

통계적 구간 추정에 근거한 비용과 지연시간에 조화로운 유니캐스트 라우팅을 위한 새로운 인자

김문성¹ · 방영철² · 추현승^{1*}

New Factor for Balancing Cost and Delay Unicast Algorithm Based on Statistic Interval Estimation

Moonseong Kim · Young-Cheol Bang · Hyunseung Choo

ABSTRACT

The development of efficient Quality of Service (QoS) routing algorithms in high speed networks is extremely difficult to achieve, because in order to operate, divergent services require various quality conditions. If the parameter of concern is to measure the delay on a specific link, the routing algorithm obtains the Least Delay (LD) path. Meanwhile, if the parameter is to measure the link cost, the Least Cost (LC) path is calculated. The Delay Constrained Least Cost (DCLC) path problem of the mixed issues on the LD and LC has been shown to be NP-hard. The path cost of LD path is relatively more expensive than that of the LC path, and the path delay of the LC path is relatively higher than that of the LD path in the DCLC problem. In this paper, we introduce the new factor for balancing cost and delay. The simulation result shows that our introduced factor is satisfied to solve the DCLC problem.

Key words : Quality of Service (QoS), Delay Constrained Least Cost (DCLC) problem, interval estimation

요약

고속 네트워크에서 QoS 라우팅은 수많은 사용자의 요구를 만족하기가 매우 어렵다. 네트워크의 경로설정 알고리즘에서 측도로써 단지 링크지연시간만을 고려한다면 그 경로는 최소지연시간 경로가 될 것이며, 링크비용만을 고려한다면 최소비용경로를 찾을 것이다. 지연시간 한계의 최소비용(Delay Constrained Least Cost; DCLC)문제는 NP-hard 문제로 알려져 있으며, 두 개의 인자 경로비용과 지연시간을 혼합한 문제로 생각할 수 있다. 경로설정 시 최소지연시간을 생각하면 그 경로는 상대적으로 높은 비용의 경로이며, 반대로 최소비용만을 생각하면 그 경로는 상대적으로 높은 지연시간을 얻는다. 따라서 DCLC문제를 풀기 위해서는 단 하나의 인자만을 고려해서는 안 되며 두 개의 인자를 동시에 고려할 수 있는 새로운 인자를 요구하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 DCLC 문제를 풀기 위해 경로비용과 지연시간을 동시에 확률적으로 고려한 새로운 인자를 소개한다. 시뮬레이션 결과는 새로운 인자가 DCLC 문제에 적절하다는 것을 보여주었다.

주요어 : Quality of Service (QoS), 지연시간 한계의 최소비용 문제, 구간추정

1. 서론

멀티미디어 기술은 네트워크의 고속화와 더불어 많은

인터넷 응용 기술들을 발생시켰다. 멀티미디어 응용 서비스에서는 특정 시간 내에 데이터 전송이 이루어져야 하는 시간 의존성이 있다. 화상회의, 주문형 미디어 서비스, 인터넷 방송, 원격 쇼핑, 원격 교육 등과 같은 멀티미디어 서비스가 보편화됨에 따라 실시간 멀티미디어 기술은 그 중요성이 매우 커졌다. 이러한 실시간 특성은 네트워크의 QoS(Quality of Service)^[1] 보장을 위한 중요한 요소 중 하나이다. 네트워크 사용자의 증가와 응용 프로그램의 데이터 전송율의 증가로 네트워크 자원을 효율적으로 사용하기 위한 연구는 계속 진행되고 있다.

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
IITA-2006-(C1090-0603-0046)

2006년 7월 7일 접수, 2006년 11월 16일 채택

¹⁾ 성균관대학교 정보통신공학부

²⁾ 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과

주 저자: 김문성

교신저자: 추현승

E-mail: moonseong@ece.skku.ac.kr

현재 인터넷에서 사용하고 있는 대표적인 라우팅 알고리즘으로 거리 벡터(Distance Vector)를 이용하는 RIP (Routing Information Protocol)^[2]와 링크 상태(Link State) 정보를 이용하는 OSPF(Open Shortest Path First)^[3]로 나누어진다. 거리 벡터 경로 배정은 대표적으로 Bellman-Ford 알고리즘^[4]을 사용하며, 링크 상태 경로 배정은 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘^[5]을 사용한다. 최단 경로 라우팅 알고리즘에서 링크 결정 요소로써 지연시간(Delay)을 사용하면 최소 지연시간(Least Delay, LD) 경로를 찾으며, 마찬가지로 링크비용(Cost)을 측도으로써 사용하면 최소 비용(Least Cost, LC) 경로를 찾는다.

