

논문 2005-42TC-10-2

MPLS환경에서의 Label Aggregation을 통한 Multicast 지원 방안

(Multicast using Label Aggregation in MPLS Environment)

박 용 민*, 김 경 목*, 오 영 환**

(Pong-Min Park, Gyeong-Mok Kim, and Young-Hwan Oh)

요 약

최근 인터넷 사용자 수의 증가에 따른 백본망의 트래픽 증가와 다양한 어플리케이션의 등장으로 많은 대역폭을 요구 하게 되었고 그에 따른 고속의 백본 네트워크가 필요하게 되었다. 이러한 요구를 수용하기 위한 차세대 인터넷으로 고려되고 있는 MPLS(MultiProtocol Label Switching)와 사용자 서비스를 위해 네트워크 자원을 효율적으로 사용하기 위한 멀티캐스트 기술이 요구된다. 그러나 기존의 IP Multicast 기술은 품질 보장 서비스를 지원하는데 한계가 있기 때문에, 고품질 멀티 캐스트 서비스를 위하여 QoS 및 Traffic Engineering을 보장하는 MPLS 기술을 확장하는 노력이 이루어지고 있다. 그리고 MPLS 환경에서 멀티캐스트 서비스 제공은 MPLS 레이블 수의 부족과 멀티캐스트 고유의 속성인 확장성 문제가 발생하게된다. 이를 위한 개선책으로 LDP에 멀티캐스트 필드를 추가하여 중간노드에서 동일한 LSP 멀티캐스트 패킷에 동일한 레이블을 할당하는 Label Aggregation 알고리즘을 제안하였다.

Abstract

The growth of the Internet over the last several years has placed a tremendous strain on the high bandwidth. Hence, the amount of internet traffic has risen sharply and it has demanded to use the limited resource. MPLS (MultiProtocol Label Switching) is regarded as a core technology for migrating to the next generation Internet. It is important to reduce the number of labels and LSP(Label Switched Paths) for network resource management. In this thesis, we considered an MPLS multicast mechanism in the current Internet. The scalability problem due to lack of labels and multicast property is one of the serious problems in MPLS multicast mechanism. we proposed a Label Aggregation algorithm that the multicast packets on same link in MPLS allocates the same label for the scalability problem. In order to support the proposed algorithm, we defined a new LDP(Label Distribution Protocol) multicast field and multicast packet is copied and transmitted for multicast group links of next node in LSR(Label Switch Router).

Keywords : MPLS, Multicast, LDP, LSP, LSR

I. 서 론

최근 인터넷 사용자 수의 증가와 케이블 방송, 화상 회의, 실시간 방송, 인터넷 서비스등 새로운 멀티미디어

트래픽의 등장으로 네트워크 사용자는 많은 서비스와 대역폭을 요구하고 있다. 이와 같은 사용자의 서비스를 위해 네트워크 자원의 효율적인 사용을 위한 멀티캐스트 기술이 요구된다. 그러나, 기존의 IP 멀티캐스트 기술은 QoS 및 Traffic Engineering과 같은 품질 보장 서비스를 지원하는데 한계가 있기 때문에, 고품질 멀티 캐스트 서비스를 위하여 QoS 및 Traffic Engineering을 보장하는 MPLS 기술을 확장하는 노력이 이루어지고

* 학생회원, ** 종신회원, 광운대학교 전자통신공학과
(Department of Electronics and Communications
Engineering, Kwangwoon University)
접수일자: 2005년7월13일, 수정완료일: 2005년10월14일

있다.^{[1][2][3]}

MPLS 기술은 기존의 라우팅 방식을 기반으로 ATM (Asynchronous Transfer Mode)의 고속 멀티 서비스 교환 기능을 결합하여 IP 패킷을 전달하는 방식으로써 대규모의 망에서 고속의 데이터 전송과 함께 다양한 부가 서비스 제공을 목적으로 한다.^{[4][5][6][7]}

