

# Flow Holding Time based Advanced Hybrid QoS Routing Link State Update in QoS Routing

Kang Hong Cho\*

## Abstract

In this paper, we propose a AH LSU(Advanced Hybrid QoS Routing Link State Update) Algorithm that improves the performance of Hybrid LSU(Hybrid QoS Link State State Update) Algorithm with statistical information of flow holding time in network. AH LSU algorithm has had both advantages of LSU message control in periodic QoS routing LSU algorithm and QoS routing performance in adaptive LSU algorithm. It has the mechanism that calculate LSU message transmission priority using the flow of statistical request bandwidth and available bandwidth and include MLMR(Meaningless LSU Message Removal) mechanism. MLMR mechanism can remove the meaningless LSU message generating repeatedly in short time. We have evaluated the performance of the MLMR mechanism, the proposed algorithm and the existing algorithms on MCI simulation network. We use the performance metric as the QoS routing blocking rate and the mean update rate per link , it thus appears that we have verified the performance of this algorithm.

▶ Keyword : Link State Update(LSU), Flow Holding Time, QoS Routing, Traffic, Bandwidth

## 1. Introduction

네트워크에서 QoS 라우팅은 사용자의 플로우의 QoS 요구를 만족시킬 수 있는 경로를 선택하되 그 플로우에 의해 소모되는 네트워크 자원의 양을 절감하고 네트워크상의 부하 분포를 균등하도록 조절함으로써 네트워크 자원 활용률을 극대화해야 하는 것을 목적으로 한다. 따라서 라우팅 시 고려되어야 할 가장 중요한 내용은 사용자의 QoS 요구 사항에 대한 최적 경로를 선택하는 것과 네트워크 자원을 고르게 활용하여 그 성능을 극대화하는 것이다. 이를 위해 다양한 QoS 요구를 만족시키기 위해 다양한 메트릭 또는 복합적인 메트릭을 기반으로 하여 동적 경로를 결정하는 QoS 라우팅 프로토콜에 대한 연구와 더불어 복잡한 QoS 라우팅으로 인해 발생하는 오버헤드를 줄이고 현재의 QoS 라우팅 프로토콜에서 네트워크 자원을 효율적으로 사용하여 사용자의 QoS 요구 사항에 대한 최적의 적정 경로를 찾는 기법에 대한 연구도 QoS 라우팅의 큰 이슈로 계속 연구되어 왔다[1-4]. 네트워크 자원의 사용을 극대화시키면서 QoS 요구 조건을 만족시키는 적정 경로를 찾기 위해서 네트워크를 구성하는 노드들은 전체 노드와 링크에 대한

정적인 정보뿐만 아니라 링크의 가용 대역폭과 같은 상태 정보를 정확히 파악하고 있어야 이를 바탕으로 적정 경로를 파악할 수 있다. 각 노드들은 정확한 링크 상태를 반영하기 위해 링크의 상태가 변할 때마다 이웃 노드에게 링크 상태 갱신(Link State Update:LSU) 메시지를 전송하여 링크의 현재 상태를 준다. 하지만 과도한 LSU 메시지의 발생은 오히려 네트워크 자원을 낭비하고 트래픽 부하가 심할 경우에는 트래픽 혼잡의 원인이 될 수 있다. 반대로 LSU 메시지의 전송이 충분하지 못하면 각 노드에서는 현재의 정확한 링크 상태 정보를 알지 못하고 과거에 갱신된 상태 정보를 통해 경로를 선택하기 때문에 정확하지 못한 상태 정보로 인해 경로 설정 요구가 거부된다. 즉 정확한 링크의 상태 반영과 이를 위한 업데이트 비용 간에는 반비례 관계가 존재한다. 이와 같이 가능한 LSU 메시지의 전송을 줄이면서 QoS 라우팅의 성능을 감소시키지 않기 위한 링크 상태 갱신 기법에 대한 연구 또한 QoS 라우팅의 다른 하나의 이슈로 계속 연구되었다[4-10].

본 논문에서는 링크 상태 갱신 기법에 대한 연구로 기존에 제시되었던 LSU 기법들을 기존의 고정형 링크 상태 갱신 기법과 적용형

---

• First Author: Kang Hong Cho, Corresponding Author: Kang Hong Cho  
\*Kang Hong Cho(khcho@dongyang.ac.kr), Dept. of Computer Information Engineering, Dongyang Mirae University  
• Received: 2016. 02. 19, Revised: 2016. 03. 09, Accepted: 2016. 03. 28.  
• This work was supported by Dongyang Mirae Univ. Research Grant.

링크 상태 갱신 기법으로 구분하여 각 기법들의 장단점을 분석하고 기존의 기법들의 성능을 보완한 Advanced Hybrid LSU 기법을 제시한다. 제 2 장에서는 기존에 연구되었던 LSU 기법에 대해 소개하고 제 3 장에서는 제안하는 Advanced Hybrid LSU 기법에 대해 설명한다. 제 4 장에서는 시뮬레이션을 통해 기존의 기법들과 성능 평가 및 성능 비교를 수행하여 제안하는 기법의 우수성을 확인하고 제 5 장 결론에서는 제안하는 새로운 기법의 의미와 앞으로의 연구 방향에 대해 설명한다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

QoS 라우팅에서 최적의 경로를 선택하기 위해서는 정확한 링크 상태 정보를 기반으로 해야 한다. 정확한 링크 상태 정보를 유지하기 위해 다양한 형태의 링크 상태 갱신 기법이 제안되어 왔다. 현재까지 연구된 기존 링크 상태 업데이트 갱신 기법은 크게 고정된 시간마다 주기적으로 링크 상태를 업데이트하거나 특정 제약 조건에 대한 임계값을 기반으로 하는 임계값 기반 링크 상태 갱신 기법 등의 고정형 링크 상태 갱신 기법과 링크 상태와 네트워크의 트래픽 변화에 따라 이를 기반으로 링크 상태 갱신 여부를 결정하는 적응형 링크 상태 갱신 기법으로 구분된다. 이번 장에서는 여러 가지 형태의 링크 상태 갱신 기법에 대해 분석하고 이 기법들의 장단점에 대해 살펴보고자 한다.

