

MPLS기반 메쉬 네트워크 설계 및 구현

A Design and Implementation of MPLS Based Wireless Mesh Network

김영한*
(Young-Han Kim)

김정면**
(Jeong-Myun Kim)

요약

최근 메쉬 네트워크는 다양한 분야에서 사용되고 있다. 그러나 메쉬 네트워크는 무선 전송의 특성으로 인한 제한적인 대역폭을 제공하며, 특히 단일 채널로 구성된 메쉬 네트워크의 경우 다중 홉 전송 시 전송률 저하 문제 등이 발생한다. 이러한 문제를 해결하고 QoS(Quality of Service)를 제공하기 위해 다양한 라우팅방식이 제안되어 왔다. 본 논문에서는 MPLS(Multi Protocol Label Switching)를 적용하여 QoS를 제공하는 MPLS 메쉬 네트워크 구조를 제안한다. MPLS를 적용한 메쉬 네트워크를 통해 하부 QoS 제공방식과 무관하게 상위 응용계층에서의 경로관리가 용이해지며 트래픽관리가 용이해진다. 본 논문에서는 IEEE 802.11e 표준을 적용하여 트래픽에 대한 차별적인 서비스를 제공하도록 MPLS 적용 메쉬 라우터를 설계하고, 구현 및 실험을 통하여 동작을 검증하였다.

Abstract

Recently, wireless mesh networks are used in various application areas. However, wireless mesh networks have limited bandwidth by the wireless transmission property, and have severe throughput degradation in multi-hop transmission in single channel wireless mesh networks. To solve this problem and support QoS, a lot of routing protocols have been proposed in mesh networks. In this paper, we propose a wireless mesh networks architecture with MPLS for QoS service. The path and traffic management from the application could be independent from QoS routing protocols by using the MPLS in wireless mesh networks. In this paper, we design a MPLS-based mesh router with IEEE 802.11e for traffic differentiation and investigate the operation by implementation and test.

Key words : MPLS, mesh networks, ad-hoc, QoS, 802.11e

1. 서론

세계의 주요 국가들은 교통의 혼잡문제를 해결하기 위해 ITS(Intelligent Transportation Systems)를 도입하였고, 관련된 교통 및 통신 기술개발에 노력 중이다.

다. 최근 메쉬 네트워크 및 그 응용은 다양한 분야로 확장, 적용되고 있다. 구축비용이 저렴하고 네트워크의 확장이 용이한 장점과 빠른 설치가 가능하기 때문에 군사 네트워크, 사설 네트워크 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 하지만 무선 전송의 특성상

† 본 연구는 지식경제부 프론티어기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크원천기반기술개발사업의 11C2-C1-20S과제지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 및 교신저자 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

** 공저자 : 숭실대학교 정보통신전자학과 석사

† 논문접수일 : 2010년 12월 8일

† 논문심사일 : 2011년 2월 14일

† 게재확정일 : 2011년 2월 15일

한정된 자원을 갖는 무선 메쉬 네트워크는 고품질의 실시간 처리를 필요로 하는 멀티미디어 트래픽을 수용하기에는 어려운 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 QoS 서비스 제공방법으로 다양한 라우팅 프로토콜이 제안되어왔다[1].

