 의 값을 선택하여야 하는가 하는 문제는 실제 고려중인 네트워크

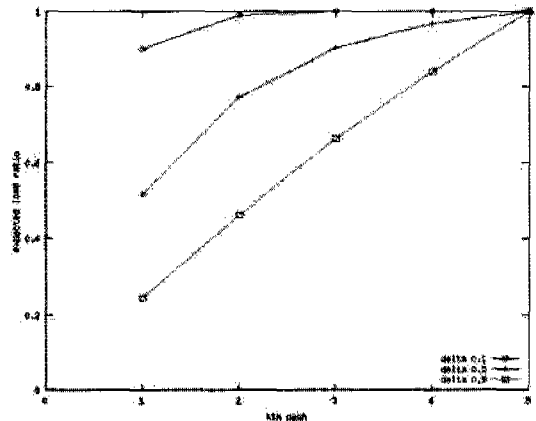


그림 1. K = 5에서의 예측부하율($L_k(e)$)

의 특성을 반영하여 경로 선택과정과 연계하여야 한다.

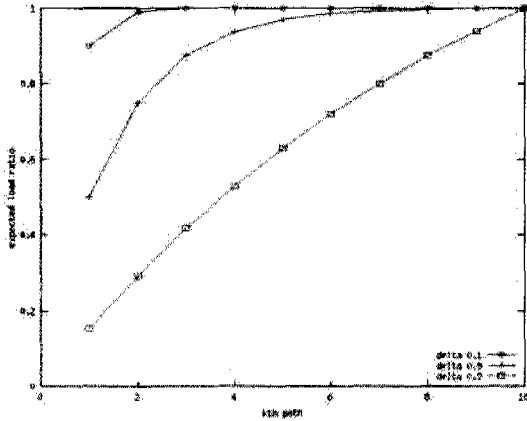


그림 2. K = 10에서의 예측부하율($L_k(e)$)

IV. transit traffic 및 intra traffic을 위한 QoS 라우팅

선계산 방식의 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 혼잡이 일어날 가능성이 높기 때문이다. 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 제안한 비용산정 방식을 이용하여 다음과 같은 순서로 transit traffic 및 intra traffic의 다중 경로를 설정할 것을 제안한다. 먼저 도메인의 모든 ingress border router로부터 egress border router들간의 transit traffic을 위한 K개의 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 traffic

을 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 traffic 간의 경로 중복은 물론, transit traffic과 intra traffic 간의 경로 중복을 회피하도록 함으로써, 결과적으로 자원예약 단계에서 transit traffic을 위한 자원예약이 성공할 가능성을 높이게 된다. 다음 그림 3은 K 다중 경로계산을 위한 제안된 비용산정 방식을 이용한 선계산 알고리즘이다

Algorithm Precomputation(D)

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

```

{
  l0(e) = 0, for ∀ e ∈ E
  for k = 1 to K do
    for each pair of border routers in decreasing
      order of significance do
        {
          computes lk(e), for ∀ e ∈ E
          computes the k-th best path for the pair
            by using a path computation algorithm
        }
    for k = 1 to K do
      for each pair of intermediate routers do
        {
          computes lk(e), for ∀ e ∈ E
          computes the k-th best path for the pair
            by using a path computation algorithm
        }
}

```

그림 3. 선계산 알고리즘과 제안된 비용산정 방식

제안된 비용산정 방식을 이용한 선계산 알고리즘을 통해 K개의 다중 경로가 계산되었다. 실제 경로 요구 시 어떤 경로를 어떤 확률로 선택하여야 하는가는 비용산정 시 사용된 값에 근거하게 된다. 이들 경로들의 선택은 다음의 k에 따른 확률을 통해 이루어진다.

$pr(k^{th})$: k 번째 경로가 선택될 확률이라 하자. 앞의 식(1)으로부터 다음을 유추할 수 있다.

$$pr(K^{th}) = \delta^k / \Delta_{sum} \quad \text{여기서} \quad \Delta_{sum} = \sum_{l=1}^K \delta^l$$

그러면 다음의 2가지 관계가 성립된다.

(관계 1) $pr(1^{st}) \geq pr(2^{nd}) \geq \dots \geq pr(K^{th}) > 0$

(관계 2) $\sum_{k=1}^K pr(k) = 1$

그림 4와 5에서는 경로 선택 확률 $pr(k^{th})$ 를 $K=5, K=10$ 에 대해 각각 표현하였다. 아래 그림4와 5에 나타난 바와 같이 δ 의 값이 1에 접근할수록 k 의 증가에 따라 경로선택 확률 $pr(k^{th})$ 가 고르게 감소한다. 따라서 K 다중경로를 비슷한 확률로 고르게 선택 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 반면 0에 접근할수록 선택의 폭이 줄어들게 된다.