#### 1.1 주기적 링크 상태 갱신 기법

- Period Based(PB) LSU 기법은 일반적인 라우팅에서 사용되는 기본 방식으로 네트워크를 구성하는 라우터들이 정해진 시간마다 주기적으로 LSU 메시지를 서로 주고받아 네트워크 상태 정보를 유지한다. PB LSU 기법은 LSU 메시지의 트래픽을 정확히 조절할 수 있고 쉽게 적용 가능하지만 각 링크의 네트워크 상태의 변화를 중요한 시점에 알려주지 못하기 때문에 그 성능이 좋지 않다[4].

#### 1.2 고정형 임계값 링크 상태 갱신 기법

- Threshold Based(TB) LSU 기법은 가용 대역폭의 양이 임계값 이상으로 변화할 경우 LSU 메시지를 전송한다. 한 라우터의 링크  $i$ 에 대한 최근 사용 대역폭이  $bw_i^o$  이고 현재 사용 대역폭의 값은  $bw_i^c$  그리고 임계값이  $th$  일 경우,  $|bw_i^o - bw_i^c| / bw_i^c > th, (bw_i^o > 0)$  조건에서 LSU 메시지가 발생된다. 이 기법은 최적의 임계값을 설정할 경우 좋은 성능을 보이지만 적절한 임계값을 찾기 어렵고 트래픽 부하가 클수록 LSU 메시지가 많이 발생하는 문제점을 가진다. 또한 고정된 임계

값은 트래픽의 특성이 변했을 경우 그 특성을 반영할 수 없다[6].

- Class Based(CB) LSU 기법은 사용가능한 대역폭을 상수값  $B$ 에 의해  $(0, B), (B, 2B), (2B, 3B), \dots$  등으로 동일한 크기의 클래스로 나눈 후 만약 사용가능한 대역폭이 이전과 다른 클래스로 변화될 경우 LSU 메시지를 전송한다. 역시 적절한 상수값  $B$ 를 찾기 어렵고 트래픽의 특성을 반영하기 어렵다.
- Unequal Class Based(UCB) LSU 기법은 ECB 기법과 유사한 기법으로 상수값  $B$ 와 인자  $f$ 에 의한 등비수열 값으로  $(0, (f+1)B), ((f+1)B, (f^2+f+1)B), \dots$ , 와 같이 클래스를 나누어 사용한다. UCB는 ECB에 비해 클래스 사이에 서로 다른 가중치를 두어 좀 더 자세한 링크 상태의 변화를 가능하게 한다.

### 1.3 적응형 임계값 링크 상태 갱신 기법

- Dynamic Threshold Based(DTB) LSU 기법은 고정된 임계값 대신에 정해진 주기  $T$  동안에 발생된 LSU 메시지의 수에 따라 임계값을 변화시킨다.  $R_0$ 가 초기의 업데이트 비율,  $\tilde{R}_k$ 가 마지막  $T$  주기에서의 업데이트 비율이라고 할 때,  $k$  구간에서 사용될 임계값  $th_k$  는

$$\begin{cases} th_{k-1} + \Delta th, & \text{if } \tilde{R}_k \leq R_0, \\ th_{k-1} - \Delta th, & \text{if } \tilde{R}_k > R_0, \end{cases} \quad (1)$$

에 의해 결정된다. 이와 같이 업데이트 비율에 따라 임계값을 동적으로 변화할 수 있지만 업데이트 비율에만 근거해 임계값을 변화시키기 때문에 적절한 임계값을 찾기 어렵고 따라서 라우팅 성능이 좋지 않다.

- Second-moment Based(SB) LSU 기법은 대역폭  $C$ , 사용 중인 대역폭에 대한 평균값  $\mu$ 와 분산  $\sigma^2$ 을 이용한 stability function  $F(\mu, \sigma^2) = \frac{\sigma^2}{(C-\mu)C}$ 의 값이 임계값( $th$ )보다 클 경우에 LSU 메시지를 전송하는 트래픽 특성을 반영한 기법이다. SB 기법은 통계값을 이용하여 네트워크 트래픽 특성을 적절히 반영하여 안전성을 갖추었으나 역시 고정된 임계값을 사용한다는 단점을 가진다[8].

- Simple-Adaptive(SA) LSU 기법은 LSDB에 저장되어 있는 사용 가능한 대역폭  $B_n$ , 링크의 실제 사용 가능한 대역폭  $\tilde{B}(t)$ , LSU 메시지 전송 시점의 링크에서 제공 중인 서비스 개수  $\tilde{N}(t)$  라고 할 때

$$|B_n - \tilde{B}(t)| \geq \frac{\tilde{B}(t)}{\tilde{N}(t)} \quad (2)$$

조건을 만족하면 LSU 메시지를 전송하는 적응형 기법이지만 트래픽의 변화가 심할 경우 LSU 메시지의 수를

제어할 수 없다[10].

- Statistical Threshold(ST) LSU 기법은 해당 링크를 통해 제공되고 있는 경로 설정 요구의 사용 대역폭들의 통계값을 바탕으로 임계값을 계산하는 방식으로 현재 링크의 경로 설정 요구 대역폭들의 평균을  $\tilde{m}$ , 요청 대역폭들의 표본 분산을  $\alpha$ , 대역폭 보장 변수를  $\beta$ , 제공되고 있는 서비스의 요청 대역폭들 중 최대값을  $r_{max}$  라고 할 경우 임계값은  $th = \max(\tilde{m} + \beta\alpha, r_{max})$  의해 결정된다[2]. ST 기법은 임계값을 현재 링크에서 사용가능한 통계값을 이용하여 다양한 네트워크 환경의 특성에 따라 임계값이 결정되는 장점을 가지고 있지만 마찬가지로 LSU 메시지의 수를 조절할 수 없다 [11][12].

### III. The Proposed Scheme

Advanced Hybrid Link State Update (AH LSU) 기법은 기존에 제시된 Hybrid Link State Update 기법[13]에 플로우 유지 시간의 통계적 정보를 기반으로 반복되어 발생하는 의미없는 LSU 메시지의 수를 줄일 수 있는 MLMR(Meaningless LSU Message) 메커니즘을 적용하여 라우팅 성능은 동일하게 유지 하면서 LSU 메시지의 발생을 줄이고자 한다.

