

# 통합 서비스 패킷 망을 위한 BDLR 라우팅 알고리즘

차 미 리<sup>†</sup> · 이 광 일<sup>††</sup> · 박 남 훈<sup>†††</sup> · 김 상 하<sup>††††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 통합 서비스 패킷 망에서의 통합 서비스들을 효율적으로 지원할 수 있는 새로운 라우팅 알고리즘인 BDLR 알고리즘을 제안한다. BDLR 알고리즘은 통합 서비스에서의 서비스 효율에 중요한 영향을 미치는 상태 정보들인 대역폭, 지연시간, 손실을 정보에 근거한 비용계산 함수를 사용하고 있다. 또한, 시뮬레이션 모델링을 통하여 기존에 제안된 라우팅 알고리즘들과 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과는 본 논문에서 제안된 BDLR 알고리즘이 기존의 제안된 알고리즘에 비해 전송 지연시간, QoS 요구 사항의 만족정도, 그리고 트래픽 환경 변화에 따른 적응성 등에서 우수한 결과를 보여준다.

## BDLR : A New Routing Algorithm for ISPN

Mi Lee Cha<sup>†</sup> · Kwang Il Lee<sup>††</sup> · Nam Hoon Park<sup>†††</sup> · Sang Ha Kim<sup>††††</sup>

## ABSTRACT

This paper proposes a new routing algorithm, the Bandwidth-Delay-Loss based Routing(BDLR) algorithm, which supports the selection of an efficient routing path by considering the characteristics and QoS requirements of integrated services over the Integrated Services Packet Network(ISPN), and also compares it with other routing algorithms by simulating their performances on the various combinations of the realtime and non-realtime traffic over the ISPN. The simulation shows that the BDLR algorithm takes great advantages on transmission delay, the satisfiability of QoS requirements, and the adaptation of traffic environment over the other routing algorithms proposed for ISPN until now.

### 1. 서 론

현재 인터넷에서 제공되고 있는 best-effort 서비스는 모든 서비스들에게 동일한 서비스를 제공한다. 하지만, 멀티미디어 서비스들은 네트워크 내에서 제공

되는 QoS에 민감하게 반응하기 때문에 동일한 서비스만을 제공하는 best-effort 서비스로는 이들 서비스들을 효과적으로 제공할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 통합 서비스 패킷망(ISPN: Integrated Services Packet Network)[1]이 제안되었는데, 통합 서비스 패킷망은 자료의 전송 전에 필요한 네트워크 자원을 예약하여 각 서비스들이 요구하는 QoS를 보장할 수 있도록 인터넷을 확장한 네트워크 구조이다. 통합 서비스 패킷 망은 확장된 서비스를 제공하기 위해 라우팅(Routing)의 변화도 필요로 한다.

※이 논문은 1996년도 한국전자통신연구소 위탁과제 지원사업에 의해 이루어졌음

† 정 회 원: 충남대학교 컴퓨터과학과

†† 준 회 원: 충남대학교 컴퓨터과학과

††† 정 회 원: 한국전자통신연구원 통신망구조연구실

†††† 중신회원: 충남대학교 컴퓨터과학과

논문접수: 1996년 10월 14일, 심사완료: 1997년 4월 25일

현재 인터넷에서 사용되고 있는 대표적 라우팅 프로토콜들은 RIP(Routing Information Protocol) [8]과 OSPF(Open Shortest Path Forwarding)[9] 등이 있다. 이들 라우팅 프로토콜들은 경유 노드 수, 지연시간, 링크 활용률과 같은 한 가지 정보만을 이용하여 경로를 계산하므로 다양한 QoS 요구사항을 갖는 서비스들을 위한 경로를 제공하는데는 적합하지 못하다. 최근에 통합 서비스 망을 위해 제안된 라우팅 알고리즘들 [6][10]도 경로계산이 복잡하고 각 서비스들의 특성에 근거한 경로계산을 제공하지 못하기 때문에 요구되는 QoS를 효과적으로 수용하기에는 아직 미흡하다. 또한 이들 라우팅 알고리즘들에 대해서는 실시간 서비스에 대한 성능 평가만 수행되었고 비 실시간 서비스를 포함하는 통합 서비스에 대한 성능평가는 수행되지 못하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 통합 서비스 망의 서비스 요구사항을 효과적으로 수용할 수 있는 비용계산 함수를 정의하고 정의된 비용계산 함수를 통하여 두 가지 라우팅 알고리즘을 제안하고, 이 라우팅 알고리즘들이 통합 서비스를 지원할 때의 성능을 평가하고 비교, 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 현재 통합 서비스 패킷망을 위해 제안된 라우팅 알고리즘들의 특성에 대해서 알아보고, 제 3장에서는 대역폭, 지연시간, 손실률 정보를 이용하여 비용함수를 정의하고, 이 비용함수에 근거한 두 가지의 BDLR(Bandwidth-Delay-Loss based Routing) 알고리즘을 소개한다. 제 4장에서는 시뮬레이션 실험을 통하여 여러 알고리즘의 성능을 분석, 비교하고, 제 5장에서는 결론 및 향후의 연구과제에 대하여 다룬다.

## 2. 통합 서비스망을 위한 라우팅 알고리즘

본 장에서는 통합 서비스망을 위해 Wang [10]과 Matta[6]가 제안한 라우팅 알고리즘들을 소개하고, 각 알고리즘들의 특성들을 살펴본다.

### 2.1 Wang 알고리즘

Wang은 중앙형 알고리즘과 분산형 알고리즘을 제안하였다. 중앙형 알고리즘은 송신자가 연결을 요구할 때마다 적합한 전송경로를 계산하는데 Dijkstra의 알고리즘을 사용하고 분산형 알고리즘은 인접 노드

에서 전송 받은 거리벡터를 이용한 상태 정보를 통하여 전송경로를 미리 계산하고 연결요구가 있을 때에 계산된 경로를 참조하여 라우팅을 수행한다.