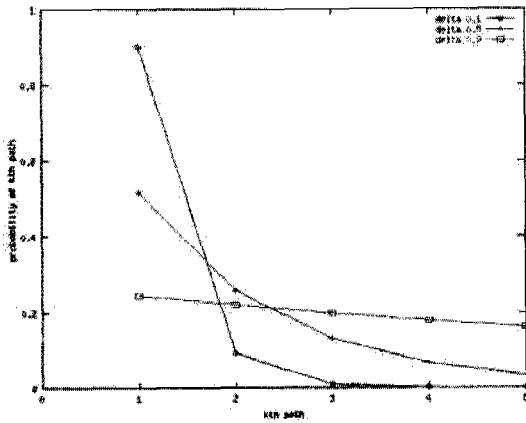


그림 4. $K = 5$ 에서의 k 경로들의 경로선택 확률

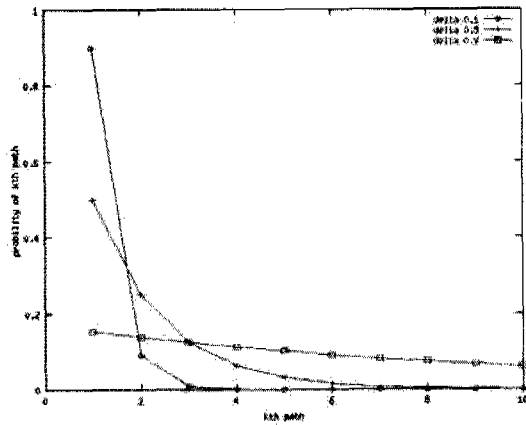


그림 5. $K = 10$ 에서의 k 경로들의 경로선택 확률

다음 그림 6은 K 다중 경로 중 하나의 경로를 확률 $pr(k^{th})$ 에 따라 선택하는 경로선택 알고리즘이다.

Algorithm PathSelection (D, s, t)

```

/* 주어진 도메인 D의 송신자 s, 수신자 t에 대한
K 다중경로 중 하나의 경로를 선택 */
{
    Δsum = 0
    for k = 1 to K do
        Δsum += δk
    for k = 1 to K do
        pr(k) = δk / Δsum
        selects the k-th path with the probability
        pr(k) among K precomputed paths from s to t
    }

```

그림 6. 제안된 경로선택 알고리즘

V. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 부하균등 비용산정방식을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 한 도메인을 구성하는 네트워크를 모델링하기 위하여 Waxman의 그래프 모델^[15]을 근거하여 그림 7과 같이 50개의 노드를 가지는 그래프를 구성하였다. 부하분산을 검증하기 위한 네트워크 내의 상당한 트래픽을 가정하기 위하여 300개의 노드 쌍의 연결에 대하여 실험하였다. 시뮬레이션은 범용 시뮬레이션 언어인 SIMSCRIPT II.5를 이용하였다. 시뮬레이션을 간단히 하기 위해 네트워크내 모든 링크는 같은 대역폭을 갖고 있고, 각 연결은 동일한 대역폭을 요구한다고 가정하며 $c(e)$ 와 $d(e)$ 의 값을 각각 1로, δ 의 값을 0.25로 가정하였다.

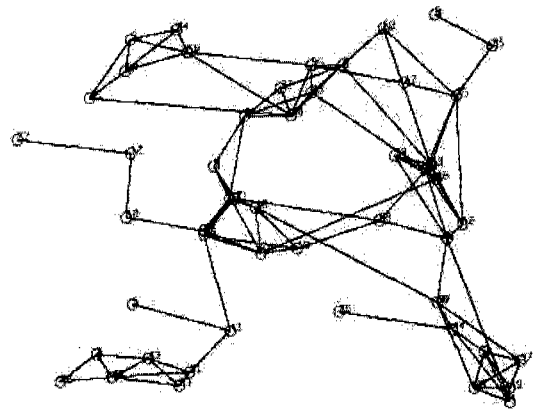


그림 7. 시뮬레이션을 위한 그래프모델

모든 연결에 대한 각 링크의 사용 횟수를 부하균등의 척도로 측정하였다. 시뮬레이션은 부하균등요

소(α) 값에 따른 부하균등 정도를 나타내기 위하여 0에서 1까지의 값들을 적용하였다. 본 논문에서 제안한 부하균등 비용산정방식을 적용하기 위하여 각 연결에 대하여 Dijkstra 알고리즘에 의한 경로계산 후 식(1)을 적용하여 경로상의 모든 링크의 비용을 증가시켰다.