Rao의 논문^[6]에서는 종단간 지연시간(End to End Delay) 문제를 다루면서 라우팅 경로 테이블을 완성시키는데 집중을 하였다. 메시지의 크기에 따라서 종단간의 경로를 미리 예약하는 식의 경로 테이블의 작성이다. Xue의 논문^[7]에는 Rao처럼 종단간의 문제를 다루었지만, 링크간의 신뢰도(Reliability)를 추가시켜 전송시간과 신뢰도간의 관계를 고려한 경로의 선택을 연구하였다. 종단간 지연시간 제한 조건을 만족하면서 최소 비용을 갖는 경로(Delay Constrained LC, DCLC)를 찾는 문제는 이미 NP-hard 문제^[8]로 알려져 있다. 본 문제를 해결하기 위해 Salama가 제안한 DCUR(Delay Constrained Unicast Routing)^[9] 알고리즘은 알고리즘의 단순성을 위하여 임의의 노드에서 경로 선정 시 목적지 노드까지의 최소 비용 경로나 최소 지연시간 경로상의 다음 노드로만 제한을 하였다. 목적지 노드에 다가서기 전에 잔여 지연시간의 조건이 갑자기 줄어들었다면 그 때부터는 경로의 선택에 비중을 두기 때문에 라우팅 경로의 비용측면에서는 다소 비효율적이다.

현재의 라우팅 알고리즘은 경로 선정 시 하나의 인자만을 고려하기에 다양한 QoS의 요구 시에는 현존하는 여러 알고리즘의 적용에 적잖은 고통이 있다. 따라서 본 논문에서는 DCUR처럼 단순히 LC경로와 LD경로 두 가지만 노드 선택의 인자로 둘 것이 아니라, 링크비용과 지연시간을 확률적으로 결합시켜 새로운 인자를 만들었다. 새로운 인자는 DCLC 문제와 유사한 여러 인자의 적절한 조합에 적절한 역할을 할 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 네트워크의 모델 및 구간 추정에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 제안한 새로운 인자의 소개와 예를 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션에 대한 설명과 그 결과에 대해 분석하고 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 네트워크 모델

네트워크 모델은 방향성 그래프 $G(V, E)$ (노드들의 집합 V , 링크(link)들의 집합 E)로 표현한다. 링크 $e = (i, j) \in E$ 의 링크비용(Link Cost)은 $c(e)$ 로 지연시간(Delay)은 $d(e)$ 로 표현한다. 일반적으로 링크 비용과 지연시간은 비대칭성(asymmetric)을 갖는다. 네트워크 G 에서 노드 u 로부터 노드 v 까지의 경로(path)란 링크들 $(u, i), (i, j), \dots, (k, v)$ 을 나열한 $P(u, v) = \{(u, i), (i, j), \dots, (k, v)\}$ 로 표현한다. 경로의 길이는 경로 상에 있는 링크들의 수 $n(P(u, v))$ 으로 정의 한다. 임의의 시작 노드 $s \in V$ 와 목적지 노드 $d \in V$ 에 대하여, $2^{s \rightarrow d}$ 를 s 에서 d 로 갈 수 있는 모든 경로들의 집합으로 나타낸다.

$$(2^{s \rightarrow d}, \infty) = \{P_k(s, d) \mid \text{all possible paths from } s \text{ to } d, \forall s, d \in V, \forall k \in A\}$$

여기서, A 는 첨자(Index) 집합이다.

계속해서 경로비용 함수와 경로 지연시간 함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \text{경로 비용 함수 } \phi_C(P_k) &= \sum_{e \in P_k} c(e) \\ \text{경로 지연시간 함수 } \phi_D(P_k) &= \sum_{e \in P_k} d(e) \end{aligned}$$

여기서, $\forall P_k \in (2^{s \rightarrow d}, \infty)$ 이다.

종단간 지연시간 제한 조건을 Δ 로 표현 한다면 DCLC 경로를 찾는 문제는 다음과 같이 표현 할 수 있다. 경로 P_k 가 Δ 의 조건을 만족하는 경로들의 집합을 $(2^{s \rightarrow d}, \Delta) \subset (2^{s \rightarrow d}, \infty)$ 로 표현하면,

$$\min \{ \phi_C(P_k) \mid P_k \in (2^{s \rightarrow d}, \Delta), \forall k \in A \}$$

를 만족하는 경로 P_k 를 찾는 문제이다.

2.2 구간 추정

구간추정(Interval Estimation)^[10]이란 표본(Sample)에서 얻어지는 정보를 이용하여 미지인 모수(Population Parameter)의 참값이 속할 것으로 기대되는 범위를 일정한 방법에 따라 택하게 되는 과정이다. 통계조사에서는, 확률표본(Random Sample) X_1, X_2, \dots, X_n 을 이용하여

모집단의 분포에 대한 추론을 하게 된다. 표본평균 (Sample Mean)은 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 로 정의하여, 이는 모평균(Population Mean) μ 의 추론에 사용된다. 또한 모분산 σ^2 의 추론에서 사용되는 표본분산(Sample Variance)은 $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ 로 정의한다. 만약 모집단의 분포가 정규분포 $N(\mu, \sigma^2)$ 인 경우에 표본평균 \bar{X} 는 정규분포 $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ 을 따른다. 위의 사실은 모집단의 분포가 정규분포가 아닐 때에도 일반적으로 성립하는 것은 아니지만, n 이 크다면 중심극한정리(Central Limit Theorem)에 의해서 근사적으로 정규분포를 따른다. 임의의 모집단 모평균 μ 에 대한 $100(1-\alpha)\%$ 근사 신뢰구간(Confidence Interval)은 σ^2 이 미지(Unknown)일 때 구간 $(\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}})$ 으로 나타낼 수 있다. 만약 모평균 μ 에 대한 95% 신뢰구간을 구한다면 다음 방정식의 해(Solution)는 백분위수(Percetiles)로서 $z_{\alpha/2}$ 는 1.96이 된다.