Wang이 제안한 알고리즘들은 [알고리즘 1]과 [알고리즘 2]에 나타내었다. 이들 알고리즘에서 1은 소스 노드를 가리키며, m은 목적지 노드를 가리킨다. 또한, 노드 i에서 노드 j사이의 대역폭 값과 지연시간 값은 각각  $b_{ij}$ ,  $d_{ij}$ 로 나타냈으며,  $B_i$ 와  $D_i$ 는 소스 노드에서 노드 i까지의 대역폭 값과 지연시간을 나타낸다.

[알고리즘 1]의 중앙형 알고리즘은 각 연결이 요구하는 대역폭(B)과 지연시간에 대한 요구사항(D)을 충족시켜 주는 경로들 중에서 지연시간이 최소가 되는 경로를 선택하도록 하고 있다.

[알고리즘 1] Wang의 중앙형 알고리즘

Step 1: Set  $d_{ij} = \infty$ , if  $b_{ij} < B$

Step 2: Set  $L = \{1\}$ ,  $D_i = d_{ij}$  for all  $i \neq 1$

Step 3: Find  $k \in L$  so that  $D_k = \text{Min } D_i$  for all  $i \in L$   
if  $D_k > D$ , no path and algorithm terminate  
if L contains node m, path found and terminate  
 $L = L \cup \{k\}$

Step 4: For all  $i \in L$ , set  $D_i = \min [D_i, D_k + d_{ki}]$

Step 5: Go to Step 3

[알고리즘 2]에 제시된 분산형 알고리즘은 지역적 상태 정보만을 이용하기 때문에 전체 네트워크에 대한 정확한 정보를 알 수 없다. 하지만, 서비스 요구사항을 충족시킬 수 있는 적합한 경로를 선택하기 위하여 각 경로에서의 대역폭 값을 구하고, 대역폭 값이 최대가 되는 경로를 선택하도록 한다. 최대 대역폭 값이 같은 경로가 두 개 이상 존재할 때에는 지연시간 값이 최소가 되는 경로를 선택한다.

[알고리즘 2] Wang의 분산형 알고리즘

Step 1: Initially,  $h = 0$  and  $B_i^{(0)} = 0$  for all  $i \neq 1$

Step 2: Find path set K so that  $\text{width}(1, \dots, K, i) = \max [\min (B_j^{(h)}, b_{ji})]$ ,  $i \neq 1$ , for all  $1 \leq j \leq N$

Step 3: If K has more than one element, find k so that  $\text{length}(1, \dots, k, i) = \min (D_j^{(h)}, d_{ji})$ ,  $i \neq 1$ , for all  $1 \leq j \leq N$

Step 4:  $B_i^{(h+1)} = \text{width}(1, \dots, k, i)$  and  $D_i^{(h+1)} = \text{length}(1, \dots, k, i)$

Step 5: If  $h \geq A$ , the algorithm is complete  
 Otherwise,  $h = h + 1$  and go to Step 2

[알고리즘 1]과 [알고리즘 2]를 통하여 Wang 알고리즘의 특성들을 다음과 같이 요약한다. 첫째, 우선순위에 기반을 둔 경로 계산 방법이다. 두 상태 정보 값이 서로 다르지만, 최적의 경로를 선택할 때 중앙형 알고리즘에서는 지연시간, 분산형 알고리즘에서는 대역폭에 우선순위를 둔 경로계산 방법을 사용하고 있다. 둘째, 중앙형 알고리즘은 모든 가변정보를 실시간에 제공 받을 수 있을 때에만 경로 계산이 효율적이다. 하지만, 정보의 전송에 따르는 지연시간으로 인해 실시간성을 제공하기 어렵고 끊임없이 가변하는 정보를 전송하기 위해서는 트래픽이 증가하므로 네트워크의 성능이 저하될 수 있다. 셋째, 우선순위에 근거한 경로를 계산하기 때문에 우선순위가 낮은 값에서 현저한 차이가 있을 경우, Wang의 알고리즘에 의해 선택된 경로가 모든 서비스에게 항상 최적일 수 없다는 문제점이 있다.

2.2 Matta 알고리즘

Matta는 통합 서비스 망을 위한 특정한 라우팅 알고리즘을 제안하기 전에 임의로 적용 가능한 일반적인 weight함수를 (식 1)과 같이 제안하였다.

$$W_p \propto \frac{(1 - BP_p) \times F_p}{H_p \times L_p} \quad (1)$$

- $W_p$ : 경로 p에 대한 정의된 weight 값
- $BP_p$ : 경로 p상에서의 연결 요청에 대한 실패 확률
- $F_p$ : 0 또는 1의 값을 갖는 변수로서 경로의 적합성 유무를 표현 함
- $H_p$ : 경로 p상에서 경유하는 노드들의 수
- $L_p$ : 경로 p에 대한 부하(Load) 값

(식 1)에 정의된 경로에 대한 일반적인 weight함수를 근거로 특히, 부하 값을 다양하게 정의함에 따라 여러가지 라우팅 구조를 얻을 수 있도록 제안하고 있다. 또한, 경유노드 수가 최소(minimum hop count)거나 차선으로 최소인 경유노드 수(next-minimum hop count)를 갖는 경로만을 포함하는 스케줄 가능지역을 정의하여, 경로 계산시에 모든 경로들을 고려하지 않

고 선택적 경로 계산을 하여 높은 연결 성공률과 생산성을 얻고자 하였다[6].

Matta는 경유 노드수와 링크의 활용률 정보를 이용하는 3가지 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 이들에 대한 weight함수의 정의는 [알고리즘 3]-[알고리즘 5]에 나타내었다.

[알고리즘 3] SEL.HOP:  $\frac{1}{H_p}$

[알고리즘 4] SEL.UTIL:  $1 - U_p$

[알고리즘 5] SEL.UTIL\_HOP:  $\frac{1 - U_p}{H_p}$

( $U_p$ : 경로 p상에서의 최대 링크의 활용률)

Matta는 실험을 통하여 세가지 라우팅 알고리즘의 성능을 비교하였으며, 비교 결과 SEL.UTIL\_HOP에 의한 경로의 선택 방법이 가장 좋은 성능을 보여 주었다. 즉 경로 선택에서 최소의 링크 활용률과 최소 경유 노드 수를 갖는 경로를 선택하는 것이 다른 방법들에 비해 성능이 좋음을 알 수 있다[6].