최근에 제안된 기법들은 대부분 링크의 가용 대역폭에 대한 트래픽 통계를 기반으로 하여 적응형 임계값을 넘었을 경우 LSU 메시지를 전송하도록 되어 있어서 링크의 상태가 임계값을 넘을 때마다 LSU 메시지를 전송하게 된다. 이와 같은 적응형 LSU 기법은 공통점은 라우팅 Blocking 확률에서의 성능이 좋지만 네트워크 트래픽의 특성에 따라 링크의 상태가 자주 변하게 되면 LSU 메시지 발생이 크게 증가할 수 있으며 LSU 메시지가 많이 발생하더라도 이를 제어하는 메커니즘이 없어 조절하는 것이 불가능해진다. 따라서 적응형 LSU 기법과 유사한 라우팅 성능을 가지며 더불어 LSU 메시지의 중요도를 구분하여 LSU 메시지 발생 여부를 제어할 수 있는 방법을 가지는 Hybrid LSU 기법을 제안하였다. 이를 위해 Hybrid LSU 기법에서는 LSU 메시지 전송의 중요도를 위해 라우팅 블록 발생 원인을 반영하였다. QoS 라우팅 성능을 평가하기 위한 성능 평가 지표로 사용되는 라우팅 Blocking 확률은 블록 발생의 원인에 따라 크게 두 가지 종류로 구분된다. 첫 번째 형태의 라우팅 Blocking( $N_{block1}$ )은 플로우의 요구 대역폭을 수용할 수 없어서 경로 설정 자체를 할 수 없는 경우에 발생한다. 두 번째 형태의 라우팅 Blocking( $N_{block2}$ )은 플로우의 요구 대역폭을 수용할 수 있다고 판단하여 경로 설정을 했지만 실제 플로우 전송 시 수용할 수 없는 경우에 발생한다. 두 가지 형태의 Blocking을 비교해보면 후자의 경우는 경로 설정 후에 blocking이 발생하므로 실제 네트워크 더 큰 영향을 미치고 불필요한 자원을 낭비하는 결과를 가져온다. 따라서 이 두 가지 Blocking 발생 원인

을 LSU 메시지 전송의 중요도를 판단할 때 반영하여 적용하고자 한다. 일반적인 경우 두 가지 형태의 Blocking을 구분하지 않고 라우팅 Blocking 확률에 포함되어 성능평가가 이루어지지만 본 논문에서는 두 가지 형태의 Blocking ( $Block_{type1}$ ,  $Block_{type2}$ )의 발생 원인을 구분하여 LSU 메시지 발생 중요도를 분류하고  $Block_{type1}$ 과  $Block_{type2}$ 를 구분하여 성능평가를 진행하였다.

LSU 메시지의 중요도를 구분하기 위해 현재 트래픽 통계정보와 블록 발생 원인을 기반으로 요구 대역폭이 가용대역폭에 미치는 영향에 따라 LSU 메시지 전송의 중요도를 구분하였고 복잡성을 최소화하기 위해 단순화하였다. 제안하는 기법은 다음의 단계에 따라서 진행된다.

현재 시점  $t$  에서 링크  $e_l$  을 사용하여 서비스 되고 있는 플로우들을  $flows_i^{e_l}(t)$  ( $i \in 1, 2, \dots, n$ )라고 정의하고 플로우들의 요구 대역폭들의 집합을  $\theta_i^{e_l}(t)$  ( $i \in 1, 2, \dots, n$ )라고 정의한다.

#### 1. LSU 메시지 전송 중요도 Level 구분

현재 서비스 되는  $flows_i^{e_l}(t)$  ( $i \in 1, 2, \dots, n$ ) 사용 대역폭  $\theta_i^{e_l}(t)$  ( $i \in 1, 2, \dots, n$ ) 정규분포를 따른다고 가정할 때 해당 링크를 통해 제공되고 있는 사용 대역폭의 평균을  $\mu^{e_l}(t)$  표준편차를  $\sigma^{e_l}(t)$  이라고 하면 사용 대역폭  $\tilde{\theta}$  범위는  $\mu^{e_l}(t) - \beta\sigma^{e_l}(t) \leq \tilde{\theta}(t) \leq \mu^{e_l}(t) + \beta\sigma^{e_l}(t)$ 로 정할 수 있다. 여기서  $\beta$  는 중요도 가중치 변수로 정규분포에 따라 1.64(90%), 1.0(68.3%)등으로 계산하여 요구되는 대역폭의 범위를 추정할 수 있다.

LSDB(Link State Database)에 저장되어 있는 사용 가능한 대역폭을  $B_n$  링크의 실제 사용 가능한 대역폭  $\tilde{B}(t)$ 라고 할 때,  $|B_n - \tilde{B}(t)| > \tilde{\theta}(t)$ 이면 평균 사용 대역폭 편차보다 LSDB와 실제 사용 대역폭 차이가 커지기 때문에 LSU 메시지를 전송하여 LSDB를 갱신하게 된다. 이 차이의 크기에 따라 현재의 상태를 VI-LSU(Very Important LSU) 상태, I-LSU(Important LSU) 상태, N-LSU(Normal LSU) 상태로 구분한다.

여기에 추가적으로  $Block_{type1}$ ,  $Block_{type2}$ 을 고려하여 중요도 level을 구분한다. 각 상태가  $B_n < \tilde{B}(t)$ 일 경우에 블록이 발생하면  $block_{type2}$ 블록이 발생하기 때문에 이를 줄이기 위해 LSU 메시지 전송의 우선순위를 높여서 전송한다. 반면에  $B_n > \tilde{B}(t)$ 일 경우에는  $block_{type1}$ 블록이 발생하기 때문에 LSU 메시지 전송의 중요도는 상대적으로 낮다고 판단한다. 이와 같이 현재의 가용대역폭 차이와 Blocking 타입에 따른 LSU 메시지 전송 중요도 Level 다음과 같다.