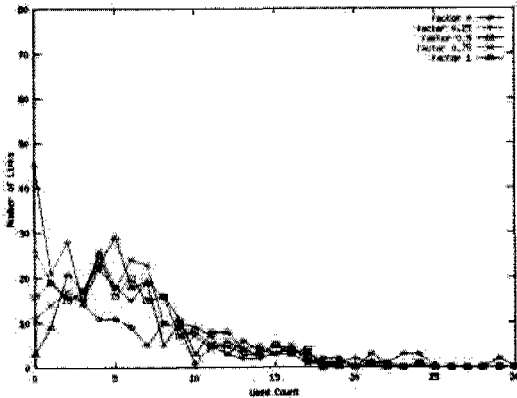


그림 8. 부하균등 비용산정의 시뮬레이션 결과

분석 결과, 그림 8과 같이 $\alpha = 0$ 에서 사용횟수가 높은 링크들의 개수가 많이 있음을 발견할 수 있었다. 사용횟수가 높다는 것은 부하균등의 효과는 떨어지고 혼잡의 발생확률이 높다고 판단할 수 있다. 또한 $\alpha = 1$ 에 접근할수록 사용횟수가 높은 링크수가 적어지게 되었다. 이는 혼잡이 덜 발생함을 의미하고 네트워크 전체에 걸쳐 부하가 균등한 경로설정이 되었다고 판단할 수 있다.

한편 전체 연결들의 네트워크 자원 사용은 표 1과 같이 부하균등요소 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 | 1308 | 1325 | 1364 | 1403 | 1470 |

표 1과 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. 즉 $\alpha = 0$ 에 비하여 $\alpha = 1$ 일 경우 약 12.4%의 자원을 더 사용하였다.

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 비용산정 방식은 부하균등과 네트워크자원 사용의 최적화 목적에 따라 부하균등요소의 값을 변화화하면서 네트워크 특성에 맞추어 적용할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 자원비용산정 방식을 선계산 방식의 QoS 라우팅 경로 계산에서 제안하였다. 이로써 전체 네트워크 자원의 최적화는 물론 네트워크 자원의 부하 균등을 가능하게 한다. 또한 선계산 방식으로 계산된 경로의 자원예약 가능성을 높이기 위해 임의의 도메인내 모든 transit traffic을 위한 K개의 경로를 그들 간의 부하균등을 고려하여 계산한 후 경로선택 확률에 따라 경로를 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. 본 논문에서 제시한 자원 비용 산정 분석을 위한 시뮬레이션 결과 부하균등과 네트워크 자원의 최소비용 둘 다 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 본 논문에서 제시한 네트워크 모델은 계층적 네트워크 모델로 확장하여 계층적 도메인간 라우팅에서의 경로 설정을 연구할 예정이다

참고 문헌

- [1] 김승훈, 김치하, "분산멀티미디어 응용을 위한 대규모 고속 통신망에서의 QoS-근거 계층적 도메인간 라우팅 방식," 한국통신학회논문지, 제24권 제7호, 1999
- [2] Seung-Hoon Kim, Kyungsik 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 Subnetworking 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, 1999

[8] E. Crawley, R. Mair, 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," Preceeding 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 INFOCOM2000, March 2000

[13] Hiroyuki Saito, Yasuhiro Miyao, and Makiko Yoshida, "Traffic Engineering using Multiple Multipoint-to-Point LSPs," Proceedings of IEEE INFOCOM2000, March 2000

[14] Curtis Villamizer, "MPLS Optimized Multipath (MPLS-OMP)," Internet draft, draft-ietf-mppls-omp-00.txt, August 1999

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

홍 종 준 (Jong-Joon Hong)

1991년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과 졸업
 1993년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과 (공학석사)
 1997년~현재 : 인하대학교 대학원 전자계산공학과 박사과정 수료
 1993년~1998년 : LG산전 연구소 주임 연구원
 1999년~현재 : 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 조교수
 <주관심 분야> 초고속통신망, 분산시스템, 알고리즘

김 승 훈 (Seung-Hoon Kim)

1985년 2월 : 인하대학교 전자계산학과 졸업
 1989년 8월 : 인하대학교 전자계산학과 (공학석사)
 1998년 2월 : 포항공과대학 전자계산학과 (공학박사)
 1998년 3월~2001년 8월 : 상지대학교 전자계산공학과 조교수
 2001년 9월~현재 : 단국대학교 전자·컴퓨터학부 조교수
 <주관심 분야> 컴퓨터네트워크, 초고속통신망, 알고리즘

이 균 하 (Kyoon-Ha Lee)

1970년 : 인하대학교 전기공학과 졸업
 1976년 : 인하대학교 전기공학과 석사
 1981년 : 인하대학교 전기공학과 박사
 1977년~1981년 : 광운대학교 교수
 1981년~현재 : 인하대학교 전자계산공학과 교수
 <주관심 분야> 지능통신망, 이동통신, 패턴인식