이상의 Matta의 알고리즘의 특징은 다음과 같다. 첫째, 서로 다른 정보를 수식으로 계산하여 하나의 값으로 표현하였다는 것이다. 이러한 계산방법은 상태 정보의 이질성으로 인한 경로 계산의 복잡성을 해결할 수 있지만, Matta의 알고리즘에 사용되고 있는 링크의 활용률 값은 대역폭이 서로 다른 이질적인 네트워크 구조에서는 같은 값이라 하더라도 실제적으로는 의미상의 차이가 많이 발생할 수 있다. 둘째, 가장 좋은 성능을 보였던 SEL.UTIL\_HOP 알고리즘에서 사용되는 경유노드 수는 정적 상태 정보이다. 따라서 정적 상태 정보를 통하여 weight함수를 정의한 것은 동적으로 변하는 네트워크 상황을 표현하는데 한계가 있다.

3. BDLR 알고리즘

3.1 고려사항

통합 서비스 망은 제공되는 서비스들에게 목적지까지의 최적 경로를 제공하기 위해 라우팅 알고리즘 설계시 다음의 두가지 사항을 고려해야 한다.

첫째, 무슨 정보들을 라우팅에 사용할 것인가를 고

려하여야 한다. 즉 라우팅에 사용되는 정보들이 서비스 요구사항들과 전체 네트워크의 자원 및 트래픽의 상황을 효과적으로 표현함으로써 전체 서비스의 효율과 네트워크의 효율을 극대화하는 경로를 제공할 수 있어야 한다.

둘째, 통합 서비스 망에서의 실시간 서비스의 요구사항들은 다양하고 복잡하기 때문에 보통 두가지 이상의 정보가 경로 계산에 사용된다. 그러나 각 경로에서 얻어지는 상태 값과 값들의 특성이 서로 상이하기 때문에 절대적으로 최적인 경로를 선택하기가 극히 어렵다. 따라서, 서로 다른 상태 정보 값을 갖는 경로들 중에서 최적의 경로를 계산할 수 있는 효율적인 방법을 고려하여야 한다.

### 3.2 BDLR 알고리즘

본 절에서는 통합 서비스 망에서 제공하는 비 실시간 서비스와 실시간 서비스를 효과적으로 제공하기 위해 먼저, 각 서비스의 효율 향상에 고려되어야 할 점들을 살펴보고, 다음으로 두 가지 형태의 BDLR (Bandwidth-Delay-Loss based Routing) 라우팅 알고리즘들을 소개한다.

#### (1) 비 실시간 서비스

비 실시간 서비스들은 지연시간에 대한 어떠한 제약도 갖지 않고 각 서비스는 원하는 자료가 도착할 때까지 시간에 관계없이 항상 기다린다. 그렇지만, 비 실시간 서비스의 효율은 지연시간과 무관한 것이 아니라 오히려 평균 지연시간에 크게 영향을 받으며[1] 자료 손실로 인해 전달되지 못한 자료들은 자료의 수신이 이루어질 때까지 재전송해야 한다. 따라서, 자료의 전송시에 양종단간에 발생하는 지연시간과 재전송으로 인해 발생하는 지연시간의 합이 가장 적은 경로를 계산하는 것이 비 실시간 서비스의 효율을 극대화할 수 있다.

자료의 전송시에 발생하는 지연시간과 재전송으로 인해 발생하는 지연시간의 합을 전체 지연시간이라 할 때 경로  $P_i$  상의 전체 지연시간을 계산하면 (식 2)를 얻을 수 있다.

$$D^{(i)} = \text{경로 } P_i \text{ 상에서의 전체 지연시간}$$

$$\frac{\sum d_j^{(i)}}{\prod_{e_j \in P_i} (1 - l_j^{(i)})} = \tag{2}$$

where  $d_j^{(i)}$ : 링크  $e_j$ 에서의 지연시간,

$l_j^{(i)}$ : 링크  $e_j$ 에서의 손실률, for  $e_j \in P_i$

위의 (식 2)를 통해 비 실시간 서비스 자료들의 전송을 효율적으로 전송하기 위한 최소 지연시간을 갖는 최적의 경로 OPT(P)는  $D^{(i)}$  값을 최소로 갖는 경로 또는  $1/D^{(i)}$  값을 최대로 갖는 경로이다.

#### (2) 실시간 서비스

실시간 서비스들은 지연시간에 대한 제한조건을 갖는다. 따라서, 일정 시간내에 도착하지 않는 자료는 기다리지 않으며 늦게 도착한 자료는 사용하지 않고 버린다[1]. 이러한 실시간 특성을 유지하고 요구되는 서비스 특성을 보장하기 위해서는 기본적인 서비스 요구사항을 대역폭과 제한 지연시간에 대한 정보로서 정의할 수 있어야 한다. 따라서, 임의의 서비스 요구사항을 대역폭과 제한지연시간에 근거하여  $C_k^R = (B, D)$ 로 정의할 때, 서비스 요청  $C_k^R$ 가 임의의 경로  $P_i$ 에서 받아들여질 필요, 충분조건은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\text{(조건 1) } B \leq b_j^{(i)}$$

$$\text{(조건 2) } D \geq \sum_{j=0}^k d_j^{(i)}, \text{ for all } j, e_j \in P_i, P_i \in P$$

where  $b_j^{(i)}$ : 링크  $e_j$ 에서의 대역폭,

$d_j^{(i)}$ :  $e_j$ 에서의 지연시간

즉, 단위시간 t동안에 대역폭은  $B_k$ , 각 노드에서 발생하는 지연시간의 합은  $D_k$  이내여야만 서비스가 보장된다. 각 노드에서의 지역적 상태 정보를 통해서 위의 조건들을 모두 만족시켜 줄 수 있는 적합한 경로를 계산할 수 있는 효율적인 방법이 필요하다. 이를 위해 서비스 요구사항에 나타나는 대역폭과 지연시간 정보를 통해 단위시간(t) 동안에 각 경로에서 얻을 수 있는 전송 가능한 대역폭 값을 근사적으로 계산하는 비용 계산 함수를 (식 3)에서 정의한다.

