

대역폭 보장을 위한 통계적 임계값 기반의 링크 상태 갱신 알고리즘

(A Link State Update Algorithm based on a Statistical
Threshold for Guarantee of Bandwidth)

이진주[†] 정민영^{**} 이태진^{**} 추현승^{**}
(Jin Ju Lee) (Min Young Chung) (Tae-Jin Lee) (Hyunseung Choo)

요약 인터넷을 통한 대역폭 보장 경로를 설정하기 위하여, 라우터는 네트워크 망 구성 및 전체 링크 상태 정보를 라우터 내부의 LSDB(Link State Database)에 저장하여 관리하여야 한다. 경로 설정 요구가 발생할 때마다 라우터는 LSDB 내의 링크 상태 정보를 기반으로 경로를 계산하여야 하기 때문에, LSDB에는 정확한 링크 상태 정보가 저장 및 관리되어야 한다. 링크 상태가 변화할 때마다 라우터는 LSU(Link State Update) 메시지를 이용하여 이웃 라우터에게 링크 상태의 변화를 알린다. 그러나 정확한 링크 상태의 반영과 업데이트 비용 간에는 상충(trade off) 관계가 존재한다. 따라서, 대역폭 보장 경로를 효율적으로 계산하기 위하여 변화한 링크 상태를 감지하고 LSU 메시지 전송 여부를 결정하는 시점에 대한 연구가 필수적이다. 본 논문에서는 통계값을 이용하여 업데이트 메시지 전송을 제어하는 LSU 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 기존의 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 성능을 비교 평가한다.

키워드 : 링크 상태 갱신 알고리즘, 라우팅 알고리즘

Abstract In order to determine path(s) satisfied with bandwidth-guaranteed in the Internet, routers should have information on network topology and link state. The information is stored in Link State Database (LSDB) located in each router and managed. If link states information is changed, routers inform their neighbor of link state information changed by sending Link State Update (LSU) messages. However, there is trade-off between reflection of actual link state information on LSDB and cost of sending LSU messages. To find a bandwidth-guaranteed path effectively, it is important to decide whether LSU messages are sent or not for the change of link state. In this paper, we propose a threshold-based LSU algorithm using statistic to effectively decide for sending LSU messages and evaluates its performance by intensive simulations. Simulation results show that the performance of proposed scheme is superior to the existing LSU schemes.

Key words : Link State Update (LSU), Routing Algorithm

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0803-0002)

† 학생회원 : 성균관대학교 휴대폰학과
madsati@ece.skku.ac.kr
** 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
mychung@ece.skku.ac.kr
tjlee@ece.skku.ac.kr
choo@ece.skku.ac.kr

논문접수 : 2008년 3월 4일
심사완료 : 2008년 7월 17일

Copyright© 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제5호(2008.10)

1. 서론

최근 인터넷의 데이터 전송 용량이 증가함에 따라 인터넷을 통한 음성, 화상 등의 실시간 서비스 제공이 가능해지고 이에 대한 사용자의 관심이 높아지고 있다. 이와 같은 새로운 수요를 바탕으로 인터넷을 통해 제공되는 실시간 어플리케이션의 품질을 보장하기 위한 연구가 진행되고 있다[1]. 서비스의 품질 보장을 위해서는 대역폭, 지연, 지연분산, 패킷 손실 등과 같은 QoS (Quality of Service) 제약조건이 적절하게 제어되어야 한다[2]. 그러나 현재의 패킷 스위칭 기반의 인터넷은 최선형(best-effort) 서비스 특성을 가지기 때문에 PSTN (Public Switched Telephone Network) 망 등의 서킷

스위칭 기반 네트워크에 비해 QoS 요구 조건을 만족시키기가 어렵다. 인터넷을 통해 품질 보장 서비스를 제공하기 위하여 QoS 요구 조건을 만족하는 적정 경로(feasible path)를 찾는 것은 QoS 라우팅의 이슈 중 하나이다[3].