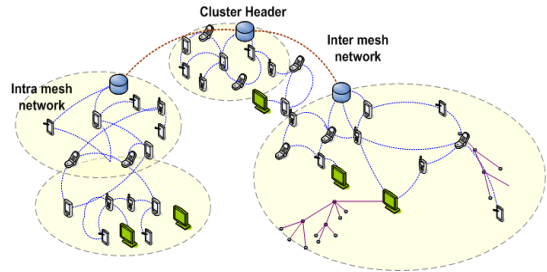
본 논문에서는 이러한 QoS 라우팅기술을 사용하는 하부 무선 메쉬 네트워크에서 서비스 사용자간 QoS 경로를 효율적으로 관리하기 위해 MPLS기술을 적용하는 방법을 제안한다. MPLS를 사용함으로써 하부 망에서의 실질적인 경로가 변경되더라도 응용계층에서는 동일한 MPLS 연결로 유지되게 되어 사용자차원의 관리가 용이하게 된다. MPLS기술에서는 서비스별 차별화된 QoS 서비스 관리를 제공하기 위해 MPLS-TE(Multi Protocol Label Switching-Traffic Engineering)을 적용하여 네트워크 구조를 제안한다[2]. MPLS를 적용한 메쉬 네트워크 구조는 다수의 클러스터로 구성되며, 각 클러스터에 위치한 클러스터 헤더는 링크 품질을 주기적으로 살펴 링크 변화에 따른 차별적인 LSP를 설정한다. 또한 IEEE 802.11e 표준을 실제로 링크계층에 적용하여 트래픽의 차별적 전송을 수행하도록 설계하였다[3]. 이러한 제안구조는 하부의 어떠한 QoS 라우팅방식등과도 같이 사용될 수 있고 사용자입장에서의 관리를 용이하게 해주며 유선 MPLS망과의 연동 시에도 편리해지는 이점을 갖게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 MPLS 적용 메쉬 네트워크 구성을 위한 관련 연구들에 대해 설명하고 3장에서는 제안하는 클러스터 기반의 MPLS 적용 메쉬 네트워크의 구조와 MPLS 적용 방안을 설명한다. 4장에서는 실제 구현 구조를 제시하고 실험을 통해 성능을 검증, 분석하고 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 클러스터 기반의 계층적 라우팅 구조

<그림 1>은 클러스터 기반의 메쉬 네트워크 구조를 나타낸다. 클러스터 기반의 메쉬 네트워크 구



〈그림 1〉 클러스터 기반의 메쉬 네트워크 구조
(Fig. 1) Architecture of Cluster-Based mesh network

조는 계층적 라우팅 구조를 사용하여 클러스터 내부 메쉬 노드 간, 외부 클러스터 간 라우팅을 위해서로 다른 기법의 라우팅 프로토콜을 적용하여 네트워크 환경에 적합한 라우팅 설정이 가능하다.

제안하는 MPLS 적용 메쉬 네트워크 구조는 낮은 메시지 오버헤드와 확정성에 장점을 갖는 PR (Proactive- Reactive) 구조를 적용한 경우를 가정한다[4]. 이러한 구성에서는 링크 상태 측정 및 MPLS 라벨 설정을 위한 제어 메시지의 전송을 클러스터 내부로 한정시켜 제어 메시지에 의한 부하를 줄일 수 있게 된다.

2. MPLS(Multi Protocol Label Switching)

유선망에서 먼저 개발되었던 MPLS 기술은 기존 패킷의 IP 주소를 통한 패킷 전달이 아닌 패킷에 할당된 라벨에 의한 빠른 패킷 포워딩을 장점으로 갖는 기술이다[5]. 그러나 IP 라우팅 테이블 검색 기술의 발전으로 MPLS 기술은 큰 의미를 갖지 못하게 되었다. 하지만 네트워크에서 QoS를 제공하기 위한 방안으로 TE (Traffic Engineering) 기능의 필요성이 강조되고, 이를 위해 트래픽 엔지니어링과 차별화 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 방안으로 MPLS-TE방식이 제안되어 새롭게 실제 망에 적용되고 있다[2].

MPLS-TE는 QoS를 위한 네트워크 자원의 관리와 분배를 통해 LSP를 설정하고 네트워크 부하를 분배하여 네트워크의 효율적 사용이 가능하게 한다.