$$B_E^{(i)} = \text{경로 } P_i \text{에서의 실 대역폭}$$

$$= \frac{B^{(i)} \times t}{t + \sum_{j=0}^n d_j^{(i)}} \quad (3)$$

where  $B^{(i)} = \text{MIN}(b_j^{(i)}), e_j \in P_i$

(식 3)을 통해 실시간 서비스를 요구하는 서비스 요구사항들을 효과적으로 제공할 수 있는 최적의 경로 OPT(P)는  $B_E^{(i)}$  값을 최대로 갖는 경로이다. 이러한 비용 계산 함수를 라우팅 알고리즘에 적용한 결과, 다른 알고리즘들에 비해 실시간 서비스의 요구사항을 효과적으로 수용하였음을 알 수 있었다[9].

### (3) BDLR 알고리즘

본 절에서는 비 실시간 서비스를 위해 고려되었던 (식 2)와 실시간 서비스를 위해 고려되었던 (식 3)을 통합하여, 이들 두 서비스를 효과적으로 수용할 수 있는 라우팅 알고리즘인 BDLR (Bandwidth-Delay-Loss based Routing Algorithm)을 제안하고자 한다. 즉, BDLR 알고리즘에서는 실시간 서비스와 비 실시간 서비스의 효율을 높이기 위해 고려되었던 대역폭, 지연시간, 손실률 정보를 사용한 비용 계산함수를 통해서 통합 서비스들을 위한 최적의 경로를 선택하고자 하였다.

BDLR 알고리즘에서는 네트워크 내의 트래픽의 상황을 나타내는 지표로서 TF(Traffic Factor)를 정의하는데 TF는 각 링크 또는 경로에서의 지연시간과 손실률에 근거하여 계산된 하나의 값을 가지며, 경로  $P_i$  상의 링크  $e_j$ 에 대한 TF는 다음과 같이 정의된다.

$$TF_j^{(i)} = \frac{1 - l_j^{(i)}}{1 + d_j^{(i)}}, \text{ where } e_j \in P_i$$

( $1 + d_j^{(i)}$ 에서의 1은 단위시간임) (4)

이같이 정의된 TF 값과 각 경로상에서 얻어지는 최소 여유 대역폭 정보를 이용하여 BDLR 알고리즘의 비용계산 함수를 (식 5)와 같이 정의한다.

$$C^{(i)} = B^{(i)} \times \prod_{e_j \in P_i} TF_j^{(i)} \quad (5)$$

where  $B^{(i)} = \text{Min}[b_j^{(i)}]$  for all  $P_i \in P$

(식 5)를 통해 각 경로상의 최소 대역폭 값은 지연시간과 손실률로서 계산되는 TF( $0 < TF \leq 1$ )에 의해 값이 변함으로써 네트워크 내의 상태 정보를 하나의 값으로 표현한다. (식 5)에 따르면, 목적지 노드에 도달하기 위한 경로들  $P_i \in P$  중, 임의의 서비스를 위한 최적의 경로  $OPT(P) = P_k$ , where  $P_k = \text{MAX}[C^{(i)}]$ , for all  $P_i \in P$ 인 경로 k를 선택할 때 가장 좋은 서비스 효율을 얻을 것으로 기대할 수 있다.

(식 5)에 정의된 비용함수에 따라 BDLR 알고리즘은 [알고리즘 6]과 [알고리즘 7]의 두가지 형태로 정의될 수 있다. 이들 알고리즘들에서는 각 노드들 사이의 관계 및 상태 정보 값들을 보다 정확히 표시하기 위하여 링크 대신에 노드 형태로 알고리즘을 표현하였다. 이들 알고리즘에서 1은 소스 노드를, m은 목적지 노드를 가리킨다. 또한,  $b_{ij}, d_{ij}, l_{ij}$ 는 각각 노드 i와 노드 j사이의 대역폭, 지연시간, 손실률 정보를 나타낸다. [알고리즘 6]에서는 Dijkstra의 알고리즘을 사용하는 OSPF 프로토콜처럼 각 링크의 상태 정보를 이용하여 BDLR 알고리즘을 표현하고 있다.

[알고리즘 6] 링크 상태를 이용한 BDLR 알고리즘

Step 1: Initially,  $L = \{1\}, B_i = b_{1i}, TF_i = \frac{1 - l_{1i}}{1 + d_{1i}}, C_i = B_i \times TF_i$ , for all i

Step 2: Find k & L, such that  $C_k = \max_{i \in L} C_i$

Step 3:  $L = L \cup \{k\}$ , If L contains all nodes, the algorithm completed.

Step 4:

For all  $i \in L$   $C_T = \min[B_k, b_{ki}] \times TF_k \times \frac{1 - l_{ki}}{1 + d_{ki}}$   
if ( $C_T > C_i$ ) {

$C_i = C_T; B_i = \text{Min}[B_k, b_{ki}];$

$TF_i = TF_k \times \frac{1 - l_{ki}}{1 + d_{ki}};$

}

Step 5: go to Step 2

[알고리즘 7]에서는 RIP 프로토콜에서와 같이 인접 노드에서 전송되는 거리벡터 정보를 이용하여 BDLR 알고리즘을 표현하고 있다. [알고리즘 7]에서의  $B_i^{(h)}, TF_i^{(h)}$  값은 각각 소스노드에서 노드 i까지의 경유 노드 수 값이 h이내인 대역폭 값과 TF값을 나타낸다.

[알고리즘 기 거리 벡터를 이용한 BDLR 알고리즘.