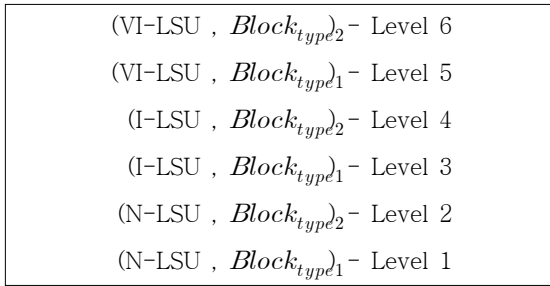


Fig. 1. LSU Priority Level

2. MLMR (Meaningless LSU Message Removal) 적용

기준에 제안된 기법들은 대부분 링크의 가용 대역폭을 기준으로 하여 임계값을 넘었을 경우 LSU 메시지를 전송하도록 되어 있다. 따라서 링크의 상태가 임계값을 넘을 때마다 LSU 메시지를 전송하게 된다. 바꾸어 말하면 네트워크 트래픽의 특성에 따라 링크의 상태가 자주 변하게 되면 LSU 메시지 발생은 크게 증가하게 되고, LSU 메시지가 연속적으로 발생하게 된다 [14].

예를 들어 링크의 상태 변화가 심하면 임계값 주변에서 값이 변화가 있을 경우  $\lambda(t)$ ,  $\lambda(t + \Delta)$  시간 사이에  $LSU(t)$ ,  $LSU(t + 1) \dots, LSU(t + 5)$ 까지 연속적으로 LSU 메시지가 발생된다. 만약  $\Delta$  시간이 허용할 수 있을 정도로 작아서  $\Delta$  시간 안에 다른 플로우의 연결 요구가 없어 링크의 가용 대역폭의 변화 확률이 낮다면 이전에 보냈던 연속적인 LSU 메시지는 의미가 없게 되고 자원의 낭비만 가져오게 된다. 결과적으로 최종적으로 보낸  $LSU(t + 5)$ 메시지만 발생해도 QoS 라우팅 성능 상에서는 동일한 결과를 가져오게 될 것이다. 만약 QoS 서비스를 지원하기 위한 네트워크의 특성에 따라 플로우 유지 시간을 QoS 라우팅 연결 시 미리 알고 있다고 가정하면 다음 조건에 따라 LSU 메시지를 발생시킬지 아니면 다음 시점에 발생시킬지 결정하게 된다.

```

if(전송중요도 Level에 따라 LSU메시지 발생될 경우)
{
    for (j = 0; j < n; j++)
        if(( $\exists$  any flows $_i^e[t, t + \theta_j] \in (t + \theta_j < \Delta)$ )
            No update LSUmessage;

        if((all flows $_i^e[t, t + \theta_j] \in (t + \theta_j > \Delta)$ )
            Update LSUmessage;
}
    
```

Fig. 2. MLMR (Meaningless LSU Message Removal) Mechanism

현재의 플로우들 중 시간  $\Delta$  안에 서비스 종료 예정인 플로우가 있으면 현재 시점에서 LSU 메시지를 발생시키지 않고, 다음번 LSU 메시지 발생 여부를 결정하는 시점까지 기다린다. 다음번 시점에서도 동일하게 적용하여 LSU 메시지 발생 여부를 결정하면 되는데, 만약 각 시점에서  $\Delta$  시간 안에 연속적인 플

로우가 존재할 경우 LSU 메시지가 발생되지 않아 링크 상태 정보가 부정확하게 되므로 일정 횟수  $c$  이상 넘지 않도록 제한을 둔다.

3. 단위시간 당 업데이트 비율  $\gamma$  설정

LSU 메시지의 수를 조절하기 위해 기준이 되는 단위시간 당 업데이트 비율  $\gamma$  을 설정한다.  $\gamma$ 는 관리자의 기준 및 네트워크 상태에 따라 설정될 수 있다. 또한  $\gamma^e(t)$ 는 실제로 단위시간 당 발생된 LSU 메시지의 수로 계산되는 값이며 기준값  $\gamma$ 와의 비교를 통해 LSU 메시지의 전송을 제어한다. 만약  $\gamma > \gamma^e(t)$ 면 LSU 메시지 발생이 기준값보다 작게 발생하므로 LSU 메시지 전송 기준 level을 낮추어 더 많은 LSU 메시지를 발생시키고  $\gamma < \gamma^e(t)$ 일 경우에는 LSU 메시지 전송 기준 level을 높여서 적게 LSU 메시지를 발생시키도록 제어한다. 이와 같이 단위시간 당 업데이트 비율  $\gamma$ 에 따라 LSU 메시지 수를 적절히 조절할 수 있다.

4. LSU 메시지 전송 여부 결정

앞에서 구별된 LSU 메시지 전송 중요도 Level에 따라 VI-LSU 메시지의 경우에는 단위시간당 업데이트 비율 임계값  $\gamma$ 과 관계없이 무조건 전송하고 I-LSU 메시지와 N-LSU 메시지의 경우에는  $t$ 시점에서의 단위시간 당 LSU 메시지 업데이트 비율  $\gamma^e(t)$ 가 기준값  $\gamma$ 를 넘지 않았을 경우에만 LSU 메시지를 전송하고 넘었을 경우는 LSU 메시지의 수를 조절하기 위해 전송하지 않는다.

위와 같은 단계를 통해 LSU 메시지 중요도를 구분한 후 단위시간당 업데이트 비율을 기준으로 LSU 메시지의 전송 여부를 결정한다.