3. IEEE 802.11e

무선 네트워크에서의 QoS 제공을 위해 IEEE

802.11e규격으로 무선 QoS MAC 기술이 표준화 되었다[3]. IEEE 802.11e는 경쟁 기반의 채널제어 방식인 EDCA (Enhanced distributed channel access)와 폴링(polling)에 의한 채널 제어 방식인 HCCA (HCF controlled channel access)를 사용한다. 그 중, EDCA는 기존 802.11의 DCF가 확장된 것으로 각기 다른 변수 값을 갖는 4개의 버퍼를 사용하여 우선순위에 기반 한 QoS를 수행한다. 각 버퍼는 AIFS (Arbitration Inter Frame Space), CWmin(Contention Window minimum), CWmax (Contention Window maximum)를 변수 값으로 갖고 각 변수는 우선순위에 따라 4개의 버퍼에 각기 다른 값으로 설정된다. 설정된 4개의 버퍼는 트래픽 특성에 따라 EDCA 스케줄러에 의해 다른 출력 값을 갖게 되며 우선순위에 의한 차별화된 서비스를 제공한다. 본 논문에서는 MAC계층에 실제로 IEEE802.11e 규격을 적용하여 실험하였다.

4. 링크상태 측정

기본적인 MANET의 라우팅 프로토콜에서는 홑수에 의해 경로를 선택한다. 이러한 방식은 간단하지만 링크의 전송 속도, 패킷 손실률, 채널간섭 등의 링크 품질을 고려하지 않기 때문에 실제 최적의 라우팅 경로를 설정 할 수 없다. 이러한 문제점 해결을 위해 링크의 품질을 측정하기 위한 방법으로 ETX(Expected Transmission Count) 기법이 제안되었다[6].

ETX는 무선 링크의 특성을 포함한 라우팅 메트릭(metric)으로 두 노드 사이의 특성을 고려한 것으로 패킷 손실률과 경로의 길이를 메트릭에 반영할 수 있다. 또한 ETX는 누적성이 있기 때문에 간단한 최단 경로 계산과 루프(loop)를 방지할 수 있게 한다.

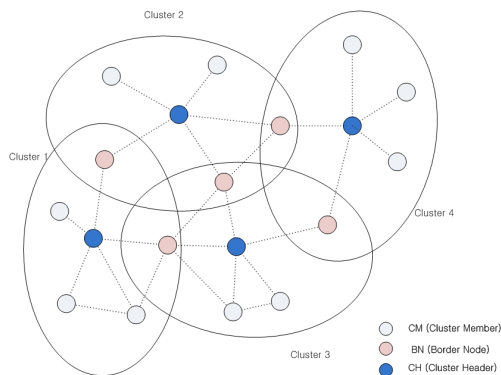
이외에도 링크의 대역폭을 고려한 ETT(Expected Transmission Time) 멀티채널 환경을 고려한 WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time), MIC(Metric of Interference and Channel -switching) 등 효율적인 라우팅을 위한 메트릭들이 정의되었다 [6-8]. 본 논문에서는 단일 채널로 구성된 이동성이 적은 메쉬 네트워크를 가정한다. 따라서 제안하는

MPLS 적용 메쉬 네트워크에서 각 노드 간 링크 측정을 위해 ETX 기법을 사용하며 LSP 설정을 위한 인자로 사용한다.

III. 메쉬 네트워크에서의 MPLS 적용 설계

1. MPLS 적용 메쉬 네트워크 구조

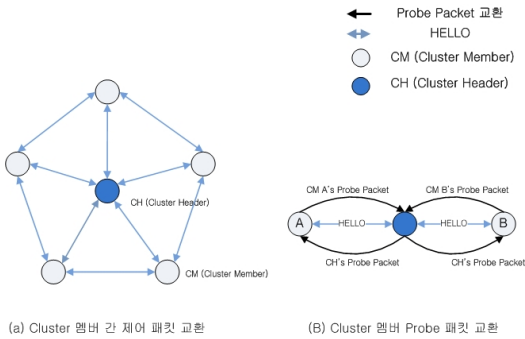
<그림 2>는 MPLS 적용 메쉬 네트워크의 구조를 나타낸다. 기본적인 메쉬 네트워크는 클러스터 기반의 계층적 구조를 가정한다. 하나의 클러스터는 클러스터 헤더(CH)와 클러스터 멤버(CM)로 구성된다. 그리고 각 클러스터를 연결하는 보더 노드(BN: boarder node)가 존재 한다. 클러스터 멤버는 클러스터 헤더와 1홑으로 연결되며 MPLS 패킷을 전달하는 LSR (Label Switching Router)의 기능과 메쉬 라우터에 연결되는 컴퓨터 및 다른 IP 네트워크를 연결하는 LER(Label Edge Router) 기능을 동시에 수행한다.