$$2 \int_0^{z_{\alpha/2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 0.95$$

3. 저비용 저지연을 위해 제안하는 인자

3.1 새로운 인자

시작노드와 목적노드 그리고 임의의 네트워크가 주어진다. 우선 경로 P_{LD} (LD path)와 P_{LC} (LC path)를 계산하자. P_{LD} 는 일반적으로 지연시간을 우선적으로 선택한 경로이기에 $\phi_C(P_{LD}) \geq \phi_C(P_{LC})$ 이다. 그렇다면 P_{LD} 는 경로 비용을 $100(1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})})\%$ 줄인다면 $\phi_C(P_{LC})$ 가 된다. 따라서 P_{LD} 의 링크에 표현된 링크비용들을 재추정 하도록 한다. 그러기 위해서, 경로 P_{LD} 의 링크비용들의 평균을 계산 한다.

$$\bar{C} = \frac{\phi_C(P_{LD})}{n(P_{LD})}$$

여기서 $100(1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})}) \times 2\%$ 의 신뢰구간을 적용시키기 위해 그것의 백분위수를 계산한다.

그림 1에서는 $post_{LD}$ 의 위치를 표현하였다. $post_{LD}$ 는 지연시간 인자를 새롭게 변화시키기 위한 기준점이다. 그렇기 때문에 백분위수를 찾는 것은 필연적인 것이다. 백분위수를 구하기 위해 누적분포함수(Cumulative Distribution Function)를 사용하겠다.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

따라서, 다음 방정식의 해 $z_{\alpha/2}$ 가 백분위수가 되는 것이다.

$$F(z_{\alpha/2}) - \frac{1}{2} = 1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})}$$

즉,

$$z_{\alpha/2} = F^{-1}\left(\frac{3}{2} - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})}\right)$$

$$\text{if } 100\left(1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})}\right)\% < 50\%$$

이다. 다음은 매프매티카(Mathematica)^[11]를 사용해서 백분위수의 계산을 표 1에 기록하였다.

그 다음, $post_{LD}$ 의 값을 계산한다.

$$post_{LD} = \bar{C} - z_{\alpha/2} \frac{S_{LD}}{\sqrt{n(P_{LD})}}$$

여기서 S_{LD} 는 자유도를 고려한 표본표준편차로서,

$$S_{LD} = \sqrt{\frac{1}{n(P_{LD})-1} \sum_{e \in P_{LD}} (c(e) - \bar{C})^2}$$

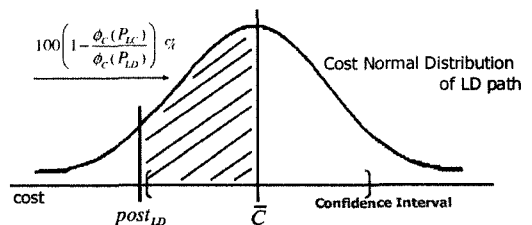


그림 1. $post_{LD}$ 의 표현

표 1. 백분위수

$$\eta = \left[100 \left(1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})} \right) \right] \%$$

The function [x] gives the integer closest to x

50 이상 η : 3.29

η	$z_{\alpha/2}$	η	$z_{\alpha/2}$	η	$z_{\alpha/2}$
49	2.33	48	2.05	47	1.88
46	1.75	45	1.65	44	1.56
43	1.48	42	1.41	41	1.34
40	1.28	39	1.23	38	1.18
37	1.13	36	1.08	35	1.04
34	0.99	33	0.95	32	0.92
31	0.88	30	0.84	29	0.81
28	0.77	27	0.74	26	0.71
25	0.67	24	0.64	23	0.61
22	0.58	21	0.55	20	0.52
19	0.50	18	0.47	17	0.44
16	0.41	15	0.39	14	0.36
13	0.33	12	0.31	11	0.28
10	0.25	09	0.23	08	0.20
07	0.18	06	0.15	05	0.13
04	0.10	03	0.08	02	0.05
01	0.03	00	0.00		

를 갖는다 ($n(P_{LD}) = 1$ 일 경우, 표본표준편차는 0).
 그후, 링크비용(LC)을 이용한 새로운 인자를 계산한다.

$$Cfct(e) = \max \{ 1, 1 + (c(e) - post_{LD}) \}$$

첫 번째와 같은 방법으로 $post_{LC}$ 를 구하고 새로운
 인자를 다음과 같이 만들었다.

$$Dfct(e) = \max \{ 1, 1 + (d(e) - post_{LC}) \}$$

경로 각각의 링크 마다 링크비용과 지연시간을 대변하
 는 $Cfct$, $Dfct$ 의 값을 구하고 두개의 값을 곱함으
 로써 링크의 상태를 평가하겠다. 좋은 링크의 선택은 지
 연시간당 링크비용이 가장 낮은 링크의 선택일 것이다.