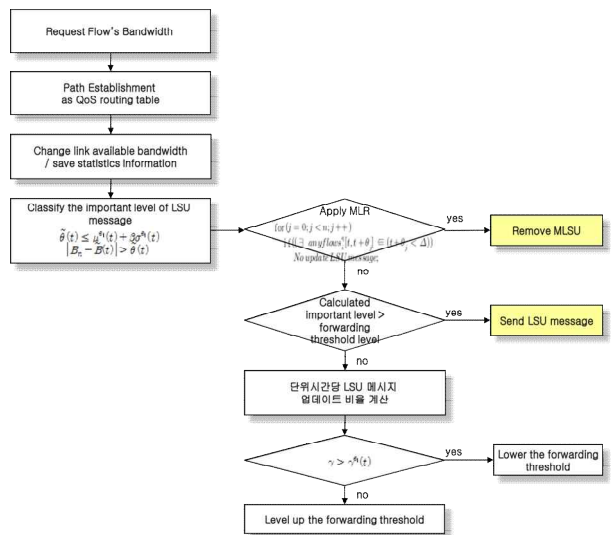


Fig. 3. Advanced Hybrid Link Status Update Algorithm

## IV. Experiment Results

본 논문에서 성능 평가를 위해 Java 1.6을 기반으로 한 라우팅 시뮬레이터를 구현하였다. 구현된 라우팅 시뮬레이터는 트래픽 발생 모듈, 라우팅 엔진 모듈, 트래픽 처리 모듈, 네트워크 상태 정보 갱신 모듈, 라우팅 테이블, 네트워크 상태정보 DB 등으로 구성되며 그 구조는 그림 4와 같다.

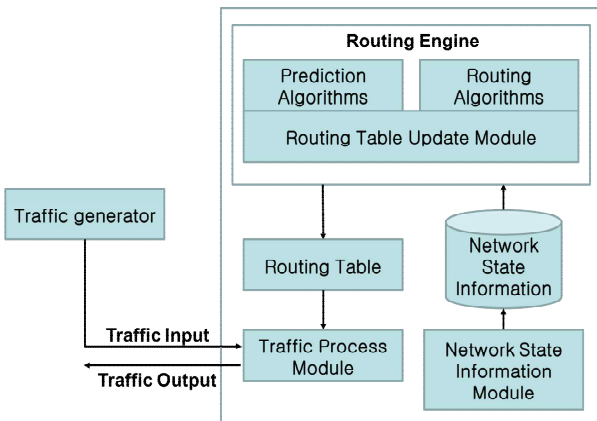


Fig. 4. Routing Simulator

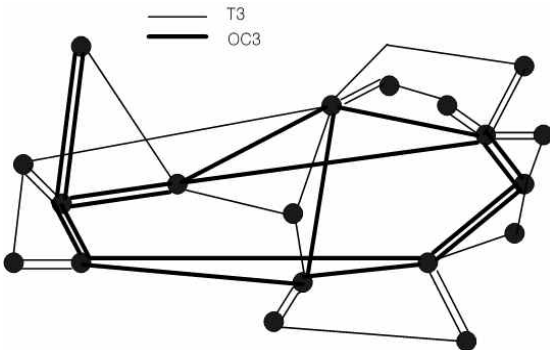


Fig. 5. MCI network topology in simulation

성능 평가를 위해 자바를 기반으로 한 라우팅 시뮬레이터를 구현하였고 그림 5와 같이 미국 백본 네트워크와 유사하게 구성되어 QoS 라우팅 성능 평가에 대표적으로 사용되는 MCI 네트워크 토폴로지 구성하였다[2,5-10]. MCI 네트워크 토폴로지는 19개의 노드와 77개의 OC-3 (155Mbit/s) 와 T3 (45Mbit/s)의 선로들로 구성되어 있다. 송신 노드와 수신 노드는 두 노드가 같은 경우를 제외하고 균일한 확률로 랜덤하게 선택되도록 하였고 1~5 Mbit/s 사이의 CBR(Constant Bit Rate)트래픽을 균일 분포(uniform distribution)에 따라 랜덤하게 발생하였고, 이 때 플로우 유지 시간은 평균 1200초 또는 2400초 값을 가지고 지수 분포(exponentially distribution)에 따라 발생시켰다. 각 기법의 성능을 확실히 구분하기 위하여 네트워크의 트래픽 부하 트래픽 도착율에 따라 크게 하여 지수 분포에 따라 발생시켰다.

요청된 트래픽 요구 대역폭을 만족시키는 적정 경로를 찾기 위한 QoS 라우팅 기법들은 일반적으로 사용되고 적정 경로 중 비용이 가장 낮은 경로를 찾는 Dijkstra 기법을 사용하였다. 그리고 제안하는 기법에서는 단위시간 당 LSU 메시지 업데이트 비율 초기  $\gamma$  를 0.6으로 적용하였고 트래픽부하에 따라 순차적으로 증가하도록 하였다.

본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위한 성능 평가 항목으로 일반적으로 QoS 라우팅 기법의 성능을 평가하기 위해 사용되는 Blocking 확률,  $P_{block}$ 과 링크 당 LSU 메시지 발생 비율,  $R_{update}$ 를 사용하였다.  $P_{block}$ 에는 Blocking ( $Block_{type1}$ ,  $Block_{type2}$ )을 모두 포함한다.  $N_{block}$ 이 경로 설정 요구가 받아들여지지 않아 Blocking된 횟수이고  $N_{totalrequest}$ 는 전체 경로 설정 요구 횟수 일 경우

$$P_{block} = \frac{N_{block}}{N_{totalrequest}} \quad (3)$$

이다.  $N_{update}$ 가 전체 LSU 메시지 발생 횟수이고  $N_{link}$ 는 네트워크를 구성하는 링크의 총 개수 일 경우 링크 당 LSU 메시지 수는

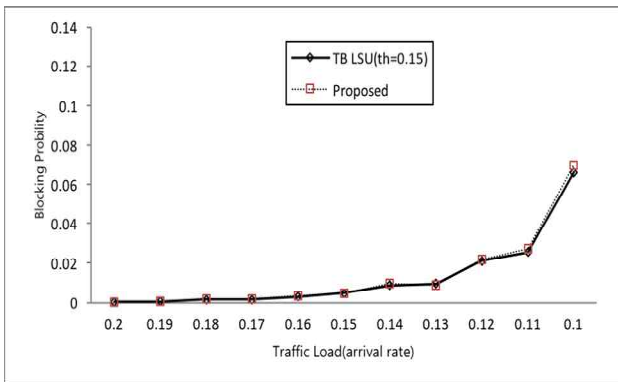
$$R_{update} = \frac{N_{update}}{N_{link}} \quad (4)$$

이다.