<그림 2> MPLS 적용 메쉬 네트워크 구조
(Fig. 2) Structure of MPLS-based mesh network

2. 클러스터의 구조와 내부 클러스터 노드 간 동작

MPLS 적용 메쉬 네트워크를 구성하는 클러스터의 클러스터 헤더는 클러스터 헤더가 관리하는 자신을 포함한 모든 클러스터 멤버의 토폴로지 정보 및 각 멤버 간 링크 품질 정보를 수집한다. 토폴로지 정보 및 각 멤버 간 링크 품질 정보는 <그림



(그림 3) 클러스터 내부 노드 간 패킷 교환
(Fig. 3) Packet exchange between nodes in a cluster

3-(a)>와 같이 클러스터를 구성하는 모든 노드가 주기적으로 전송하는 HELLO 메시지를 통해 정보를 수집하며 클러스터 헤더는 변동되는 정보를 갱신하여 최신의 정보를 유지한다. HELLO 메시지에는 자신의 1홉 이웃 정보를 포함하며 HELLO 메시지를 수신한 클러스터 헤더는 클러스터 멤버 간 연결 정보를 획득하여 자신이 관리하는 클러스터의 토폴로지를 구성한다.

클러스터 헤더는 자신이 클러스터 헤더임을 HELLO 메시지에 표시하여 전달한다. 이를 통해 클러스터 멤버는 자신이 속한 클러스터의 헤더를 인식하고 서로 다른 클러스터 헤더의 HELLO 메시지를 수신한 경우, 자신이 복수의 클러스터를 연결하는 보더 노드임을 인식하고 보더 노드의 동작을 수행한다.

클러스터를 구성하는 클러스터 노드는 클러스터 노드 간 링크 품질 측정을 위해 <그림 3-(b)>와 같이 검사용 패킷을 주기적으로 전송한다. 클러스터 노드는 이를 통해 LQ(Link Quality) 값을 계산하고 HELLO 메시지에 포함되어 발송된다. 각 노드는 수신한 LQ 값을 통해 노드 간 링크의 ETX 값을 계산하고 마찬가지로 HELLO 메시지에 포함한다. 그리고 트래픽 특성에 따른 세분화된 QoS 제공을 위해 IEEE 802.11e 우선순위에 따라 4가지 종류의 검사용 패킷을 사용하여 ETX 값을 측정한다. 즉, 트래픽 특성에 따른 링크의 패킷 손실률을 계산하여 각 AC 별 ETX 값을 측정하여 트래픽 특성에 따른 링크의 품질을 계산한다. 계산된 링크 품질 정보는 HELLO 메시지에 포함되며 HELLO 메시지를 수신한 클러스터 헤

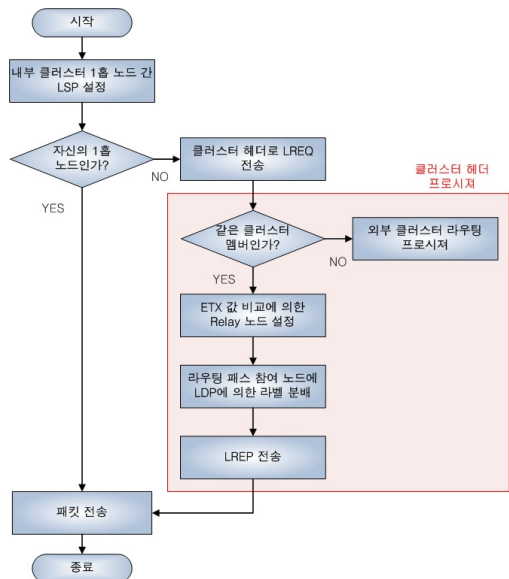
더는 클러스터 헤더가 관리하는 클러스터 내부의 링크 품질 정보를 테이블로 관리한다.