MPLS 기반 IP 멀티캐스트 제공은 유니캐스트 보다 많은 수의 레이블을 할당하기 때문에 레이블 수의 부족과 더불어 능동적인 멀티캐스트 그룹 멤버의 가입 및 해지를 위한 확장성 문제를 가지게 된다.^{[8][9][10][11]} 이러한 문제를 해결하기 위하여 LSP 설정과정에서의 중복되는 경로에 대한 Label Aggregation 알고리즘을 제안하였으며 이 방식은 멀티캐스트 레이블 운용을 통한 백본 네트워크 구성의 효율성을 향상 시킬것으로 사료된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련연구로 MPLS 멀티캐스트 기술과 MPLS 멀티캐스트의 문제점에 대한 개괄적인 내용을 다루고, III장에서는 제안한 알고리즘, IV장에서는 제안한 알고리즘에 대한 시뮬레이션 및 결과에 대한 성능 평가, V장에서는 결론에 대하여 기술한다.

II. 관련연구

2.1 MPLS

기존의 비연결 망 계층 프로토콜에서는 한 패킷이 라우터로 옮겨갈 때, 각 라우터는 그 패킷에 대한 독립적인 포워딩 결정을 내린다. 즉, 각 라우터는 각각 패킷 헤더의 분석과 라우팅 알고리즘의 결과에 따라 그 패킷에 대한 다음 홉을 결정한다.

MPLS에서는 하나의 특정한 패킷이 하나의 특정한 FEC(Forwarding Equivalence Class)에 할당된다. 그 패킷이 할당된 FEC는 하나의 "레이블" 이라고 알려진 짧게 고정된 길이로 인코딩 되며 패킷이 다음 홉으로 포워딩될 때 그 레이블은 그 패킷과 함께 전송된다. 즉, 그 다음 홉들에서 수신된 패킷에 대한 네트워크 계층 헤더 분석은 생략된다. 레이블은 다음 홉과 새 레이블을 규정하는 지시자로서의 역할을 수행하며 테이블 업데이트 과정을 통해 다음 홉으로 포워딩 된다.

MPLS 노드는 그림 1처럼 데이터 평면과 제어 평면으로 구성되며, MPLS 데이터 평면은 수신된 패킷의 레이블 값에 의해 LFIB(Label Forwarding Information

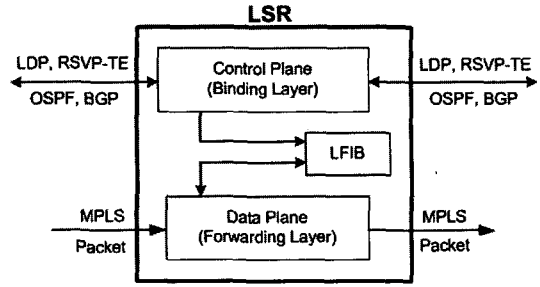


그림 1. MPLS 제어와 데이터 평면
Fig. 1. MPLS control and data planes.

Base) 정보를 참고하여 패킷을 포워딩한다. MPLS 제어 평면은 LFIB를 유지 관리하는 역할을 하며, MPLS 도메인내의 모든 MPLS 노드는 IP routing protocol을 사용하여 다른 MPLS 노드와 IP routing 정보를 교환한다.

MPLS 도메인에 속한 라우터는 LERs(Label Edge Routers) 와 LSRs (Label Switching Routers)로 구분한다. LSR은 MPLS 네트워크의 코어 라우터로 signaling protocol을 사용하여 LSPs를 설정하고, 설정된 경로 상에서 수신된 데이터 트래픽을 고속의 스위칭을 수행한다. LER은 MPLS 네트워크와 액세스 네트워크 중간에 위치한 라우터로 액세스 네트워크에서 수신된 패킷을 MPLS 네트워크 환경에 맞게 패킷을 수정한 후 포워드 한다.