서비스의 QoS 제약 조건을 만족하는 적정 경로를 설정하기 위하여 라우터는 요청된 서비스의 패킷이 전달되는 경로상의 자원을 파악해야 한다[4]. 라우터는 네트워크 망 구성 및 전체 링크 상태 정보를 관리하기 위하여 내부에 LSDB(Link State Database)를 가진다. 경로 설정 요구가 발생할 때마다 라우터는 LSDB 내의 링크 상태 정보를 기반으로 경로를 계산 하여야 하기 때문에, LSDB에는 정확한 링크 상태 정보가 저장 및 관리되어야 한다. 라우터는 링크 상태가 변화하였을 때 LSU(Link State Update) 메시지를 사용하여 이웃 라우터에게 변경된 링크 상태 정보를 알리고, 변경된 링크 정보가 LSDB에 저장되도록 한다.

정확한 링크 상태의 반영을 위해서 라우터는 링크 상태 정보가 변화할 때마다 이웃 라우터에게 LSU 메시지를 전송하여야 하지만, 과도한 LSU 메시지의 발생은 메시지 처리로 인한 네트워크의 자원을 낭비하고 라우터의 성능 저하를 가져오는 단점이 있다[5]. 한편, LSDB에 현재 링크 상태 정보와 다른 과거의 정보가 저장되어 있는 경우, 경로 설정 요구가 거절될 수 있으므로 품질 보장 서비스의 제공이 어렵다. 즉, 정확한 링크 상태의 반영과 업데이트 비용 간에는 상충(trade off) 관계가 존재한다[6]. 따라서, QoS 보장 경로를 효율적으로 계산하기 위하여 변화한 링크 상태를 감지하고 LSU 메시지 전송 여부를 결정하는 시점에 대한 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 링크를 통해 제공되는 서비스의 요청 대역폭들의 통계값을 바탕으로 계산된 임계값을 사용하여 기존의 LSU 알고리즘보다 효율적으로 업데이트 메시지 전송을 제어하는 LSU 알고리즘을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존의 LSU 알고리즘을 소개하고 3장에서는 기존의 LSU 알고리즘보다 성능이 우수한 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 기존의 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능을 비교 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

대역폭 보장 경로 설정은 네트워크 망 구성 정보 및 LSDB의 링크 상태 정보에 기반하여 이루어진다. 라우터는 링크 상태 정보의 변화를 LSU 메시지를 전송함으로써 다른 라우터에게 링크 상태의 변화를 알리게 되며

LSU 메시지 전송시점을 결정하는 여러 알고리즘이 존재한다. 기존의 LSU 알고리즘에는 크게 불변형 LSU 알고리즘[7,8]과 준 적응형 LSU 알고리즘[7,9-11]으로 나눌 수 있다.

2.1 불변형 LSU 알고리즘

주기적 LSU 알고리즘을 사용하는 모든 라우터는 미리 정의된 시간마다 주기적으로 LSU 메시지를 전송하여 LSDB의 정보를 갱신한다. 주기적 LSU 알고리즘은 구현이 쉽다는 장점이 있지만 고정된 주기를 사용하므로 중요한 링크 상태의 변화를 적시에 알리지 못하는 문제점이 존재한다.

임계값 기반 LSU 알고리즘은 사용 가능한 대역폭이 일정 임계값 이상으로 변화할 경우 LSU 메시지 전송을 결정한다. 링크 i 에 대하여 bw_i^o 는 가장 최근에 갱신된 사용 대역폭의 값, bw_i^c 는 현재 사용 대역폭 값, th 는 임계값으로 정의하였을 때 다음과 같은 조건을 만족하는 경우 라우터는 이웃 라우터에게 LSU 메시지를 전송한다.

$$\frac{|bw_i^o - bw_i^c|}{bw_i^c} > th$$

임계값 기반 LSU 알고리즘은 사용 가능한 대역폭의 크기가 작아질수록 LSU 메시지를 보다 자주 전송하게 하여 LSDB에 정확한 링크 상태를 유지시킴으로써 주기적 LSU 알고리즘보다 나은 효율을 보인다.