Step 1: Initially,  $h=0$ , and  $B_i^{(h)}=0$ ,

$$TF_i^{(0)} = \frac{1-l_{ki}}{1+d_{ki}}, \text{ for all } i \neq 1$$

Step 2: Find  $k$  such that  $\text{Cost}(1, \dots, k, i) =$

$$\text{Max}_{1 \leq j \leq N} (\text{Min}[B_j^{(h)}, b_{ji}] \times TF_j^{(0)} \times \frac{1-l_{ki}}{1+d_{ji}})$$

Step 3:  $B_i^{(h+1)} = \text{Min}[B_k^{(h)}, b_{ki}]$

$$TF_i^{(h+1)} = TF_k^{(h)} \times \frac{1-l_{ki}}{1+d_{ji}}$$

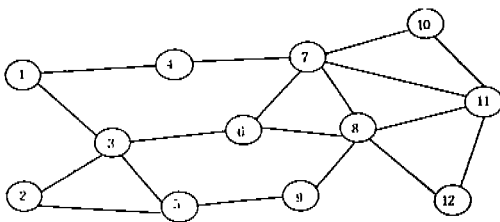
Step 4: If  $h \geq A$ , the algorithm is complete

Otherwise,  $h = h + 1$  and go to Step 2

### 4. 라우팅 알고리즘 성능분석 및 비교

#### 4.1 실험모델

본 논문에서는 제안된 BDLR 알고리즘의 특성 및 성능을 분석하기 위하여 SUN 워크스테이션 상에서 시뮬레이션 모델링을 통한 실험을 수행하였다. BDLR 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 제 3장에서 제안된 라우팅 알고리즘들과 실험 결과를 비교, 평가하였다. 본 실험을 통하여 각 알고리즘들이 통합 서비스 망에서 제공될 때, 서비스 효율에 영향을 미치는 요인들 (실시간 서비스의 요구사항에 대한 충족정도, 비 실시간 서비스의 전송률, 지연 시간 등)을 고려함으로써 각 알고리즘에 대한 전체적인 성능 및 서비스 효율을 비교, 분석하고자 하였다.



(그림 1) 네트워크 노드 구성도  
(Fig. 1) Network Node Configuration

본 실험에서는 (그림 1)과 같이 NSFNET과 유사한 12개의 노드를 갖는 네트워크 구조상에서 실험을 수행하였다. 또한, 실험에서 사용된 실시간 서비스를 위

한 파라미터 값들과 비 실시간 서비스를 위한 파라미터 값들은 각각 <표 1>과 <표 2>에 정리되어 있다. 또한 본 실험에서는 일양분포에 의해 선정된 노드들과의 연결 설정을 통하여 균형적이고 일반적인 트래픽을 생성 실험하였고 특정 노드들 사이의 편중된 트래픽은 고려하지 않았다.

실험에서 사용된 비 실시간 서비스 자료에 대한 모델링은 Jain[3]이 제시한 모델에 근거하여 트래픽을 생성하였고 각 연결에 의해 생성되는 자료의 양은 발생하는 패킷의 수로 결정되며, 패킷의 수는 트래픽의

<표 1> 실시간 서비스 파라미터 테이블  
<Table 1> Parameters for Realtime Services

파라미터	값
목적지 노드	일양분포(1, 12)
대역폭	20
제한 지연 시간	1.0 .. 2.0
연결 유지 시간	지수분포 (30, 10)
연결 발생주기	포아송 분포(*)
라우팅 주기	15

(\*: 트래픽의 상황에 따라 가변적으로 적용하였음)

<표 2> 비 실시간 서비스 파라미터 테이블  
<Table 2> Parameters for Non-Realtime Services

파라미터	값
목적지 노드	일양분포(1, 12)
연결 발생 주기	포아송 분포(*)
연결당 패킷 수	지수분포(*)
패킷간 시간	0.05
대역폭	1
라우팅 주기	15

(\*: 트래픽의 상황에 따라 가변적으로 적용하였음)

<표 3> 비 실시간, 실시간 서비스의 전송 비율  
<Table 3> Data Rate of Realtime & Non-Realtime Services

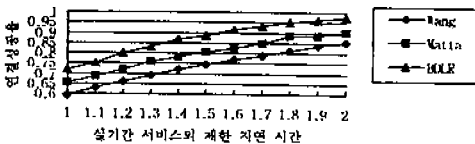
실험 분류	비 실시간 자료 비율	실시간 자료 비율
실험 1	71.29%	28.71%
실험 2	55.63%	44.37%
실험 3	37.24%	62.76%

양에 따른 지수분포로서 결정하였다. 위와 같은 통합 서비스에 대해 정의된 실험 모델에 따라 실시간 서비스와 비 실시간 서비스의 양을 <표 3>과 같이 변화시키면서 통합 서비스 망에서의 각 알고리즘에 대한 성능을 비교하였다.

실험에는 Wang의 분산형 알고리즘과 Matta의 SEL\_UTIL\_HOP 알고리즘을 사용하였다. 실험에서의 수락제어는 여유 대역폭과 지연 시간에 근거한 서비스의 요구조건에 관한 제 3장의 (조건 1)과 (조건 2)를 만족하는지의 여부에 따라 결정하며, 패킷 스케줄러는 수락된 실시간 서비스에 대해 필요한 자원을 예약하는 기능을 수행한다. 하지만, 비 실시간 서비스 자료의 손실은 대역폭이 다른 서비스에 의해 모두 할당 되었을 때 발생하며, 손실된 자료의 재전송은 알고리즘 성능에 대한 전체적인 결과에 큰 영향이 없으므로 고려하지 않았다.

4.2 라우팅 알고리즘 성능분석

실험 1부터 실험 3까지는 실시간 서비스에 대한 제한 지연시간의 변화에 따른 각 알고리즘의 특성과 트래픽의 특성에 대해서 살펴보았다.