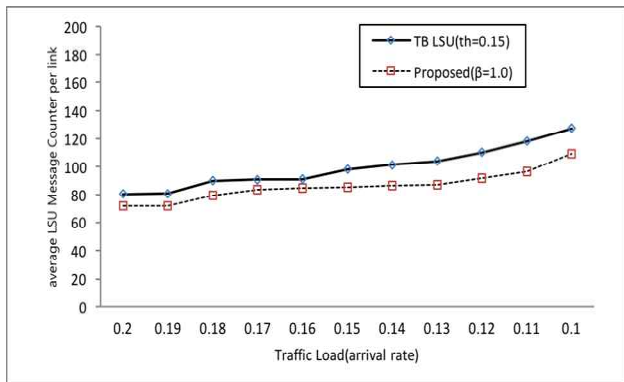
먼저 그림 6는 본 논문에서 제안하는 MLMR 메커니즘의 성능 평가를 위해 기존에 제안되었던 다양한 LSU 기법에 MLMR을 각각 적용하였고 그 결과를 트래픽 부하에 따라 Blocking 확률과 링크별 평균 LSU 메시지 수를 보여준다. LSU 기법의 성능을 좀 더 분명히 구분하기 위해 트래픽 부하를 0.2에서 0.1까지 단계적으로 증가시켰다. 그림 6의 (a) ~ (j)의 그림은 기존의 기법에 본 논문에서 제안하는 기법을 각각 적용한 결과를 보여준다. (a)는 기존의 임계값 기반의 TB LSU(th=0.15) 기법과 이 기법에 MLMR을 적용한 후 Blocking 확률을 나타내고 있는데 크게 차이가 없음을 볼 수 있다. 반면 (b)의 그림을 보면 링크 당 평균 LSU 메시지의 수는 크게 감소한 것을 확인할 수 있다. 즉 MLMR을 적용한 결과 QoS 라우팅의 큰 성능 저하 없이 링크 당 LSU 메시지 수가 크게 감소된 것을 뚜렷하게 확인할 수 있다. 그림 6의 (c) ~ (j)의 결과를 보면 TB LSU(th=0.03), BCB LSU(B=0.1), ST LSU, SA LSU 기법에서도 정도의 차이가 있지만 모든 기법에서 Blocking 확률의 큰 변화 없이 링크 당 평균 LSU 메시지의 수가 차이가날 만큼 줄어든 것을 볼 수 있다.

그림 7과 그림 8은 제안하는 AH 기법과 기존의 기법들과의 성능 비교를 전체적으로 보여주는 그래프이다.

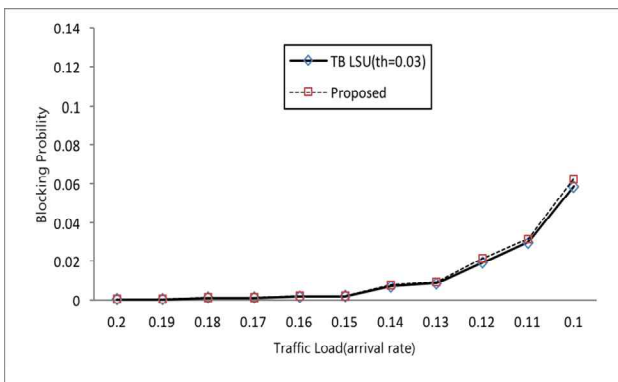
먼저 Basic LSU 기법은 링크의 상태가 변할 때마다 LSU 메시지를 보내어 링크의 가용대역폭을 알려주는 방식으로 평균 LSU 메시지 수가 가장 높지만 QoS 라우팅 Blocking 확률의 성능 상으로 가장 이상적이기 때문에 기준 값으로 볼 수 있고 이것을 기준으로 다른 기법과의 성능을 비교해 볼 수 있다. 보는