균일 등급 LSU 알고리즘은 사용 가능한 대역폭을 상수 B 값에 의해 동일한 크기, 예를 들면 $(0, B)$, $(B, 2B)$, $(2B, 3B)$ 등으로 등급화 하고, 사용 가능한 대역폭의 변화가 서로 다른 등급 사이에서 일어나면 LSU 메시지 전송을 결정한다.

비 균일 등급 LSU 알고리즘은 사용 가능한 대역폭 C 의 변화가 서로 다른 등급 사이에서 일어날 때 LSU 메시지를 전송한다는 점에서 균일 등급 LSU 알고리즘과 동일하지만 사용 가능한 대역폭을 상수 B 와 f 에 의한 등비수열의 합인 형태로 등급화 한다. 비 균일 등급 LSU 알고리즘은 균일 등급 LSU 알고리즘에 비해 등급 간 서로 다른 가중치를 두어 좀 더 자세한 링크 상태의 반영을 가능하게 한다.

2.2 준 적응형 LSU 알고리즘

동적 임계값 기반 LSU 알고리즘의 임계값(th_k)은 주기적으로 조정된다. R_0 를 초기의 고정된 업데이트 비율, \tilde{R}_k 를 정해진 주기 T 동안의 업데이트 비율이라고 할 때 동적 임계값 기반 LSU 알고리즘의 임계값을 구하는 식은 아래와 같다.

$$th_k = \begin{cases} th_{k-1} + \Delta th, & \text{if } \tilde{R}_k \leq R_0 \\ th_{k-1} - \Delta th, & \text{if } \tilde{R}_k \geq R_0 \end{cases}$$

이차 모멘트 기반 LSU 알고리즘은 안정성 기반 QoS 라우팅 알고리즘의 한 부분으로, μ 와 σ^2 를 사용중인 대역폭에 대한 평균과 분산이라고 할 때 다음과 같은 조건을 만족하는 경우 LSU 메시지 전송을 결정하게 된다.

$$F(\mu - \sigma^2) = \frac{\sigma^2}{(C - \mu)C} \geq th$$

SA LSU 알고리즘을 사용하는 라우터는 다음 조건을 만족하는 경우 LSU 메시지를 전송한다.

$$|B_n - \tilde{B}(t)| \geq \frac{\tilde{B}(t)}{\tilde{N}(t)}$$

이 때, B_n 은 LSDB에 저장되어있는 사용 가능한 대역폭, $\tilde{B}(t)$ 는 링크의 실제 사용 가능한 대역폭, $\tilde{N}(t)$ 는 LSU 메시지 전송을 결정하는 시점의 링크에서 제공중인 서비스의 개수를 나타낸다.

ESA LSU 알고리즘은 SA LSU 알고리즘에 추가로 영향지수 $\tilde{I}(t)$ 를 함께 고려하여 LSU 메시지 전송 여부를 결정한다. 영향지수 $\tilde{I}(t)$ 는 현재 설정되거나 해제되는 경로의 길이와 전체 서비스 경로 중 최대 경로 길이의 비를 나타낸다. ESA LSU 알고리즘에서 다음 조건을 만족하는 경우 라우터는 이웃 라우터에게 LSU 메시지를 전송한다.

$$|B_n - \tilde{B}(t)| \geq \frac{\tilde{B}(t)}{\tilde{N}(t)} \cdot \frac{1}{\tilde{I}(t)}$$

3. 제안하는 알고리즘

불변형 LSU 알고리즘은 LSU 메시지 전송 여부를 결정하는 조건에 상수를 사용하여 네트워크 환경이 바뀔 때마다 네트워크 상황에 맞는 최적값을 다시 계산해야 하는 단점이 존재하고, 이러한 단점으로 인해 네트워크 전체의 성능 저하를 야기할 수 있다. 준 적응형 LSU 알고리즘은 불변형 LSU 알고리즘에 비해 나은 효율을 보이지만, 이 알고리즘들 역시 고정된 상수값을 사용한다. 동적 임계값 기반 LSU 알고리즘과 이차 모멘트 기반 LSU 알고리즘 역시 고정된 업데이트 비율과 임계값을 사용한다. 또한 과거의 누적된 통계값을 이용하기 때문에 통계값을 계산하기 위한 비용 낭비가 크다는 단점이 존재한다.