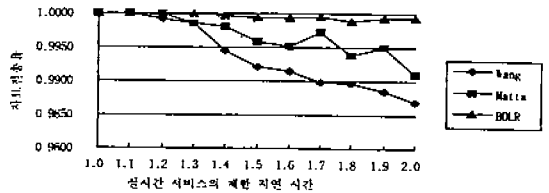


(그림 2) 실험 1의 실시간 서비스 연결 성공률 (Fig. 2) Connection Success Rate for Realtime Services in Exp. 1

(그림 2)은 실시간 서비스에 대한 연결 성공률을 나타내고 있다. 실험 결과 BDLR 알고리즘은 Matta 알고리즘에 비해 약 7-10%정도, Matta의 알고리즘은 Wang 알고리즘에 비해 약 5-7%정도의 좋은 결과를 나타내고 있다. 이것은 BDLR 알고리즘이 실시간 서비스에 대한 QoS 요구사항들을 다른 알고리즘보다 효과적으로 수용하고 있음을 보여주고 있다.

(그림 3)에 나타난 비 실시간 서비스에 대한 자료의 전송율은 처음에는 3개의 알고리즘이 거의 비슷한 수준을 유지하다가 실시간 서비스에서 지연시간에 대

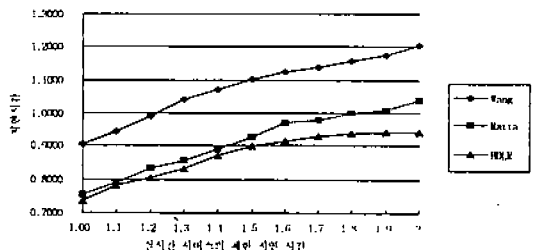
한 요구조건이 완화되어 실시간 서비스 량이 증가함에 따라 비 실시간 서비스의 전송률이 크게 감소되고 있다. 감소되는 폭은 BDLR 알고리즘이 가장 완만하게, Wang의 분산형 알고리즘이 가장 급격하게 저하되고 있다.



(그림 3) 실험 1의 비실시간 서비스 자료 전송율 (Fig. 3) Data Transmission Rate for Non-Realtime Services in Exp. 1

결과적으로 비 실시간 서비스의 자료 전송율은 BDLR, Matta, Wang 알고리즘 순으로 나타나고 있으며, 그 격차가 점점 커지고 있는데, 이와 같은 결과는 BDLR 알고리즘이 네트워크에서의 트래픽 변화와 예약된 자원 현황의 변화에 가장 능동적으로 대처함으로써 안정적이고 효율적인 서비스를 제공하는 것으로 분석할 수 있다.

(그림 4)는 실시간 서비스의 제한 지연시간에 따른 비 실시간 서비스의 평균 지연시간은 Wang, Matta, 실시간 서비스의 연결 성공률의 증가에도 불구하고 비 실시간 서비스의 평균 지연시간은 Wang, Matta, BDLR 알고리즘 순으로 증가함을 볼 수 있다. 특히, Wang의 알고리즘은 다른 알고리즘들에 비해 현저하게 큰 평균 지연시간의 차이를 보인다. 또한, Matta의 알



(그림 4) 실험 1의 비 실시간 서비스 평균 지연시간 (Fig. 4) Avg. delay of Non-Realtime Services in Exp. 1

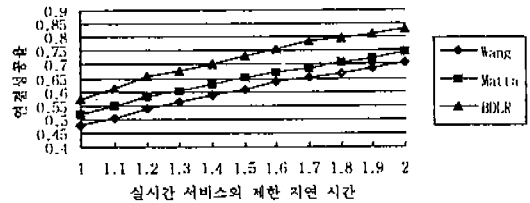
고리즘의 경우에도 실시간 서비스의 제한시간을 완화함에 따라 BDLR 알고리즘과의 격차가 커짐을 알 수 있다. 결과적으로, (그림 4)는 실시간 서비스의 연결 성공률의 증가에도 불구하고 BDLR 알고리즘이 비 실시간 서비스의 평균 지연시간에 있어 가장 좋은 결과를 보여준다.

실험 1의 결과를 요약하면, 실시간 서비스의 연결 성공률, 비 실시간 서비스의 자료 전송률 및 평균 지연시간에 의한 성능 분석에서 Wang 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해, 현저한 성능 저하를 보인다. 따라서, Wang의 알고리즘은 통합 서비스 망의 라우팅 알고리즘으로는 적합하지 않다. 왜냐하면, 다양한 QoS에 대한 요구사항을 갖는 통합 서비스를 효율적으로 수용해야 하는 통합 서비스 망에서는 Wang의 분산형 알고리즘처럼 대역폭에 대한 정보만으로는 충분하지 않고 지연시간에 대한 정보도 라우팅에 적절히 반영되어야 하기 때문이다. 따라서, 서비스 효율을 향상을 위해서는 지연시간에 대한 정보를 보다 효율적으로 표현할 수 있는 개선된 방법이 필요하다[12].

한편, Matta의 알고리즘은 실시간 서비스의 제한 지연시간이 완화됨에 따라 BDLR 알고리즘에 비해 성능이 현저하게 저하된다. 즉, Matta의 알고리즘에서는 망에 수용되는 실시간 서비스의 수가 적음에도 불구하고 비 실시간 서비스의 평균 지연시간은 점차 커진다. 이는 지연시간이 망의 환경에 따라 가변하는 상태 정보이나 정적 정보인 경유 노드 수로 표현함으로써, 트래픽 환경 변화에 따른 동적 라우팅을 제공하지 못한다. 결과적으로 서비스 요구사항을 수용할 때, 자료의 분산이 효율적이고 능동적으로 이루어지지 못한다. 이에 반해 BDLR 알고리즘은 서비스의 다양한 QoS 및 망의 환경 변화에 따른 동적 라우팅을 제공함으로써, 능동적으로 트래픽을 분산해서 전체적인 성능을 향상시킨 것으로 해석된다.