2.2 Multicast

멀티캐스트 전송방식은 하나 이상의 송신자들이 특정한 하나 이상의 수신자들에게 데이터를 전송하는 방식으로 인터넷 화상 회의 등의 응용에서 사용한다. 그룹 통신을 위하여 다중 수신자들에게 동일한 데이터를 전송하고자 할 경우 유니캐스트 전송방식을 이용한다면 전송하고자 하는 데이터 패킷을 다수의 수신자에게 각각 여러 번 전송해야 하며, 이러한 동일한 패킷의 중복 전송으로 인해 네트워크 효율이 저하된다. 또한 수신자 수가 증가할 경우 이러한 문제점은 더욱 커지게 된다. 반면 멀티캐스트 전송이 지원되면 송신자는 여러 수신자에게 한 번에 메시지가 전송되도록 하여, 데이터의 중복전송으로 인한 네트워크 자원의 낭비를 최소화할 수 있게 된다. 멀티캐스트 전송을 위한 그룹 주소는 D-class IP 주소 (224.0.0.0~239.255.255.255)로 전 세계 개개의 인터넷 호스트를 나타내는 A, B, C-class IP 주소와는 달리 실제의 호스트를 나타내는 주소가 아니며,

그룹 주소를 나타낸다. 이 멀티캐스트 패킷을 전송 받은 수신자는 자신이 그룹에 속해 있는가를 판단해 패킷의 수용여부를 결정하게 된다.

2.3 MPLS Multicast 문제점

현재의 MPLS 연구활동은 유니캐스트 위주로 연구가 진행되고 있다. 이것은 MPLS 환경에서 멀티캐스트 지원에 몇 가지 문제점을 가지고 있기 때문이다. 첫 번째로 MPLS에서 가장 근본적인 문제는 레이블 수의 부족이다. 기본적인 MPLS Shim 헤더의 레이블 필드는 20bit로 인터넷 백본 네트워크를 위해 고안된 MPLS는 많은 수의 레이블을 할당하기에는 그 수가 부족하다. 두번째로 멀티캐스트는 유니캐스트보다 많은 사용자에게 패킷을 전송해야 하며, 능동적으로 사용자의 가입 및 해지를 위하여 레이블을 할당해야한다. 이와 같은 이유로 MPLS 환경에서 멀티캐스트 지원은 확장성의 문제를 가지고 있다.

III. 제안한 알고리즘

3.1 LDP Multicast

LDP는 MPLS 기능을 수행하기 위하여 제공되어야 할 시그널링 프로토콜 중의 하나이고, 그 중에 기본적으로 라우팅에 기반한 Hop-by-Hop Best-Effort LSP 설정을 목적으로 하고 있는 프로토콜이다. 이러한 LDP의 기능을 위하여 다음 세 가지의 기본적인 기능이 전제되어야 하는데, Peer 발견 기능과 세션 관리 기능 그리고 LSP 설정/해지 기능이다. 제안한 Label Aggregation을

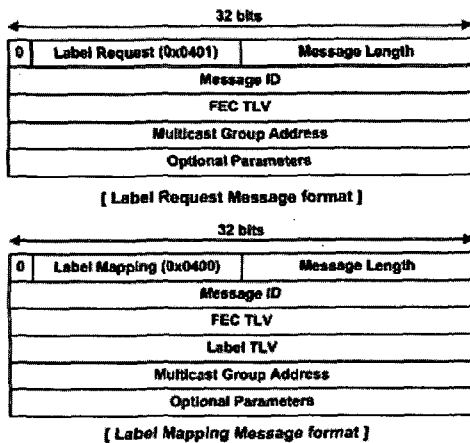


그림 2. 레이블 요청 / 매핑 메시지 형식
Fig. 2. Label request / mapping message format.

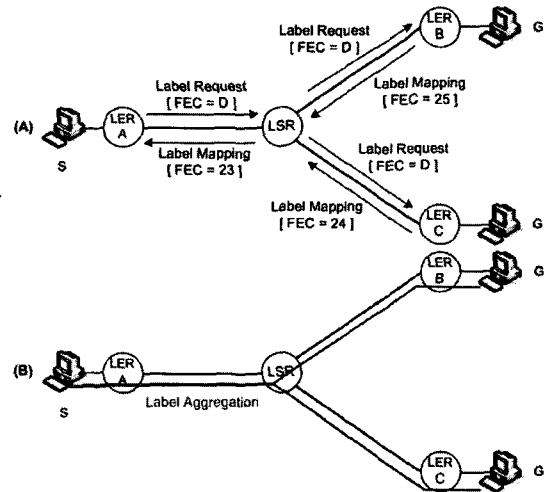


그림 3. Label Aggregation을 통한 LSP
Fig. 3. LSP using Label Aggregation.