SA LSU 알고리즘과 ESA LSU 알고리즘은 업데이트 여부를 결정하는 시점의 링크 정보를 사용하므로 다른 LSU 알고리즘에 비하여 효율적인 링크 정보의 관리가 가능하다. 그러나 LSU 메시지 전송 여부를 결정하는 조건에 링크의 실제 사용 가능한 대역폭과 LSDB의 사용 가능한 대역폭의 차를 반영한 데 반해 해당 링크에 실제 사용 가능한 대역폭의 크기가 어느 정도인지는

고려하지 않는다. 즉, SA LSU 알고리즘과 ESA LSU 알고리즘은 이후의 요청되는 경로 설정 요구를 제공할 수 있을 정도의 충분한 대역폭이 남아있더라도 LSU 메시지를 전송하여 자원의 낭비를 초래하는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 LSU 알고리즘보다 효율적으로 링크 상태 정보를 갱신하는 알고리즘을 소개한다. 임계값을 사용하는 기존의 LSU 알고리즘들은 고정된 임계값을 사용하거나 과거의 통계 자료들을 바탕으로 임계값을 계산하여야 한다. 이는 임계값 계산에 따른 라우터의 계산 복잡도를 증가시키고 또한 라우터의 성능 저하를 가져온다는 단점이 있다. 제안하는 알고리즘은 해당 링크를 통해 제공되고 있는 경로 설정 요구의 사용 대역폭들의 통계값을 바탕으로 임계값을 계산한다. 정의된 임계값 th 가 실제 사용 가능한 대역폭 또는 LSDB에 저장되어 있는 사용 가능한 대역폭보다 큰 경우, 라우터는 이웃 라우터에게 LSU 메시지를 전송하여 링크 상태의 변화를 알린다. 그림 1은 LSU 메시지 전송 여부를 결정하는 시점에서 해당 링크의 실제 링크의 사용 가능한 대역폭과 LSDB에 저장되어 있는 사용 가능한 대역폭의 순서쌍을 나타낸 그림이다. 사용 가능한 대역폭의 순서쌍이 그림 1의 영역 R1, R2에 해당될 경우, 제안하는 알고리즘은 이웃 라우터에게 LSU 메시지를 전송한다. SA LSU 알고리즘과 ESA LSU 알고리즘은 실제 사용 가능한 대역폭과 LSDB에 저장되어 있는 사용 가능한 대역폭의 차이를 고려하여 LSU 메시지 전송 여부를 결정하므로, 그림 1의 영역 R2, R3과 같이 LSU 메시지 전송 범위를 나타낼 수 있다. 그림 1에서와 같이, SA 알고리즘과 ESA 알고리즘은 이후에 요청되는 경로 설정 요구를 제공할 수 있을 정도의 대역폭이 남아있더라도 업데이트 메시지를 전송한다. 따라서 본 논문에서는 이후에 요청되는 경로 설정 요구 대역폭을 예측하여 임계값을 설정한다.

제안하는 LSU 알고리즘은 해당 링크를 통해 제공되고 있는 경로 설정 요구의 사용 대역폭들의 통계 값을 바탕으로 임계값을 계산한다. 임계값 th 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$th = \max(\tilde{m} + \beta\alpha, r_{\max}) \tag{1}$$

여기서 \tilde{m} 은 현재 링크를 통해 제공되고 있는 경로 설정 요구 대역폭들의 평균, α 는 요청 대역폭들의 표본 분산(sample variance), β 는 대역폭 보장 변수, r_{\max} 는 제공되고 있는 서비스의 요청 대역폭들 중 최대값을 의미한다.