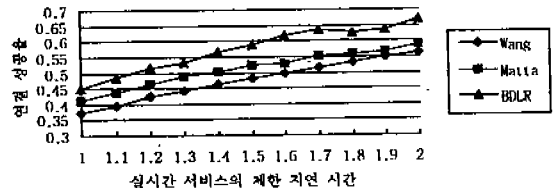
또한, BDLR 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 실시간 서비스량과 비 실시간 서비스 량이 많음에도 지연시간은 적거나 비슷하다. 이것은 네트워크 내의 트래픽 량이 증가하면 지연시간도 자연히 증가하지만, BDLR 알고리즘이 네트워크의 환경의 변화에 따라 효과적인 트래픽의 분산이 이루어질 수 있도록 동적인 라우팅을 제공함으로써 적은 지연시간을 갖음을 알 수 있다. 또한, 효율적인 자료 분산을 통해서 다양

한 QoS를 지니는 실시간 서비스를 포함한 통합 서비스의 전체적인 성능이 향상된 것으로 해석된다.



(그림 5) 실험 2의 실시간 서비스 연결 성공률  
(Fig. 5) Connection Success Rate for Realtime Services in Exp. 2

실험 2와 실험 3에서는 비 실시간 트래픽에 대해 실시간 트래픽을 점차 늘려가면서 실험 1에서와 같은 변수에 따른 성능을 분석해 보았다. (그림 2) 및 (그림 5)와 (그림 6)을 비교하면, 실시간 서비스의 연결 성공률은 실험 1, 실험 2 및 실험 3의 순으로 전체적으로 하향됨을 볼 수 있다. 반면에 각 알고리즘들에 대한 상대적인 비교에 있어서는 여전히 BDLR 알고리즘이 우수함을 볼 수 있다.



(그림 6) 실험 3의 실시간 서비스 연결 성공률  
(Fig. 6) Connection Success Rate for Realtime Services in Exp. 3

(그림 3) 및 (그림 7)과 (그림 8)을 비교하면, BDLR 알고리즘은 실시간 서비스 성공률의 향상에도 불구하고, 비 실시간 서비스의 자료 전송률이 실험 1에 비해 거의 변화가 없지만, Wang 및 Matta의 알고리즘은 현저한 성능 저하를 보여주고 있다. 이러한 결과는 환경변화에 따른 동적 라우팅이 행해지지 않으면, 실시간 트래픽의 양이 증가함에 따라 비 실시간 서비스는 전송 효율이 급격히 저하될 수 있음을 보여준다.

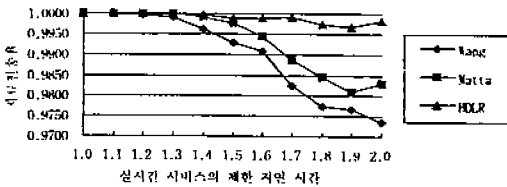
(그림 4), (그림 9)와 (그림 10)을 비교하면, 실시간



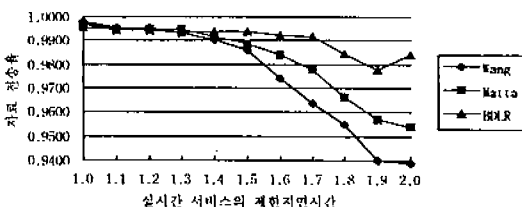
트래픽이 증가할수록 각 알고리즘에 대한 비 실시간 서비스의 평균 지연시간은 점차 비슷하게 수렴한다. 이는 실시간 트래픽에 의해 망 자원이 많이 할당되면 될수록, 비 실시간 트래픽에 대한 관리의 폭은 좁아짐을 반영한다.

또한, 본 논문에서 제시된 실험 외에 이질적인 대역폭을 갖는 네트워크 환경과 편중된 트래픽을 갖는 경우의 실험을 수행하였으나 실험의 결과에서도 절대값의 차이만 있고 상기의 실험들과 비슷한 결과를 산출하였다. 이 실험에서는 실시간 트래픽 및 비 실시간 트래픽량의 비를 3가지로 조합해서, 실시간 서비스의 연결 성공률, 비 실시간 서비스의 자료 전송률 및 비 실시간 서비스의 평균 지연시간 등의 성능 변수에 따라 Wang, Matta, 및 BDLR 알고리즘을 분석해 보았다.

실험 결과에 의하면, BDLR 알고리즘이 실시간 트래픽의 양에 무관하게 상기의 세가지 형태의 성능 평가에서 우수함을 보여주었다. 따라서, BDLR 알고리즘의 경우, 서비스의 다양한 QoS 및 망의 환경 변화에 따른 동적 라우팅을 통해 효율적으로 트래픽을 분산하고 있는 것으로 분석된다.



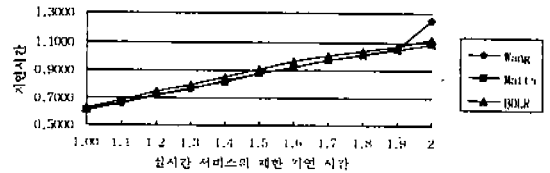
(그림 7) 실험 2의 비실시간 서비스 자료 전송률  
(Fig. 7) Data Transmission Rate for Non-Realtime Services in Exp. 2



(그림 8) 실험 3의 비실시간 서비스 자료 전송률  
(Fig. 8) Data Transmission Rate for Non-Realtime Services in Exp. 3



(그림 9) 실험 2의 비실시간 서비스 평균 지연시간  
(Fig. 9) Avg. delay of Non-Realtime Services in Exp. 2



(그림 10) 실험3의 비실시간 서비스 평균 지연시간  
(Fig. 10) Avg. delay of Non-Realtime Services in Exp. 3

### 5. 결론 및 연구과제

통합 서비스 망에서 제공되는 서비스들은 기존의 인터넷에서 제공되는 서비스들보다 다양하고 복잡한 서비스 요구사항들을 지닌다. 본 논문에서는 이러한 서비스들의 요구사항들을 효과적으로 수용하고 보다 나은 서비스를 제공할 수 있도록 실시간 서비스와 비 실시간 서비스의 특성을 고려하고, 대역폭, 지연시간, 손실을 정보에 근거한 비용계산 함수를 정의하였으며, 정의된 비용계산 함수가 거리벡터와 링크 상태를 이용한 라우팅 구조에 적합하게 사용될 수 있도록 이들 특성에 적합한 두가지의 BDLR 알고리즘을 제안하였다. 또한, 실험을 통하여 지금까지 제안되었던 알고리즘들과 성능을 비교, 분석하였다.