위해 LDP의 레이블 요청 메시지와 레이블 매핑 메시지 내의 옵션 필드에 그림 2와 같이 32비트의 멀티캐스트 그룹 어드레스 할당을 포함하였다.

LDP의 멀티캐스트 그룹 어드레스 할당은 non-MPLS 네트워크와 연동하는 LER에서 수행되며, 이 메시지를 수신한 LSR에서는 멀티캐스트 그룹 어드레스를 식별한 후에 해당되는 다음 노드로 메시지를 전송하게 된다. 이때 해당되는 경로가 다수가 존재 할 경우 그 경로 수 만큼 메시지를 복사하여 전송하게 된다. 이 메시지를 수신한 egress LER에서는 그림 3의 (A)와 같이 LDP 요청 메시지에 대한 LDP 매핑 메시지를 작성하여 업스트림 LSR로 전송하게 된다. 각각의 매핑 메시지를 수신한 LSR은 멀티캐스트 그룹 어드레스를 식별하여 같은 멀티캐스트 그룹 어드레스는 같은 레이블을 할당 하여 ingress LER로 전송하게된다. 위와 같은 과정을 통해 그림 3의 (B)와 같이 최종적으로 같은 경로는 Label Aggregation을 통하여 LSP를 설정하게 된다.

3.1 Multicast Switching

LDP에 의한 LSP 설정 이 후에 ingress LER인 LER-A에 멀티캐스트 패킷이 도착하면 그림 4와 같이 LER-A는 LDP에 의해 생성된 LIB를 참조하여 패킷에 레이블을 할당하여 다음 node인 LSR로 패킷을 전송하게 된다. 이 패킷을 수신한 LSR은 자신의 LIB의 incoming-label 정보와 outgoing-label 정보를 참조하여 레이블 스와핑 이후에 해당되는 outgoing 인터페이스로 패킷을 포워딩하게 된다. 이때 같은 incoming-label

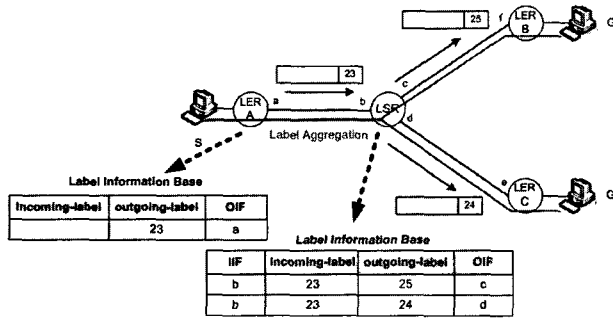


그림 4. 제안한 Label Aggregation 알고리즘
Fig. 4. Proposed Label Aggregation algorithm.

에 다수의 outgoing-label이 존재 할 경우 그 수 만큼 복사 및 레이블 스위핑 후 각각 전송하게 된다.

3.1 수치해석을 통한 레이블 수

성능 평가를 위한 기본적인 접근 방법으로 그림 5와 같이 LER-A는 ingress LER이고, LER-B와 LER-C는 egress LER로 나타내었다. 또한 LER-B와 LER-C는 LER-A에 대한 멀티캐스트 그룹 멤버 LER이라고 가정한다.

사용자에 의한 멀티캐스트 패킷이 LER-A에 도착하면, LER-A는 이 멀티캐스트 패킷에 대한 LSP 설정을 위해 제안한 멀티캐스트 어드레스를 할당된 레이블 요청 메시지를 LSR로 전송하게 된다. 이 메시지를 수신한 LSR은 멀티캐스트 요청 메시지 필드에 할당된 멀티캐스트 그룹 어드레스를 식별하여 해당되는 LER B와 C로 전송하게 된다. LER B와 C는 멀티캐스트 요청 메시지에 대한 매핑 메시지를 작성하여 LSR과 LER-A로 전송하게 된다. 그렇게 하여 최종적으로 중복되는 LER-A와 LSR 링크는 Label Aggregation을 통하여 하나의 레이블을 사용한 LSP를 설정하게 된다.