현재 제공되고 있는 서비스의 요청 대역폭들이 정규 분포를 따른다고 가정하였을 경우, 대역폭 보장 변수 β 의 설정을 통하여 이후에 요청되는 경로 설정 요구 대

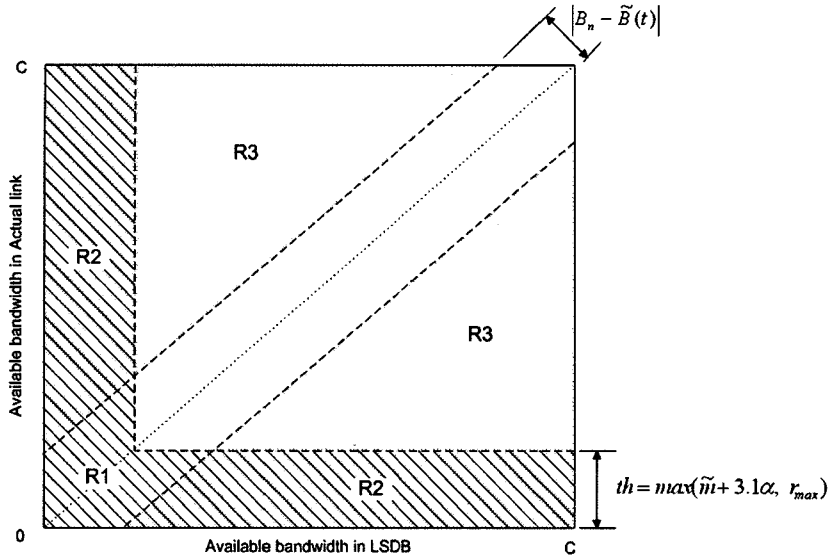


그림 1 제안하는 LSU 알고리즘 및 SA 알고리즘의 링크 상태 업데이트 메시지 전송 범위

역폭 추정 구간을 결정할 수 있다. 예를 들어 대역폭 보장 변수 β 를 3.1로 설정하는 경우 $\tilde{m} + 3.1\alpha$ 는 요청 대역폭들이 분포하는 전체 구간의 99.9%에 해당하는 범위를 나타낸다. 즉, th 는 현재 링크를 통해 제공되고 있는 경로 설정 요구 대역폭을 이용한 통계 값을 바탕으로 이후에 기대되는 경로 설정 요구 대역폭을 99.9%의 백분율로 추정한 값이다. 그리고 r_{max} 값을 고려함으로써 통계 값을 사용한 예측한 대역폭보다 큰 대역폭이 요구 되어도 현재 제공되고 있는 경로 설정 요구 대역폭의 범위 내에서는 그것을 수용할 수 있도록 한다.

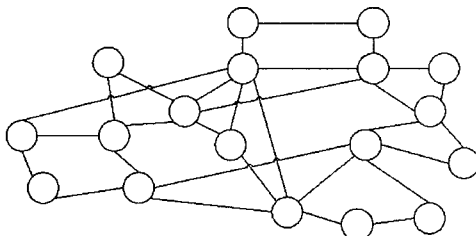
4. 성능 평가

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 그림 2와 같은 다양한 환경의 망 구성을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다. MCI 망은 노드 18개, 링크 30개로 구성되어 있고 NSFNET 망은 노드 14개, 링크 21개로 이루어져 있다. 링크는 양방향을 가정하였으며, 단방향 용량을

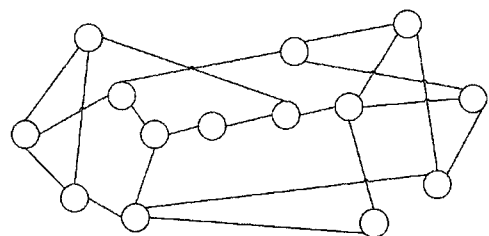
622Mbits/sec로 가정하였다.

송신 노드와 수신 노드는 균일한 확률을 가지고 임의로 선택되게 하였고 같은 노드를 선택하는 경우가 없게 하였다. 경로 설정 요구 대역폭은 각 노드에서 [1, 5] Mbits/sec 범위에서 균일하게 발생되며, 경로 설정 요구의 분포는 도착률이 λ 인 푸아송 프로세스(Poisson process)를 가정하고 서비스 유지시간은 평균값이 μ 인 지수분포특성을 갖도록 하였다. 시뮬레이션은 C 언어를 사용하여 몬테카를로의 이벤트 트리븐(event-driven) 방식으로 수행하였다[12].