3. MMRP(MPLS Mesh Routing Protocol) : 내부 클러스터 라우팅

MPLS 적용 메쉬 네트워크에서의 라우팅을 위해 본 논문에서는 MMRP 라우팅 프로토콜을 제안한다. MMRP 라우팅 프로토콜은 클러스터 내부 라우팅과 클러스터 외부 라우팅으로 분류되며 클러스터 내부와 클러스터 외부 라우팅 모두 LREQ(Label Request) 메시지에 의해 설정된다. 전송이 발생한 노드는 LREQ 메시지를 통해 클러스터 헤더에게 라우팅 패스를 설정하도록 요청하고 설정된 라우팅 패스를 위한 라벨을 할당 받는다.

내부 클러스터에 목적지가 존재할 경우의 라우팅 설정 과정은 <그림 4>와 같다.

MPLS 적용 메쉬 네트워크의 노드에서 전송이 발생하면 먼저 메쉬 라우터는 자신의 1홉에 위치한 목적지인지 자신의 라우팅 테이블을 확인 한다. 만약 라우팅 테이블에 존재한다면 네트워크 기동 초기에 설정된 LSP로 라벨을 부착하여 전송한다. 라우팅 테



(그림 4) 내부 클러스터 라우팅 설정 절차
(Fig. 4) Routing setup procedure in a cluster

이블에 없을 경우에는 메쉬 라우터는 전송되는 패킷의 목적지 위치를 클러스터 헤더에게 LREQ메시지를 전송하여 현재 전송하고자하는 패킷의 목적지를 질의하게 된다. 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 멤버 테이블 확인 후, 클러스터 헤더의 멤버일 경우 ETX 값을 기반으로 목적지 노드와 소스 노드 간 최적 링크를 계산한다. 그리고 라벨을 할당한 후, 소스 노드에게 LREP 메시지를 전송하여 발생한 전송을 위한 라우팅 패스 설정을 종료하게 된다.

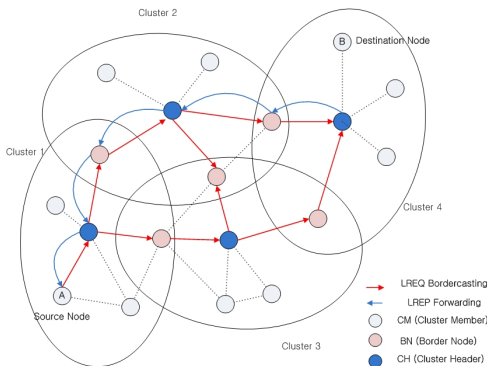
$$CQ = \frac{\sum ETX_i}{N_{link}} \quad (1)$$

CQ(Cluster Quality) 값은 클러스터 품질 값을 나타내며 값은 클러스터 내부의 총 링크 수를 나타낸다. 따라서 식 (1)은 클러스터 전체 품질 값을 클러스터 내부에 존재하는 모든 링크 품질 값의 평균을 나타낸다. 이 값은 보다 라우터로 전송되는 LREQ 메시지에 포함되며 목적지를 관리하는 클러스터 헤더는 LREQ에 포함된 CQ 값을 통해 전송할 클러스터를 판별하게 된다.

4. MMRP(MPLS Mesh Routing Protocol) : 외부 클러스터 라우팅

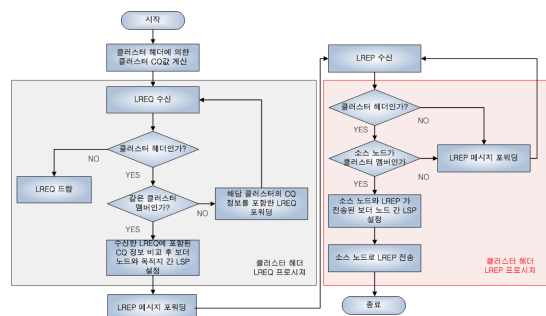
MMRP는 다른 클러스터에 위치한 목적지노드로의 라우팅 패스 설정을 위해 마찬가지로 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜인 ZRP(Zone Routing Protocol)와 유사한 방식을 사용한다[9]. <그림 5>와 같이 내부 클러스터 라우팅을 통해 목적지가 같은 클러스터에 없을 경우 클러스터 헤더는 목적지 라우팅을 위해 LREQ 메시지를 다른 클러스터로 전달한다. 이때 LREQ 메시지는 보더 노드로만 전달된다.