따라서 $\frac{1}{\frac{Cfct(e)}{Dfct(e)}} = \frac{1}{Cfct(e) \times Dfct(e)}$ 이므로,
 $Cfct(e) \times Dfct(e)$ 의 값을 사용하여 최단경로 알고

표 2. 새로운 인자를 계산하기 위한 단계

1.	경로 P_{LD} 와 P_{LC} 를 계산.
2.	$\bar{C} = \frac{\phi_C(P_{LD})}{n(P_{LD})}$ $\bar{D} = \frac{\phi_D(P_{LC})}{n(P_{LC})}$
3.	$z_{\alpha/2}^d = F^{-1} \left(\frac{3}{2} - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})} \right)$ $z_{\alpha/2}^c = F^{-1} \left(\frac{3}{2} - \frac{\phi_D(P_{LD})}{\phi_D(P_{LC})} \right)$ (i.e., $z_{\alpha/2}$)
4.	$post_{LD} = \bar{C} - z_{\alpha/2}^d \frac{S_{LD}}{\sqrt{n(P_{LD})}}$ $post_{LC} = \bar{D} - z_{\alpha/2}^c \frac{S_{LC}}{\sqrt{n(P_{LC})}}$
5.	$Cfct(e)$ $= \max \{ 1, 1 + (c(e) - post_{LD}) \}$ $Dfct(e)$ $= \max \{ 1, 1 + (d(e) - post_{LC}) \}$
6.	$Cfct(e) \times Dfct(e)$

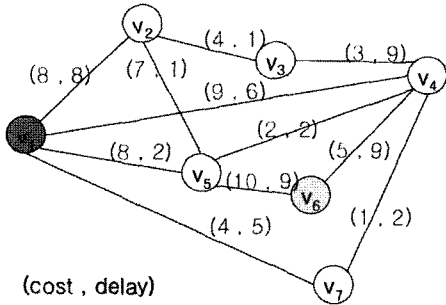
리즘을 사용 하겠다. 새로운 인자를 계산하는 알고리즘은
 표 2와 같다.

3.2 새로운 인자의 예제

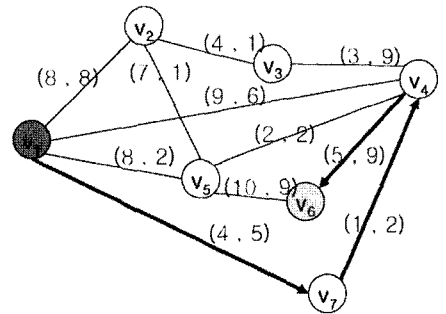
그림 2의 (a)는 Sample Network을 보여 주고 있다. 시
 작 노드 v_1 과 목적 노드 v_6 의 일대일 통신을 위해서
 는 고려해야 할 인자는 링크비용과 지연시간 두 가지가
 있다. 그림 2의 (b)는 링크비용만을 고려한 최소 비용 경로
 (P_{LC})이다. $\phi_C(P_{LC}) = 10$ 이고 $\phi_D(P_{LC}) = 16$ 이
 다. 그림 2의 (c)는 지연시간만을 고려한 최소 지연시간
 경로(P_{LD})이다. $\phi_D(P_{LD}) = 11$ 이고 $\phi_C(P_{LD}) = 18$
 이다. 경로 P_{LC} 는 높은 경로 지연시간을 갖고, 반대로
 경로 P_{LD} 는 높은 경로 비용을 갖는다.

그림 2의 (d)는 (b)와 (c)의 단점을 보완하여 링크비용
 과 지연시간을 동시에 고려하여 새로운 인자를 만들었다.
 표 2의 단계대로 새로운 인자의 값을 구해 보자.

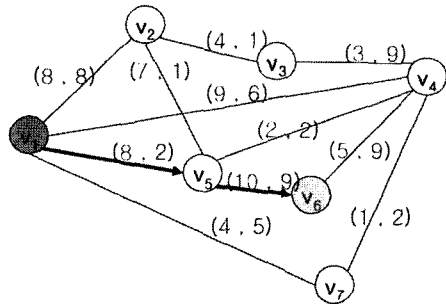
- $\bar{C} = \frac{8+10}{2} = 9$
- $\bar{D} = \frac{5+2+9}{3} = 5.33$
- $\left[100 \left(1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})} \right) \right] \%$
 $= \left[100 \left(1 - \frac{10}{18} \right) \right] \% = [44.44] \% = 44\%$



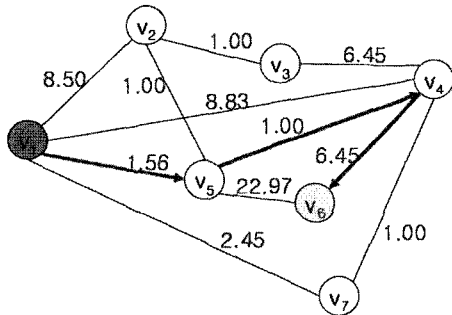
(a) Sample Network



(b) Least Cost path



(c) Least Delay path



(d) New Factor path

그림 2. 새로운 인자의 예제

$$z'_{\alpha/2} = F^{-1}\left(\frac{3}{2} - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})}\right) \approx 1.56$$