일반적인 MPLS 멀티캐스트 레이블 사용률을 100%라고 가정하면 제안한 알고리즘의 평균 레이블 사용률은 다음 식과 같다. LER-A와 LSR 링크에 사용된 레이블 수는 1/2, LSR과 LER-B 링크에 사용된 레이블 수는 1, LSR과 LER-C 링크에 사용된 레이블 수는 1이다.

$$= \frac{\text{각 link에 사용된 label 수의 합}}{\text{전체 노드의 link 수}} \times 100$$

$$= \frac{1/2 + 1 + 1}{3} \times 100 = 83.3\%$$

결과적으로 제안한 알고리즘은 그림 5에 대하여 일반적인 MPLS 멀티캐스트 환경에서 사용된 레이블 사

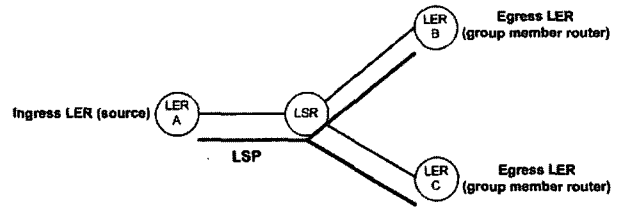


그림 5. 기본 접근 방법
Fig. 5. Basic approach method.

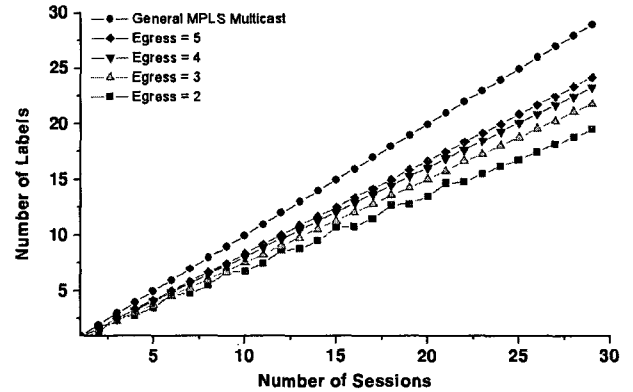


그림 6. 수치 해석을 통한 레이블 수
Fig. 6. Number of labels through numerical analysis.

용률을 100%라고 가정 하였을 때 제안한 알고리즘은 위 식에 의해 83.3%의 레이블 사용률을 보이고 있다. 그림 6은 egress LER의 수를 증가시켰을 때 멀티캐스트 패킷 수가 증가함에 따라 사용된 레이블 수를 나타낸 그래프로 제안한 알고리즘은 일반적인 MPLS 멀티캐스트 보다 사용된 레이블 수가 적으며 egress LER 수가 증가 할수록 일반적인 MPLS 멀티캐스트에서 사용된 레이블 수와 근접해 진다는 것을 알 수 있다. 이것은 멀티캐스트 노드가 증가함에 따라 멀티캐스트 요청은 증가하며 이로 인해 Label Aggregation 레이블 수가 증가함을 의미한다.

IV. 성능 평가 및 고찰

성능 평가는 일반적인 MPLS 멀티캐스트 환경과 제안한 MPLS 멀티캐스트 환경에서의 평균 레이블 사용률을 비교 분석 하였다.

시뮬레이션 모델을 다음과 같이 가정한다.

- 1) 하나의 레이블은 하나의 그룹 어드레스로 매핑된다.
- 2) 모든 멀티캐스트 그룹 멤버는 하나의 같은 ingress LER을 가진다.
- 3) 각 멀티캐스트 트리의 평균 길이는 같다.