클러스터 헤더는 클러스터 내부의 링크 정보를 관리하고 전체 네트워크 링크에 대한 품질 정보를 관리하지 않는다. 때문에 종단간의 QoS를 보장을 위해 최적의 전달 클러스터의 선택이 필요하다. 이를 위해 각 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 품질을 계산한다[10].



<그림 5> 외부 클러스터 라우팅 메시지 전달 (Fig. 5) Inter-cluster routing message transfer

외부 클러스터 라우팅은 <그림 6>과 같은 동작으로 수행된다. 목적지가 같은 클러스터 내에 없을 경우 LREQ 메시지를 다른 클러스터 헤더로 보내어 목적지 노드가 포함된 클러스터를 검색한다. LREQ 메시지를 수신한 다른 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 멤버 테이블 검색 후, 클러스터 내에 목적지가 존재 할 경우 목적지와 현재 LREQ 메시지를 전송한 보더 노드와의 최적 LSP를 설정한다. 설정 과정은 내부 라우팅 방법과 동일하며 LSP 설정이 종료되면 LREP 메시지를 소스 클러스터로 전송한다. 반대로 존재 하지 않은 경우 클러스터의 보더 노드로 다시 LREQ 메시지를 전달한다.



<그림 6> 외부 클러스터 라우팅 동작 절차 (Fig. 6) Inter-cluster routing procedure

5. 라벨 할당

클러스터에 의한 라우팅 경로 결정 후, 클러스터 헤더는 전송에 참여하는 메쉬 라우터에게 라벨을 할당하여 LSP를 설정한다. 이는 MPLS에서 라벨을

할당하기 위해 사용하는 LDP(Label Distribution Protocol) 메시지를 변형하여 사용한다[11]. 사용되는 메시지는 다음과 같다.

- LRM(Label Reservation Message) 메시지
- LRAck(Label Reservation Ack) 메시지
- LRS(Label Release) 메시지

클러스터 헤더에서 라우팅 패스가 결정된 후 클러스터 헤더는 LRM 메시지를 전송에 참여 하는 메쉬 라우터에 라벨을 설정하고 메시지를 받은 메쉬 라우터는 LRAck 메시지를 전송하여 라벨 설정을 완료했음을 통보한다. 그리고 설정된 LSP의 전송이 종료되면 클러스터 헤더는 LRS 메시지를 전송하여 설정된 라벨을 삭제하고 설정된 LSP를 해제한다.

이상의 MPLS를 적용한 메쉬네트워크를 통하여 응용프로그램입장에서 동일한 라벨에 의한 경로로 패킷을 보낼 수 있어 하부망에서의 실제적인 QoS 경로의 변경에 무관하게 연속적인 서비스관리를 수행할 수 있는 장점을 갖게 된다.