라우터는 송신 노드와 수신 노드 사이의 경로 설정 요구 대역폭을 만족시키는 경로를 찾게 된다. 경로 설정 요구 대역폭을 만족하는 링크들 중 비용이 가장 낮은 경로를 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 사용하여 선택하였다. 경로 설정 요구가 받아들여지지 않는 경우는 두 가지로 나뉘어지는데, 첫 번째는 LSDB에 기반하여 경로를 설정하였으나 실제 링크에서 이를 수용하지 못하



(a) MCI (노드 18개, 링크 30개)



(b) NSFNET (노드 14개, 링크 21개)

그림 2 MCI 망 구성과 NSFNET 망 구성

는 경우이고 두 번째는 링크 상태 데이터베이스의 정보를 바탕으로 요청된 서비스를 만족하는 경로를 설정하지 못하는 경우이다. 첫 번째 경우를 Type-1 막힘으로, 두 번째 경우를 Type-2 막힘으로 정의한다. 성능 평가를 위한 막힘 확률을 아래와 같이 계산된다.

$$P_{block} = \frac{N_{block}}{N_{total\ request}} \quad (2)$$

여기서 $N_{total\ request}$ 는 전체 경로 설정 요구 횟수이고 N_{block} 은 Type-1 막힘과 Type-2 막힘의 합으로 계산한다. 링크 당 평균 업데이트 비율은 시뮬레이션을 수행한 망의 노드 개수에 대한 단위 시간 당 발생한 평균 LSU 메시지의 개수이다.

그림 3은 MCI 망에서 트래픽 부하에 따른 막힘 확률을 나타낸다. 기본(basic) LSU 알고리즘은 링크 상태의 변화가 있을 때마다 이웃 라우터들에게 LSU 메시지를 전송하므로 막힘 확률에 대한 기준 값으로 사용될 수 있다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기본 LSU 알고리즘의 막힘 확률과 유사한 값을 보이며, 기존의 다른 알고리즘도 기본 LSU 알고리즘과 유사한 막힘 확률을 가진다.

그림 4는 트래픽 부하에 따른 각 LSU 알고리즘의 링크 당 평균 업데이트 비율을 나타낸다. 제안하는 알고리즘은 기존의 LSU 알고리즘과 유사한 막힘 확률을 보이며 업데이트 메시지는 적게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

다양한 네트워크 환경 변화에 따른 LSU 알고리즘의 성능 변화를 관찰하기 위하여 NSFNET 망에서 시뮬레이션을 수행하였다. 동일한 가정 하에 경로 설정 요구 대역폭이 [1, 5]Mbps/sec일 때 트래픽 부하에 따른 막힘 확률을 그림 5를 통해 알 수 있다. 제안하는 알고리즘은 기본 LSU 알고리즘과 유사한 막힘 확률을 보인다.