(표 1을 참조)

$$\begin{aligned} & \bullet \left[100\left(1 - \frac{\phi_D(P_{LD})}{\phi_D(P_{LC})}\right) \right] \% \\ & = \left[100\left(1 - \frac{11}{16}\right) \right] \% = [31.25] \% = 31\% \end{aligned}$$

$$z^c_{\alpha/2} = F^{-1}\left(\frac{3}{2} - \frac{\phi_D(P_{LD})}{\phi_D(P_{LC})}\right) \approx 0.88$$

$$\bullet S_{LD} = \sqrt{\frac{(8-9)^2 + (10-9)^2}{2-1}} = \sqrt{2}$$

$$\begin{aligned} \bullet S_{LC} &= \sqrt{\frac{(5-5.33)^2 + (2-5.33)^2 + (9-5.33)^2}{3-1}} \\ &= \sqrt{12.33} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet post_{LD} &= \bar{C} - z'_{\alpha/2} \frac{S_{LD}}{\sqrt{n(P_{LD})}} \\ &= 9 - 1.56 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 7.44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet post_{LC} &= \bar{D} - z^c_{\alpha/2} \frac{S_{LC}}{\sqrt{n(P_{LC})}} \\ &= 5.33 - 0.88 \times \frac{\sqrt{12.33}}{\sqrt{3}} = 3.55 \end{aligned}$$

$$\bullet Cfct(e) = \max\{1, 1 + (c(e) - 7.44)\}$$

$$\bullet Dfct(e) = \max\{1, 1 + (d(e) - 3.55)\}$$

$$\bullet Cfct(e) \times Dfct(e)$$

그림 2의 (d)에서 링크 (v_1, v_5) 은 $c((v_1, v_5)) = 8$, $d((v_1, v_5)) = 2$ 이다.

$Cfct((v_1, v_5))$ 의 값은 $\max\{1, 1 + (8 - 7.44)\} = 1.56$ 이며, $Dfct((v_1, v_5))$ 는 $\max\{1, 1 + (2 - 3.55)\} = 1$ 이다. 따라서, $Cfct((v_1, v_5)) \times Dfct((v_1, v_5)) = 1.56$ 이다. 모든 네트워크의 링크에 대해 새로운 인자의 값을 구하면 그림 2의 (d)와 같다. 새로운 인자로 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘을 적용하여 경로를 구하면 $P_{New}(v_1, v_6) = \{(v_1, v_5), (v_5, v_4), (v_4, v_6)\}$ 이다.

표 3의 결과를 보면, $\phi_C(P_{LC}) \leq \phi_C(P_{New}) \leq \phi_C(P_{LD})$ 이며, $\phi_D(P_{LD}) \leq \phi_D(P_{New}) \leq \phi_D(P_{LC})$ 임을 알 수 있다. 이는 새로운 인자를 사용하면 경로비용

표 3. 예제의 결과 비교

P_{LC}	
$\phi_C(P_{LC})$	$\phi_D(P_{LC})$
10	16
P_{LD}	
$\phi_C(P_{LD})$	$\phi_D(P_{LD})$
18	11
P_{New}	
$\phi_C(P_{New})$	$\phi_D(P_{New})$
15	13

과 지연시간을 조화롭게 하는 효과가 있음을 볼 수 있다.

4. 성능평가

4.1 랜덤 네트워크 환경

성능 평가를 위해 사용한 랜덤 네트워크 토폴로지의 생성[12]에 대한 설명은 다음과 같다. 이 방법은 n (네트워크의 노드 수 $|V|$)과 P_e (어떠한 두 개의 노드 사이에 링크가 있을 확률)를 변수로 사용한다. 랜덤 그래프가 실제 랜덤 네트워크의 모델이라면 이러한 그래프는 연결 그래프(Connected Graph)이어야 한다. 따라서 그래프는 최소한 하나의 신장트리를 포함하고 있어야 한다. 그러한 맥락에서 우선 랜덤 신장트리를 생성한다. 우리가 알고 있는 바와 같이, $n \geq 3$ 인 경우가 고려된다. 3개의 노드를 가진 트리는 유일하며, 따라서 우리는 이것을 초기의 트리로 사용한다. 그리고 n 개의 노드를 가진 신장트리로 확장한다. 확률 P_e 를 조정하면 후, 네트워크 토폴로지에 기반한 그래프 생성을 위해 트리에 속하지 않은 링크를 랜덤으로 생성한다. 조정된 확률 P_e^a 를 계산해 보면 다음과 같다. $Prob\{event\}$ 는 $event$ 의 확률을 나타내고 e 가 두 개의 노드 사이에 가능한 링크라고 가정하면, 다음을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_e &= Prob\{e \in \text{spanning tree}\} \\
 &\quad + Prob\{e \notin \text{spanning tree}\} \cdot P_e^a \\
 P_e &= \frac{n-1}{n(n-1)/2} + \left(1 - \frac{n-1}{n(n-1)/2}\right) \cdot P_e^a \\
 \therefore P_e^a &= \frac{nP_e - 2}{n-1} .
 \end{aligned}$$