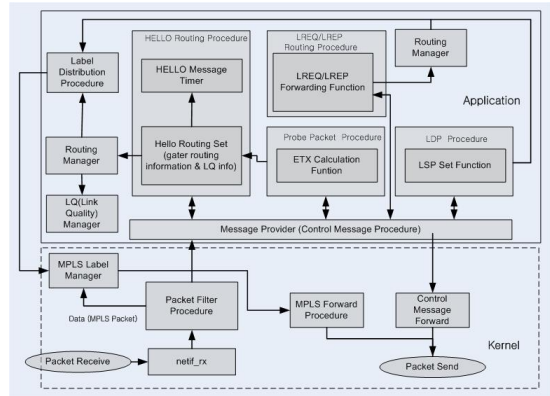
IV. 구현 및 실험

1. 구현

MPLS 메쉬 네트워크를 구현을 위해 본 논문에서는 HRPC (Heterogeneous Routing Protocol Coordinator) 응용 프로그램을 사용한다[12]. HRPC는 라우팅 프로토콜을 개발하기 위한 플랫폼으로 메시지의 생성, 라우팅 정보 생성 및 삭제, 갱신 기능과 같은 라우팅 프로토콜이 공통적으로 사용하는 기능을 API로 구현하여 제공한다. MMRP는 HRPC의 API를 사용하여 구현되며 제어 메시지인 HELLO 메시지, LREQ/LREP메시지 등을 생성하고 라우팅 경로 설정을 위한 라우팅 알고리즘을 구현하여 응용 계층의 라우팅 모듈로 구현되었다.

2. MPLS 메쉬 네트워크 기능 구조

MMRP를 구성하는 기능 구조는 다음 4개의 모듈로 나누어진다.



〈그림 7〉 MMRP 라우팅 프로토콜 기능 구조도
(Fig. 7) Structure of MMRP routing functions

- 라우팅 절차모듈 (Routing Procedure)
- LDP 절차모듈 (LDP Procedure)
- 검사 패킷 처리 모듈(Probe Packet Procedure)

그리고 라우팅 메시지에 의해 획득한 라우팅 정보를 관리하는 라우팅 관리자와 클러스터 내부의 링크 품질 정보를 관리하는 링크 품질 정보 관리자와 라우팅 정보와 링크 품질 정보에 의해 설정된 LSP를 관리하는 라벨 분배 기능이 포함된다.

MMRP의 라우팅 기능은 세 가지 모듈로 분류된다. 각 각의 기능은 다음과 같다.

(1) 라우팅 절차 모듈

클러스터 기반의 라우팅 프로토콜인 MMRP는 클러스터 내부는 HELLO 메시지를 통해 내부 클러스터 토폴로지를 구성하고 라우팅은 LREQ/LREP 메시지를 통해 수행한다. 두 메시지를 수신한 HELLO 라우팅 처리 모듈과LREQ/LREP 라우팅 처리 모듈은 클러스터 내부 및 외부에 위치한 목적지로 전송을 위해 라우팅 정보를 획득하고 라우팅 경로를 설정한다.

(2) 라벨 분배 처리 모듈

라우팅모듈에 의해 획득한 라우팅 정보에 따라 해당 전송 패킷에 라벨을 부여하여 LSP를 설정한다. 라벨 분배 처리 모듈은 해당패킷에 적절한 라벨의 할당/해제 역할을 수행한다.

(3) 검사 패킷 처리모듈

검사패킷 처리는 패킷의 생성과 수신 후 메쉬 라우터가 패킷을 전송한 노드와의 링크 품질 값을 계산한다. 획득한 링크품질 정보는 LQ 관리자에 의해 관리되며 LSP 선정 시 사용된다.

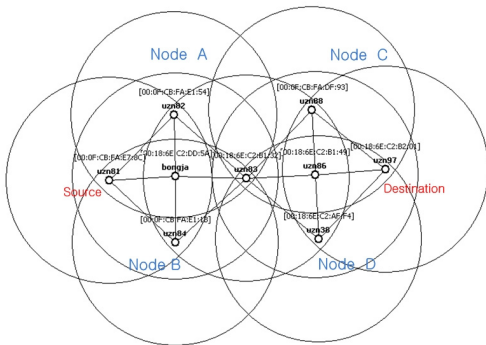
3. 실험 및 분석

MPLS 메쉬 네트워크의 동작을 검증하기 위해 802.11e 가 지원되는 무선 인터페이스 2개가 탑재되고 리눅스 플랫폼을 기반으로 한 메쉬 라우터를 구현하여 실험을 수행하였다. 또한 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 MMRP를 사용한 메쉬 네트워크의 확장성과 성능 향상을 확인하였다[13].