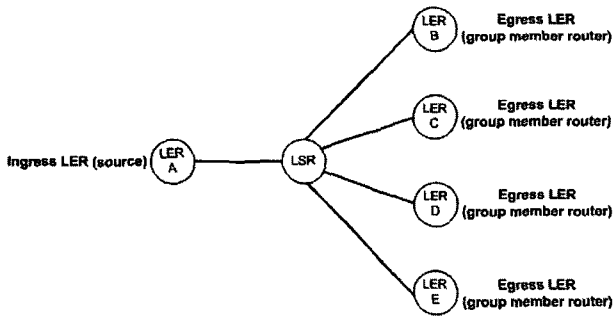


그림 7. 시뮬레이션에서 사용된 MPLS 모델
Fig. 7. MPLS network model for simulation.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter.

파라미터	값
각 링크의 대역폭	45 Mbits/sec
각 node output rate	평균 50 Mbits/sec
Label_setup time	평균 100 ms
전송 모드	Full duplex
세션 발생률	지수분포 랜덤 변수
평균 세션 길이	100초
Packet size	1024 bits
LDP size	192 bits

4.1 시뮬레이션 모델

MPLS는 기본적으로 백본망을 위해 고안된 기술로 메쉬망 구조로 되어 있다. 제안한 알고리즘은 MPLS 멀티캐스트 환경을 기반으로 하였기 때문에 멀티캐스트 트래픽 전송을 위해 그림 7과 같은 모델로 가정하였다.

A는 ingress LER이고 LER-B, LER-C, LER-D, LER-E는 egress LER로 설정하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1. 과 같다.

4.2 평균 트래픽

다음 식과 같이 링크 i에 할당된 트래픽 양을 x_i 라 할 때 일반적인 지연 함수는 $f_i(x_i)$ 라고 표현 하며, c_i 는 링크 i의 가용용량을 나타낸다. 이에 따라 전체 네트워크에서 지연되는 평균 트래픽 양은 링크 i에 대한 지연함수의 합으로 표현 한다.

$$\text{링크 } i \text{ 에서 평균 트래픽} = f_i(x_i) = \frac{x_i}{c_i - x_i}$$

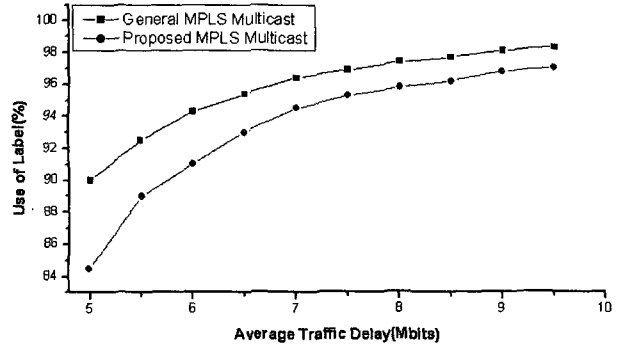


그림 8. 평균 트래픽 양에 대한 레이블 사용률
Fig. 8. The ratio of label in the average traffic delay.

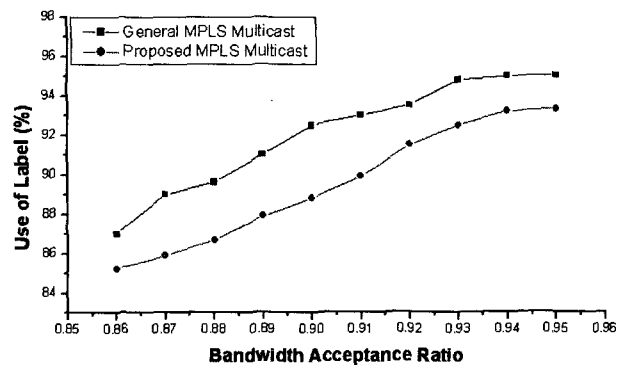


그림 9. 대역폭 수용률에 대한 레이블 사용률
Fig. 9. The ratio of label in the bandwidth acceptance ratio.

$$\text{전체 네트워크에서의 평균 트래픽} = \sum f_i(x_i)$$

그림 8은 일반적인 MPLS 멀티캐스트의 평균 트래픽에 대한 레이블 사용률을 100%라고 가정 하였을 때 제안한 알고리즘에 대한 레이블 사용률을 나타낸 것으로 트래픽이 증가 할수록 레이블 사용률은 점차적으로 증가한다.