표 4. 랜덤 그래프 생성 알고리즘

Graph Generation Algorithm

A : An incident matrix
 r : A simple variable
 $random()$: A function producing uniformly distributed random values between 0 and 1

01	Begin
02	$A_{1,2} = A_{2,1} = A_{2,3} = A_{3,2} = 1$
03	For $i=4$ to n Do
04	$r = (i-1) \times random() + 1$
05	$A_{r,i} = A_{i,r} = 1$
06	For $i=1$ to $n-1$ Do
07	For $j=(i+1)$ to n Do
08	If $P_e > random()$ then $A_{i,j} = A_{j,i} = 1$
09	End Algorithm.

표 4에서는 랜덤 네트워크 토폴로지를 생성하는 의사 코드를 나타내었다.

4.2 새로운 인자에 대한 동기부여 타당성

랜덤 네트워크에서 링크 Cost와 Delay의 분포는 독립으로 생성한다. 또한 랜덤 Cost와 Delay의 값은 균일분포를 따르게 생성한다. 주어진 네트워크에서 임의의 노드 두 개를 선택하면 그 두 개의 노드를 연결할 수 있는 경로는 무수히 많다. 그 중에서 특정한 인자로 하나의 경로를 선택하면 그 경로상의 링크들에 해당하는 인자들의 분포는 어떠한 경향을 갖는지 알아보자. 그림 3에서 이론적으로 보듯이, 고려하지 않은 인자의 분포는 중심극한 정리에 의해서 정규분포를 갖는다.

이를 확인하기 위해서 랜덤한 네트워크에서 임의의 두 노드를 선택하고 Delay 관점으로 최소 경로를 선택하면서 그 경로상 링크들의 Cost 분포를 살펴보았다. 랜덤 네트워크는 노드 100개를 생성했고 링크가 존재할 확률 P_e 는 0.03과 0.1 두개를 고려했다. 전체 실행 횟수는 1000 개의 랜덤그래프에 대하여 진행하였다. 전체 노드 수 100 개에서 P_e 0.03의 의미는 노드 당 평균 링크수개 대략 3 개이며 그보다 많은 수의 링크를 고려한 것이 0.1이다. 직관적으로 0.1의 경우에는 링크수가 많기에 경로의 흡수는 줄어들 것이다. 따라서 최소 Delay로 경로를 찾았기에 그 경로의 링크 당 평균 Delay의 값은 그림 4 (a), (c)에서 살펴보듯이 P_e 의 값에 따라서 그 분포의 형태가 바뀌게 된다. 하지만 그 경로의 링크 당 평균 Cost의 분포를 살펴

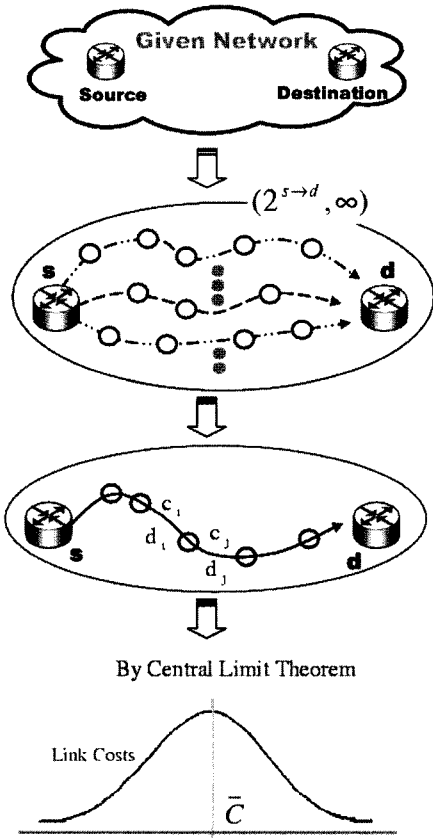


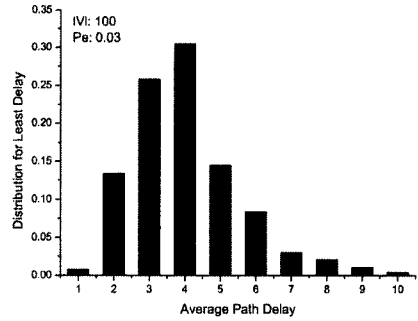
그림 3. 새로운 인자 생성의 동기

보면 그림 4 (b), (d)에서 정규분포의 형태를 따르고 있다는 것을 볼 수 있다.