실험 결과를 통하여 본 논문에서 제안된 BDLR 알고리즘이 고려된 성능평가 측면에서 다른 알고리즘들에 비해 우수한 서비스 성능을 나타내었다. 이러한 결과는 BDLR 알고리즘이 서비스들의 성능에 영향을 미치는 정보들로 구성되어 있고 정보들의 효과적인 표현을 통해 전체 네트워크에서의 자원의 현황과 트래픽의 상황을 나타냈기 때문이다. 또한, 동적 상태 정보를 제공함으로써 끊임없이 가변하는 네트워크의 환경 변화에 적절히 대처함으로써 효율적인 자료의 분산이 이루어졌기 때문이다. 따라서, 서비스들의 요

구사항을 보다 효과적으로 만족할 수 있었으며 전체 서비스의 효율과 전체 네트워크의 효율성이 증대된 것으로 분석된다. 또한, 제안된 BDLR 알고리즘은 현재 인터넷에서 제공되고 있는 대표적인 라우팅 프로토콜인 RIP와 OSPF에 모두 적용할 수 있으며, 계산이 간단하여 실시간 경로의 계산이 가능하다는 특성도 지니고 있다.

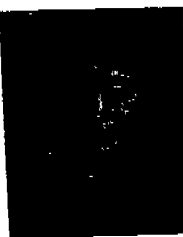
통합 서비스 망에서 제공되어야 할 대표적인 기능 중 하나는 다자간 통신 기능이다[1]. 다자간 통신 기능은 멀티미디어 서비스에서 가장 중요한 기능 중 하나로서 인터넷에서는 MBONE (Multicast Backbone)을 통한 활발한 연구가 진행되고 있다. 따라서, 통합 서비스 망에서 다자간 통신 기능을 지원하게 될 때, 서비스들의 요구사항을 보다 효과적으로 수용함으로써 자원의 효율적 사용과 서비스 효율을 보다 향상시킬 수 있도록 BDLR 알고리즘을 멀티캐스팅 알고리즘으로 확장하기 위한 연구가 앞으로 필요하다. 또한, 라우팅 요소와 통합 서비스 망의 다른 구성 요소들과의 상호 작용을 통한 BDLR 알고리즘의 기능 및 역할에 대한 연구도 앞으로 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview," Internet Documents, RFC 1633, Jun. 1994.  
 [2] I. Matta, A. U. Shanker, "Type-of-Service Routing in Datagram Delivery Systems," IEEE JSAC. Vol 13, No. 8, pp. 1411-1425, Oct. 1995.  
 [3] R. Jain, S. A. Routhier, "Packet Trains-Measurements and a new model for computer network traffic," IEEE JSAC. Vol 4, No 6, pp. 986-995, Sep. 1986.  
 [4] S. Bahk, M. El Zarki, "Dynamic Multi-path Routing and How it Compares with other Dynamic Routing Algorithms for High Speed Wide Area Networks," In Proc. SIGCOMM '92, pp. 53-64, Baltimore, Maryland, Aug. 1992.  
 [5] D. Mitzel, D. Estrin, S. Shenker, L. Zhang, "An Architectural Comparison of ST-II and RSVP," IEEE Infocom '94, Jun. 1994.

[6] I. Matta, A. U. Shanker, "An Iterative Approach to Comprehensive Performance Evaluation of Integrated Services Networks," Technical Report of Maryland Univ., Mar. 1994.  
 [7] 이광일, 이연, 김갑동, 김필중, 김상하, "통합 서비스 망에서 멀티미디어 서비스를 보장하는 라우팅 프로토콜," 제 3권 1호, pp. 523-527, '96 추계 정보 처리학회 학술지, 1996년 4월.  
 [8] G. Malkin, "RIP Version 2 Carrying Additional Information," Internet Documents, RFC 1723, Nov. 1994.  
 [9] J. Moy. "Open Shortest Path Forwarding," Internet Documents, RFC 1583, Mar. 1994.  
 [10] Z. Wang, J. Crowcroft, "Bandwidth-Delay Based Routing Algorithms," preprint, submitted to GLOBECOM '95, Feb. 1995.  
 [11] L. Zhang, S. Deering, D. Estrin, S. Shenker, D. Zappala, "RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol," IEEE Network, 1993.  
 [12] 이광일, 김필중, 김상하, "자원예약을 지원하는 라우팅 프로토콜," 제7권 제1호, '95 추계 정보과 학회 충청지부 학술지, 1995년 11월.

### 차 미 리



1981년 이화여자대학교 법학과 (학사)  
 1992년 미국 Purdue Univ. 전자계산과 졸업(이학석사)  
 1993년~현재 충남전문대학 전자계산과 조교수  
 1995년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정 재학중

관심분야: 정보통신응용(특히, 인터넷, 라우팅, 통신 프로토콜)

### 이 광 일

1993년 충남대학교 전산학과 졸업(학사)  
 1996년 충남대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학석사)  
 1997년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정 재학중  
 관심분야: 인터넷, 라우팅, 멀티미디어, 통신 프로토콜



**박 남 훈**

- 1983년 전남대학교 계산통계학과(이학사)
- 1987년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과(이학석사)
- 1996년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정 재학중

1995년 정보처리기술사(전자계산기 조직응용)  
 1989년~현재 한국전자통신연구원 통신망구조연구실  
 관심분야: 이동 통신망, 광대역 통신망, 분산 처리 알고리즘, 실시간 운영체제



**김 상 하**

- 1980년 서울대학교 화학과(이학사)
- 1984년 University of Houston (화학과 석사)
- 1989년 University of Houston (전산학과 박사)
- 1989년 HNSX Supercomputers

Inc.(자문위원)  
 1992년 KIST/SERI(선임연구원)  
 1992년~현재 충남대학교 컴퓨터과학과 부교수 재직  
 관심분야: 컴퓨터 네트워크, 분산 시스템, 광대역/신호 통신망, 이동 통신, 분산 운영체제