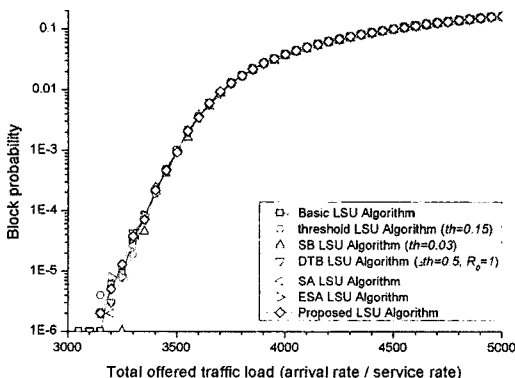


그림 3 MCI 망에서 경로 설정 요구 대역폭이 [1, 5] Mbits/sec일 때 트래픽 부하에 따른 P_{block}

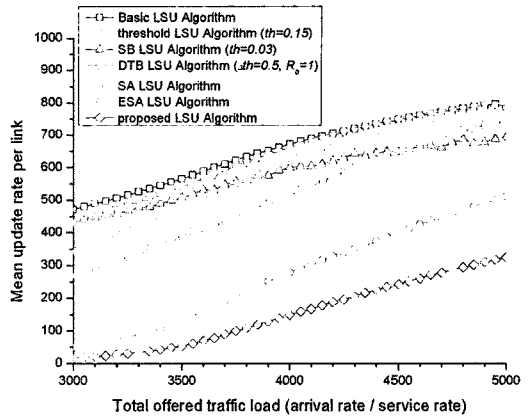


그림 4 MCI 망에서 경로 설정 요구 대역폭이 [1, 5] Mbits/sec일 때 트래픽 부하에 따른 링크 당 평균 업데이트 비율

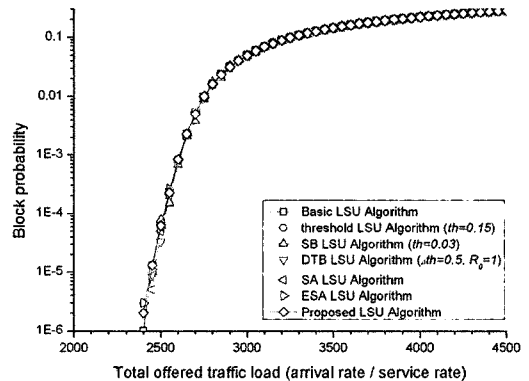


그림 5 NSFNET 망에서 경로 설정 요구 대역폭이 [1, 5] Mbits/sec일 때 트래픽 부하에 따른 P_{block}

그림 6은 NSFNET 망에서 경로 설정 요구 대역폭이 [1, 5]Mbps/sec인 경우에 대한 링크 당 평균 업데이트 비율을 나타낸다. 이전 실험에서와 마찬가지로, 망 구성이 달라졌지만 제안하는 알고리즘은 기본 LSU 알고리즘과 유사한 막힘 확률을 가지면서도 기존의 LSU 알고리즘보다 업데이트 메시지를 적게 발생하였다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 LSU 알고리즘에 대해 살펴보고 이를 개선한 LSU 알고리즘을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 기존의 LSU 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 성능을 비교하였다. 기존의 LSU 알고리즘은 LSU 메시지 전송을 결정하는 조건식에 상수를 사용하였기 때문에 네트워크 환경의 변화에 따라 최적의 상수값을 계산해야 하는 단점이 있었다. 제안하는 알고리

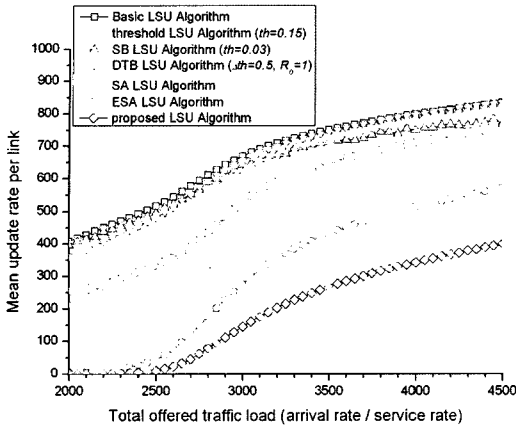


그림 6 NSFNET 망에서 경로 설정 요구 대역폭이 [1, 5] Mbts/sec일 때 트래픽 부하에 따른 링크 당 평균 업데이트 비율

좁은 링크의 트래픽 특성을 이용하여 LSU 메시지 전송을 결정하였기 때문에 기존의 임계값 기반 LSU 알고리즘과 달리 다양한 환경의 네트워크에 쉽게 적용될 수 있다. 또한 제안하는 알고리즘은 기존의 LSU 알고리즘과 유사한 막힘 확률을 보이면서도 업데이트 메시지는 보다 적게 발생시키는 것을 확인하였다.

참고 문헌

[1] X. Masip-Bruin, M. Yannuzzi, R. Serral-Gracia, J. Domingo-Pascual, J. Enriquez-Gabeiras, M. A. Callejo, M. Diaz, F. Racaru, G. Stea, E. Mingozzi, A. Beben, W. Burakowski, E. Monteiro and L. Cordeiro, "The EuQoS System: A Solution for QoS Routing in Heterogeneous Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 45, No. 2, pp. 96-103, 2007.