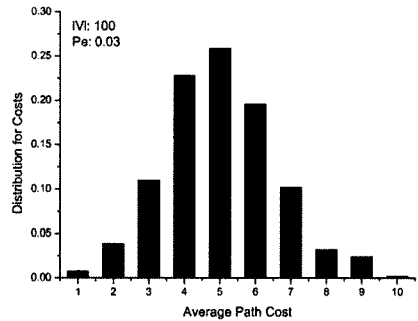
4.3 새로운 인자의 성능평가

우리는 제안한 새로운 인자의 성능을 측정하기 위해서, 표 3에서 보였던 것처럼 경로 P_{LC} , P_{LD} 와 비교를 하였다. 네트워크 모델은 전체 25, 50, 100, 200개의 노드 수로 하였고, 각각의 링크간 확률은 0.3으로 하였다. 0.5, 0.7은 200개의 노드 수만 생각을 하였다. 각 노드마다 네트워크를 랜덤하게 10개의 모델을 택하였고, 각 모델마다 랜덤으로 시작 노드와 목적지 노드를 선택하여 100번의 시행을 하였기에 총 1000번의 시행을 하였다.

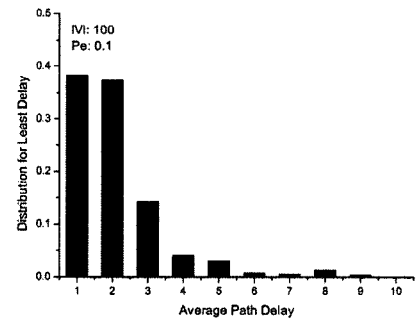
그림 5를 보면, 제안한 인자는 항상 링크비용과 지연시간을 동시에 균형 있게 제공하는 성능이 있음을 알 수 있다. 3장에서 살펴본 예제처럼 본 인자를 사용하면 링크비용과 지연시간이 조화된 경로를 찾을 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해서 살펴보았다.