4.3 평균 대역폭 수용률

대역폭 수용률은 그림 7에서 A LER과 LSR 링크상에서 LDP의 시그널링 트래픽에 대한 대역폭 수용률로 이것은 각 노드에서 세션을 요청하는 대역폭의 합과 실제 수용된 대역폭의 합의 비율로 다음 식과 같이 나타낸다. A는 수용된 세션의 집합으로 각 노드에서 요구되어진 멀티캐스트 세션을 실제적으로 전송을 위해 수용된 세션을 나누내며, R은 요구된 세션의 집합으로 각 노드에서 멀티캐스트 트래픽 전송을 위한 세션 이다. Bandwidth(s)는 세션 s가 요구하는 링크상의 실제 대역폭을 나타낸다.

$$\text{대역폭 수용률} = \frac{\sum_{s \in A} \text{Bandwidth}(s)}{\sum_{s \in R} \text{Bandwidth}(s)}$$

그림 9는 평균 대역폭 수용률과 레이블 사용률에 관한 그래프로 일반적인 MPLS 멀티캐스트의 평균 대역폭 수용률을 100%라고 가정 하였을 때 제안한 알고리즘의 대역폭 수용률에 대한 평균 레이블 사용률을 나타낸 것으로 대역폭 수용률이 많아질수록 평균 레이블 사용률은 점차적으로 증가 한다는 것을 알 수 있다.

4.4 노드지연

노드 지연은 레이블이 할당된 패킷이 ingress LER에서 egress LER까지 전송 과정 중 각 노드에서의 지연을 나타낸다. 다음 식은 각 노드에서의 지연을 나타낸 것으로 합으로써 전체 노드에서의 지연으로 정의하였다.

$$E(T) = \text{노드지연}, \mu = \text{서비스율}, \lambda = \text{도착율}$$

$$E(T) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{\mu_i - \lambda_i}$$

그림 10은 노드 지연이 증가 할수록 멀티캐스트 트래픽 양이 증가하므로 레이블 사용률은 점차적으로 증가하며, 기존 알고리즘은 일정하게 증가하는 반면 제안한 알고리즘에서의 레이블 사용률은 지연이 약 0.095 sec 지점에서 레이블 사용률이 점차적으로 많아진다는 것을 나타낸다. 이것은 멀티캐스트 트래픽 양이 증가할수록 노드에서의 처리 시간이 점차적으로 증가하여 그 시간 동안 Label Aggregation 되는 레이블 수가 많아진다는 것을 의미한다.

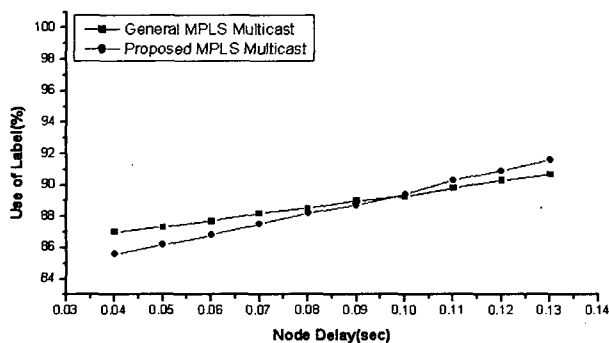


그림 10. 노드 지연에 대한 평균 레이블 사용률
Fig. 10. The ratio of label in the node delay.

V. 결 론

MPLS 기술은 기존의 라우팅 방식을 기반으로 ATM의 고속 멀티 서비스 교환 기능을 결합하여 IP 패킷을 전달하는 방식으로써 대규모의 망에서 고속의 데이터 전송과 함께 다양한 부가 서비스 제공을 목적으로 한다.