[2] G. Apostolopoulos, R. Guerin, S. Kamat, A. Orda and S. K. Tripathi, "Intradomain QoS Routing in IP Networks: A Feasibility and Cost/Benefit Analysis," IEEE Network, Vol. 13, pp. 42-54, 1999.

[3] G. Cheng and N. Ansari, "Rate-distortion based link state update," Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol. 50, pp. 3300-3314, 2006.

[4] D. Lorenz and A. Orda, "QoS Routing in Networks with Uncertain Parameters," ACM Transactions on Networking, Vol. 6, No. 6, pp. 768-778, 1998.

[5] Y. Jia, I. Nikolaidis and P. Gburzynski, "Multiple path routing in networks with inaccurate link state information," in Proc. of IEEE International Conference on Communications, Vol. 8, pp. 2583-2587, 2001.

[6] G. Apostolopoulos, R. Guerin and S. Kamat,

"Implementation and Performance Measurements of QoS Routing Extensions to OSPF," IEEE Network, Vol. 2, pp. 680-688, 1999.

[7] M. Zhao, H. Zhu, V. O. K. Li and Zhengxin Ma, "A Stability-Based Link State Updating Mechanism for QoS routing," IEEE International Conference on Communications, Vol. 1, pp. 33-37, 2005.

[8] Z. Ma, P. Zhang and R. Kantola, "Influence of Link State Updating on the Performance and Cost of QoS Routing in an Intranet," in Proc. of the IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing 2001, pp. 275-279, 2001.

[9] A. Ariza, E. Casilari and F. Sandoval, "QoS routing with adaptive updating of link states," IEE Electron. Lett., Vol. 37, pp. 604-606, 2001.

[10] S-H. Choi, M. Y. Chung, M. Yang, T. Kim and J. Park, "Simple-Adaptive Link State Update Algorithm for QoS Routing," LNCS 3991, Part I, pp. 969-972, 2006.

[11] S-H. Choi, M. Y. Chung, M. Yang, T. Kim and J. Park, "An Enhanced Simple-Adaptive Link State Update Algorithm for QoS Routing," IEICE Transactions on Communications, Vol. E90-B, No. 11, pp. 3117-3123, 2007.

[12] J. M. Hammersley and D. C. Handscomb, "Monte-Carlo Methods," Methuen & Co. Ltd., 1964.



이진주

2007년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사). 2007년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정. 관심분야는 QoS 라우팅, 이동통신 네트워크



정민영

1990년 2월 KAIST 전자공학과 졸업(학사). 1994년 2월 KAIST 전자공학과 졸업(석사). 1999년 2월 KAIST 전자공학과 졸업(박사). 2000년 1월~2002년 2월 ETRI 선임연구원. 2002년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수. 관심분야는 유/무선 홈 네트워크, 무선 LAN/PAN, 이동통신 네트워크, IP 라우터 시스템, 광 네트워크



이태진

1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(학사). 1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(석사). 1995년 12월 University of Michigan, Ann Arbor, EECS (M.S.E.) 1999년 5월 University of Texas, Austin, ECE (Ph.D.). 1999년 5월~

2001년 2월 삼성전자 중앙연구소 책임연구원. 2001년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수. 관심분야는 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN/MAN, ad-hoc/센서 네트워크, 무선 통신 시스템, 광 네트워크



추 현 승

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 정보

통신공학부 부교수. 2001년~현재 한국인터넷정보학회 부회장. 2001년~현재 한국시뮬레이션학회 이사. 2004년 3월~2006년 8월 대통령직속 교육혁신위원회 전문위원. 2005년 1월~현재 한국 건강보험심사평가원 전문위원. 2005년 10월~현재 지식경제부 ITRC 지능형HCI융합연구센터장, 정보통신공학부 컨버전스 연구소장. 관심분야는 유/무선/광 네트워크, 모바일컴퓨팅, 임베디드S/W, 그리드컴퓨팅