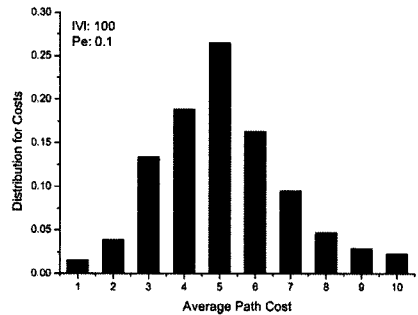
(a) $P_e : 0.03$, LD 경로에서 Delay 분포



(b) $P_e : 0.03$, LD 경로에서 Cost 분포



(c) $P_e : 0.1$, LD 경로에서 Delay 분포



(d) $P_e : 0.1$, LD 경로에서 Cost 분포

그림 4. 전체 노드 100개에서 LD 경로의 특성

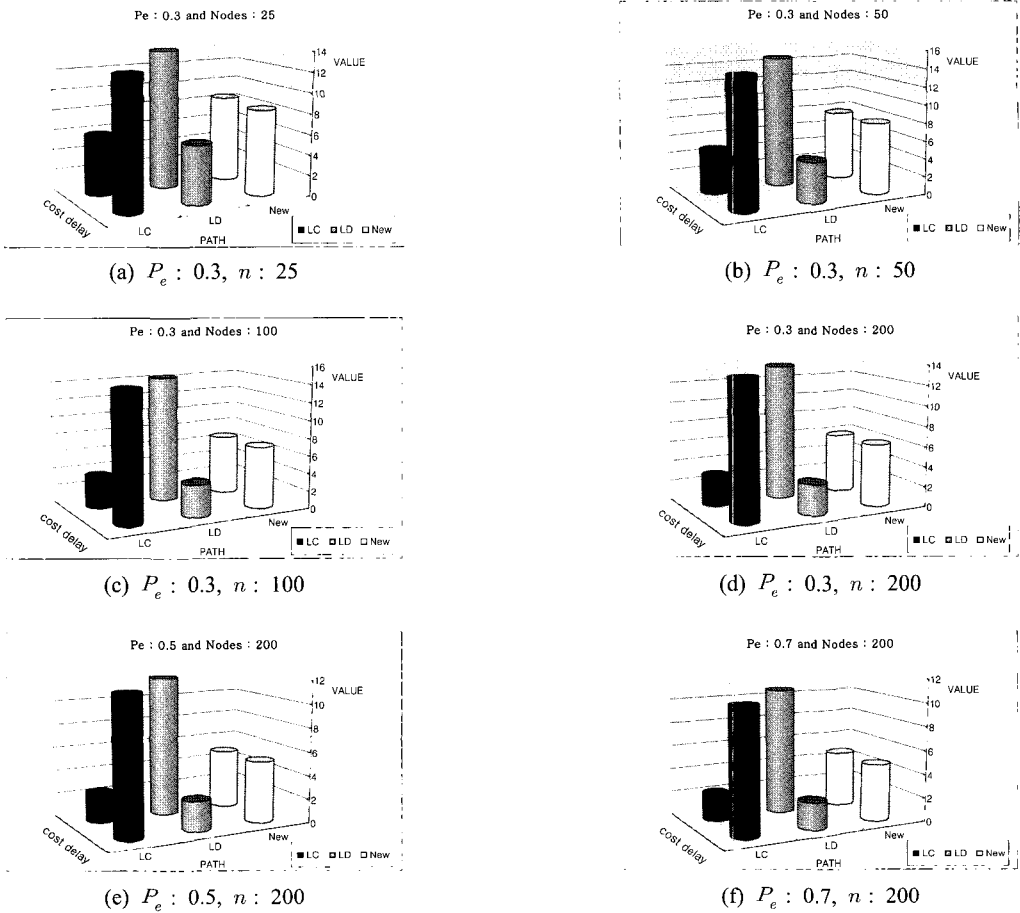


그림 5. 새로운 인자의 성능 평가

5. 결 론

본 논문에서는 시작 노드에서 목적지 노드까지 데이터를 전송할 때, 독립적인 두 QoS 인자를 하나의 새로운 인자로 변환시키는 방법을 제안했다. 최소비용 경로는 경로 비용의 값은 최저이나 경로 지연시간의 값은 낮다고 보장을 못한다. 마찬가지로, 최소화지연시간 경로는 경로 지연시간은 최저이나 경로 비용은 낮다고 보장을 못한다. 본 논문에서 제안한 새로운 인자의 특징은 독립적인 두 가지 인자를 통계적 추정 기법을 사용하여 서로간의 타협 속에 함께 만족 시킬 수 있는 인자인 것이다. 새롭게 제안한 인자를 사용하면, 링크비용과 지연시간을 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 경로를 찾을 수 있음을 시뮬레이션을 통해서 확인할 수 있었다. 향후 연구 과제로서 본 인자를 사용하여 다양한 제약조건을 만족 시켜야 하는 QoS 라우팅에 적용시킬 예정이다.

참 고 문 헌

1. S. Chen and K. Nahrstedt, "An Overview of Quality-of-Service Routing for the Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions," IEEE Network Magazine, vol. 12, no. 6, pp. 64-79, November 1998.
2. C. Hedrick, "Routing information protocol," <http://www.ietf.org/rfc/rfc1058.txt>, June 1988.
3. J. Moy, "OSPF Version 2," <http://www.ietf.org/rfc/rfc1583.txt>, March 1994.
4. R. Bellman, "On a Routing Problem," Quarterly of Applied Mathematics, vol. 16, no. 1, pp. 87-90, 1958.
5. E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs," Numerische Mathematik, vol. 1, pp. 269-271, 1959.
6. N. S. V. Rao and S. G. Batsell, "Algorithm for Minimum End-to-End Delay Paths," IEEE Commun. Lett.,

- vol. 1, pp. 152-154, September. 1997.
7. G. Xue, Member, IEEE, "End-to-End Data Path: Quickest or Most Reliable?," IEEE Commun. Letter, vol. 2, pp. 156-158, June 1998.
 8. M. Garey and D. Johnson, "Computers and intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness," New York: Freeman, 1979.
 9. D. S. Reeves and H. F. Salama, "A distributed algorithm for delay-constrained unicast routing," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 8, pp. 239-250, April 2000.
 10. A. Papoulis and S. U. Pillai, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes," 4th ed. McGraw-Hill, 2002.
 11. Wolfram, "MathWorld," <http://mathworld.wolfram.com>
 12. A. S. Rodionov and H. Choo, "On Generating Random Network Structures: Connected Graphs," Springer-Verlag LNCS, vol. 3090, pp. 483-491, 2004.



김 문 성 (liebemath@gmail.com)

1999년 건양대학교 수학과 졸업 학사
 2001년 성균관대학교 수학과 졸업 석사
 2006년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업 박사
 2002년~2006년 한국산업기술대학교 대학강사
 2004년~2006년 성균관대학교 대학강사
 2005년~2006년 정보통신부ITRC 지능형HCI융합연구센터 연구원
 2005년 한국전자통신연구원(ETRI) 위촉연구원
 2007년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수

관심분야 : 라우팅 프로토콜, 모바일컴퓨팅, 정보보호, 성능평가, 수치해석



방 영 철 (ybang@kpu.ac.kr)

1994년 University of Oklahoma 전산학과 졸업 학사
 1997년 University of Oklahoma 대학원 전산학과 졸업 석사
 2000년 University of Oklahoma 대학원 전산학과 졸업 박사
 2000~2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
 2002~현재 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 유/무선 라우팅 프로토콜, 홈네트워크, 멀티미디어 전송, 차세대 영상시스템



추 현 승 (choo@ece.skku.ac.kr)

1988년 성균관대학교 수학과 졸업 학사
 1990년 University of Texas 컴퓨터공학과 졸업 석사
 1996년 University of Texas 컴퓨터공학과 졸업 박사
 1997년 특허청 심사4국 컴퓨터심사담당관실 사무관
 1998년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
 2001년~현재 한국인터넷정보학회/한국시뮬레이션학회 이사
 2004년~2006년 대통령직속 교육혁신위원회 전문위원
 2004년~현재 한국인터넷정보학회 논문지편집위원장
 2005년~현재 건강보험심사평가원 전문위원
 2005년~현재 한국정보과학회 논문지편집위원
 2005년~현재 정보통신부ITRC 지능형HCI융합연구센터장

관심분야 : 유/무선/광네트워킹, 모바일컴퓨팅, 임베디드SW, 그리드컴퓨팅