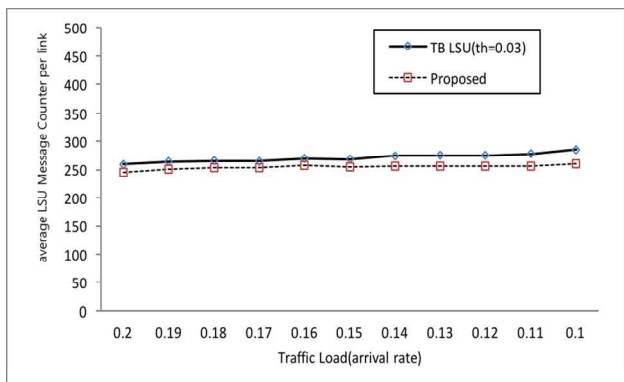
(a) TB LSU(th=0.15)의 Blocking 확률



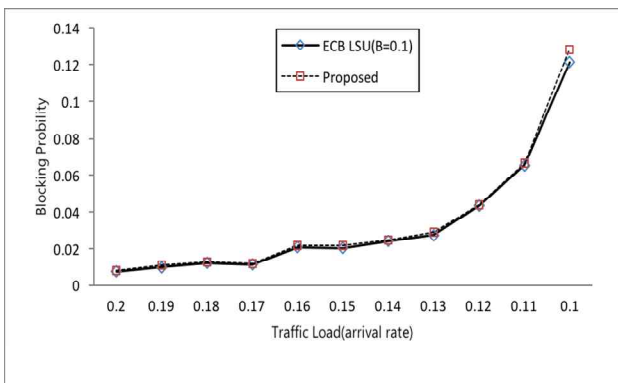
(b) TB LSU(th=0.15)의 링크별 평균 LSU 메시지 수



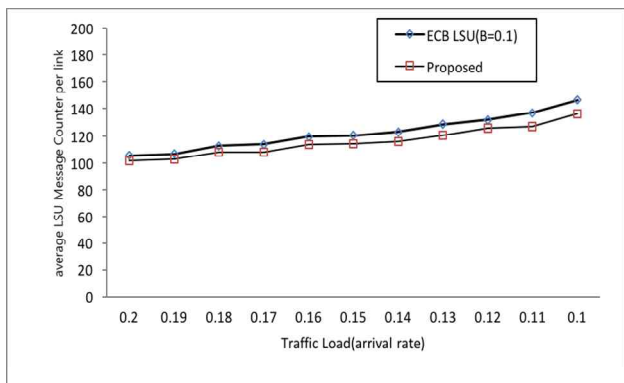
(c) TB LSU(th=0.03)의 Blocking 확률



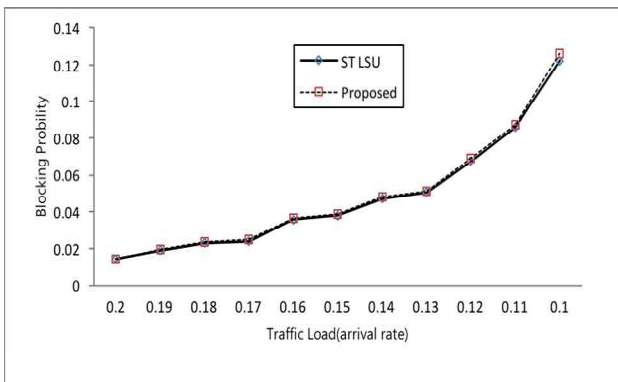
(d) TB LSU(th=0.03)의 링크별 평균 LSU 메시지 수



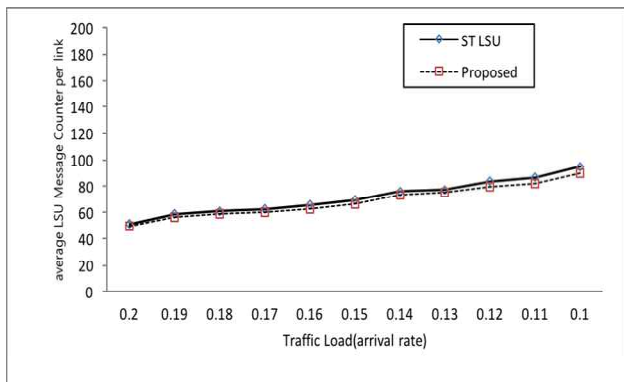
(e) ECB LSU(B=0.1)의 Blocking 확률



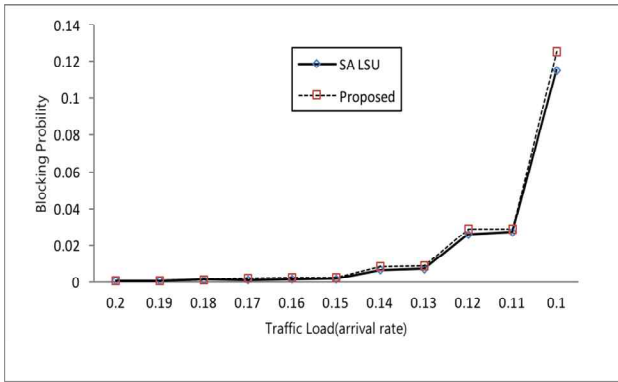
(f) ECB LSU(B=0.1)의 링크별 평균 LSU 메시지 수



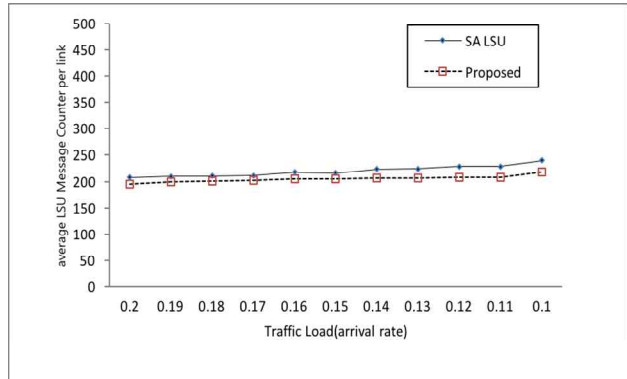
(g) ST LSU의 Blocking 확률



(h) ST LSU의 링크별 평균 LSU 메시지 수



(i) SA LSU의 Blocking 확률



(j) SA LSU의 링크별 평균 LSU 메시지 수

Fig 6. MLMR-adapted LSU Algorithms Performance Evaluation

바와 같이 AH 기법은 기존의 다른 LSU 기법에 비해 우수한 성능을 가지는 Hybrid 기법과 거의 비슷한 Blocking 확률을 보여 주고 있다.

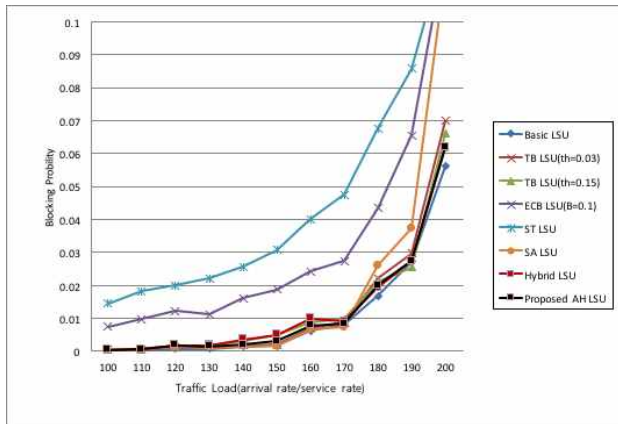


Fig 7. Blocking Probability in Traffic Load

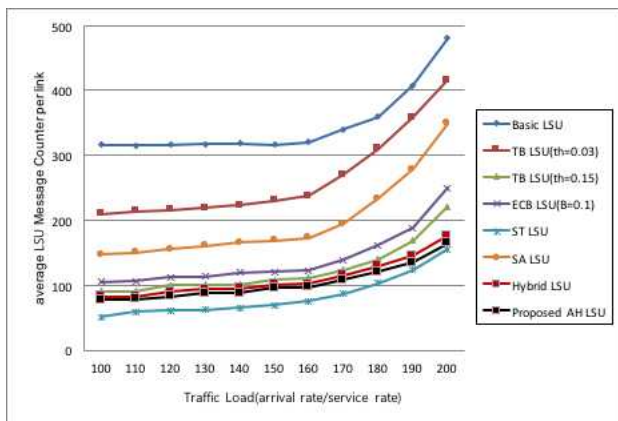


Fig 8. Mean Link State Update Message Number per Link

좀 더 구체적으로 각 기법들의 성능 분석을 해보기 위해서는 그림 7의 결과는 그림 8의 링크별 평균 LSU 메시지 수와 같이 살펴봐야 한다. ST LSU 기법은 링크별 평균 LSU 메시지 수가 가장 적게 나왔지만 그림 7를 보면 Blocking 확률이 가장 좋

지 않게 나왔다. 즉 이것은 트래픽의 특성을 정확하게 반영하지 못해 LSU 메시지가 적게 발생해 Blocking 확률이 높아진 것으로 볼 수 있다. SA LSU 기법은 Blocking 확률에서는 어느 정도 좋은 결과를 보여주었지만, 평균 LSU 메시지 수가 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 적응형 기법의 경우에는 네트워크 상태에 따라 LSU 메시지의 수를 늘리거나 줄일 수 있는 제어 메커니즘이 없기 때문에 발생한다.