MPLS 멀티캐스트 환경에서는 레이블 수의 부족과 확장성 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 제안한 알고리즘은 새로운 LDP (Label Distribution Protocol) 멀티캐스트 필드와 중간 노드인 LSR(Label Switch Router)에서 동일한 LSP 멀티캐스트 패킷에 동일한 레이블을 할당하는 Label Aggregation 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 성능 평가는 평균 트래픽, 대역폭 수용률, 노드 지연 측면에서 기존 알고리즘과 비교 분석하였다. 평균 트래픽에서 제안한 알고리즘은 트래픽이 증가 할수록 기존 알고리즘 보다 평균 6.7% 레이블 사용률 감소를 보였다. 대역폭 수용률 측면에서는 요구되어지는 대역폭에서 실제로 수용된 대역폭이 증가 할수록 평균 레이블 사용률은 기존 알고리즘 보다 평균 약 7.9% 감소를 보였다. 마지막으로 노드 지연은 레이블이 할당된 패킷이 ingress LER에서 egress LER까지 전송 과정 중 중간 노드인 LSR에서의 지연을 나타낸 것으로 노드 지연이 증가 할수록 기존 알고리즘 보다 레이블 사용률은 평균 약 0.2% 감소를 보였다. 성능 평가를 통해 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘 보다 레이블 사용률이 적었으며 이 결과는 MPLS 멀티캐스트 환경에서의 문제점인 레이블 수의 부족과 확장성 문제를 개선할 수 있었다.

앞으로의 백본망에서의 데이터 전송은 전기적인 기반이 아닌 광 매체의 기반에서 전송이 이루어 질것이며 이를 위해 MPLS 메카니즘을 기반으로 한 GMPLS (Generalized MultiProtocol Label Switching)에 관한 연구가 지속적으로 이루어 져야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] D. Awduche et al., "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS" Internet draft, September 2004.
- [2] Martin Dubuc et al., "Traffic Engineering Link

- Management Information Base" Internet draft, May 2004.
- [3] Seisho Yasukawa et al., "Requirements for Point to Multipoint Traffic Engineered MPLS LSPs" Internet draft, September 2004.
 - [4] G Armitage, "Multicast and Multiprotocol Support for ATM Based Internets" ACM SIGCOMM Computer Communication Review, April 1995.
 - [5] Uyles Black, "MPLS and Label Switching Networks" PH PTR, April 2002.
 - [6] Thomas D. Nadeau, et al., " Multiprotocol Label Switching (MPLS) Management Overview" Internet draft, September 2003.
 - [7] E. Rosen et al., "Multiprotocol Label Switching Architecture" IETF draft, Works in Progress, January 2001.
 - [8] D. Ooms et al., "Overview of IP Multicast in a Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Environment" IETF draft, Works in Progress, August 2002.
 - [9] Aiguo Fei et al., "Aggregated Multicast : an Approach to Reduce Multicast State" Computer Science Department, University of California, Los Angeles, August 2002.
 - [10] Zhongshan Zhang et al., "The new mechanism for MPLS Supporting IP Multicast" IEEE APCCAS 2000, December 2000.
 - [11] James R, et al., "Label Aggregation Technique for LDP" Internet draft, July 2000.

 저 자 소 개



박 용 민(정회원)
 2002년 남서울대학교
 정보통신공학과 졸업
 (공학사)
 2005년 광운대학교 대학원
 전자통신공학과 졸업
 (공학석사)

2005년 현재 광운대학교 대학원 전자통신공학과
 재학 (박사과정)

<주관심분야 : Optical Internet, MPLS, GMPLS,
 Healthcare Networks>



김 경 목(정회원)
 1996년 서울산업대학교
 전자공학과 졸업
 (공학사)
 2002년 광운대학교 대학원
 전자통신공학과 졸업
 (공학석사)

2004년 현재 광운대학교 대학원 전자통신공학과
 재학(박사과정)

<주관심분야: Optical Internet, MPAS, GMPLS >

오 영 환(정회원)

2005년 현재 광운대학교 전자통신공학 교수

<주관심분야 : 통신망>