## V. Conclusions

본 논문에서는 플로우 유지 시간의 통계적 정보를 이용한 MLMR 메커니즘을 적용하여 하이브리드 링크 상태 갱신 기법 성능을 향상시킨 Advanced Hybrid 기법을 제안하였다. 주기적 링크 상태 갱신 기법의 장점인 LSU 메시지 제어 기능과 적응형 링크 상태 갱신 기법의 장점인 라우팅 성능을 가지는 Advanced Hybrid LSU 기법은 네트워크 트래픽 정보를 기반으로 임계값이 변하는 적응형 링크 상태 갱신 기법으로 라우팅 성능을 향상시키고 플로우의 요구 대역폭 정보를 통해 LSU 메시지 전송 중요도를 판단하여 단위 시간 당 업데이트 비율에 따라 LSU 메시지 전송을 전송하고 또한 짧은 시간 안에 반복적으로 발생하는 의미없는 LSU 메시지를 감소시키는 MLMR 메커니즘을 포함하여 그 성능을 더욱 높였다.

라우팅 Blocking 확률과 링크별 평균 LSU 메시지 수를 기준으로 성능 평가를 수행한 결과 기존의 여러 LSU 기법에 MLMR을 적용하여 성능이 향상되는 것을 확인하였고 이를 Hybrid 기법에 적용한 Advanced Hybrid 기법은 더 적은 평균 LSU 메시지 수로 기존의 Hybrid 기법의 라우팅 Blocking 확률을 그대로 유지 또는 일부 낮추는 성능을 보였다.

추가 연구로 통계적 정보를 최소화하면서 단위시간 당 LSU 메시지 발생 비율의 최적값을 얻는 연구와 네트워크 상태에 따라 변화할 수 있도록 추가 연구하는 것이 진행 중이며 좀 더 정확한 성능 평가를 위해 다양한 형태의 네트워크 환경에 적용하고 트래픽의 특성을 다양화해서 성능평가를 하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- [1] Kyeong-in Kang, Gyong-bae Park, "Routing Protocol Supporting QoS in Mobile Ad-hoc Network", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 12, No. 2, May. 2007
- [2] Q. Ma, P. Steenkiste, "On path selection for traffic with bandwidth guarantees," ICNP , pp.191, Fifth International Conference on Network Protocols (ICNP'97), Oct. 1997
- [3] G. Apostolopoulos, R. Gu'erin, S. Kamat, and S. K. Tripathi, "QoS Routing: A Performance Perspective", in proceedings of ACM SGCOMM 1998, Oct. 1998
- [4] G. Apostolopoulos, Roch Guerin, Sanjay Kamat, "Improving Routing Performance Under Inaccurate Link State Information", Proceedings of the 16th International Teletraffic Congress, June. 1999
- [5] Jin Ju Lee, Min Young Chung, Tae-Jin Lee, Hyunseung Cho, "A link State Update Algorithm based on a Statistical Threshold for Guarantee of Bandwidth", Journal of The Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 35, No. 5, Oct. 2008
- [6] D.Lorenz and A. Orda, "QoS Routing in Networks with Uncertain Parameters", ACM Transactions on Networking, Vol. 6, pp. 768-778, Dec. 1998
- [7] A. Ariza, E. Casilari, F. Sandoval, "QoS Routing with adaptive updating of link states", Electronic Letters, Vol. 37, pp. 604-606, Apr. 2001
- [8] Miao Zhao, Huiling Zhu, Victor O. K. Li, Zhengxin Ma, "A Stability-Based Link State Updating Mechanism for QoS Routing", IEEE International Conference on Communications, Vol. 1, pp. 33-37, May. 2005
- [9] Eva Marin-Torder, Xavier Masip-Bruin, Sergio Sanchez-Lopez, Jordi Domingo-Pascual, "The Prediction Approach in QoS Routing", Communications, 2006. ICC IEEE International Conference on Volume 3, pp. 1020 - 1025, June. 2006
- [10] Seung-Hyuk Choi, Myoung-Hee Jung, Min Young Chung, Mijeong Yang, Taeil Kim, Jaehyung Park, "Simple-Adaptive Link State Update Algorithm for QoS Routing", LNCS 3991, Part I, pp.969-972, May. 2006
- [11] Han Jung Su, "A Study of Adaptive QoS Routing scheme using Policy-gradient Reinforcement Learning", Journal of The Korea Society of Computer and Information Vol. 16 No. 2, Feb. 2011
- [12] Jaewon Kang, "ALE: Adaptive link establishment in OSPF wireless ad-hoc networks", MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, Nov. 2010
- [13] Kang Hong Cho, "Hybrid Link State Update Algorithm in QoS Routing", Journal of The Korea Society of Computer and Information Vol. 19 No. 3, March. 2014
- [14] Masip-Bruin, X., "Reducing the effects of routing inaccuracy by means of prediction and an innovative link-state cost", Communications Letters Vol 14, Issue 5, IEEE, May. 2010

## Author



Kang Hong Cho received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from SungKyunKwan University, Korea, in 1997, 1999 and 2003, respectively.

Dr. Cho joined the faculty of the Department of Computer Information Engineering at Dongyang Mirae University, Seoul, Korea, in 2003. He is currently a Associate Professor in the Department of Computer Information Engineering, Dongyang Mirae University. He is interested in QoS network, internet and mobile computing.