4. MPLS 메쉬 네트워크 실험환경

테스트를 위해 실제 구현된 MMRP를 동작시켜 네트워크를 구성하고 네트워크에 부하가 발생 했을 경우 MMRP와 Shortest-Path 방식의 OLSR과 비교하여 MMRP의 부하 인지에 의한 라우팅 패스 설정을 확인하고 그에 따른 성능 향상을 확인하였다[14].

실험을 위해 <그림 8>과 같이 2개의 클러스터로 메쉬 네트워크를 구성한다. 각 클러스터는 하나의 클러스터 헤더와 1홉 거리의 노드, 다른 클러스터와 연결되는 경계 노드로 구성되며 모든 메쉬 라우터 단일 채널로 네트워크를 구성되었다. 실험에서는 실험실 환경에서 멀티 홉으로 노드구성을 실험



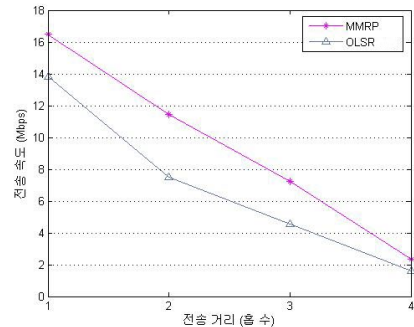
<그림 8> MPLS 메쉬 네트워크 실험 구성
(Fig. 8) Structure of MPLS-Mesh network test

할 수 있는 에뮬레이터인 VTC (Virtual Topology Controller)를 사용하였다[15].

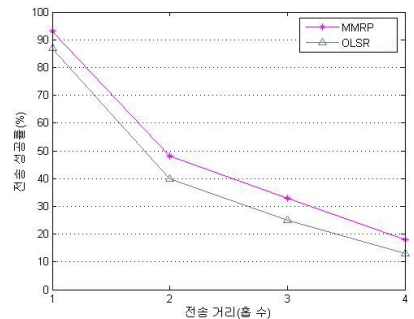
구성한 MPLS 메쉬 네트워크에서 지정 메쉬 라우터 구간, 노드 A-B, 노드 C-D 구간에 트래픽 생성기를 사용하여 네트워크 부하를 가정한 트래픽을 발생시킨다. 부하 발생 구간(노드 A-B, C-D 구간)에 초당 1000개의 1400 바이트 크기의 패킷을 전송하였고 소스에서 목적지로 같은 크기와 속도로 소스에서 목적지 노드까지 패킷을 전송하였다.

5. 실험 결과

<그림 9, 10>은 전송에 참여하는 각 라우터에서의 홉수별 전송속도와 전송 성공률을 나타낸다. MMRP는 부하를 인지하여 라우팅 패스 설정 시 링크 품질을 판단하기 때문에 부하가 발생하는 링크를 우회하여 라우팅 경로를 설정한다. 때문에 현재 부하가 발생하지 않는 링크에 LSP가 설정된다. 이



<그림 9> 전송 홉 수에 따른 전송 속도 변화
(Fig. 9) Throughput vs. Hops



<그림 10> 전송 홉 수에 따른 전송 성공률
(Fig. 10) Transfer success rates vs. hops

에 따라 일반적으로 최대 홉수에 따른 경로를 설정하는 OLSR에 비교하여 더 높은 전송속도와 전송성공률을 보인다. 이상의 실험은 실제 환경에 따라 다른 성능값을 보일 것이다. 하지만 구현된 시스템의 정상적인 동작과 MPLS에 의한 관리기능이 문제없이 동작됨을 확인할 수 있었다.

6. 시뮬레이션

MMRP의 확장성을 검증하기 위해 네트워크 시뮬레이터를 사용하여 MMRP가 동작되는 다수의 메쉬 라우터가 동작되는 메쉬 네트워크 환경을 구축하였다. 메쉬 라우터는 6x6 정방형으로 총 36개의 메쉬 라우터는 200미터 간격으로 배치하고 IEEE 802.11g 인터페이스와 옴니 안테나 탑재를 가정한다.

먼저 네트워크 구성 후 10초부터 소스와 목적지로의 전송을 2.5Mbps 속도로 전송 후 네트워크 부하환경을 가정하여 30초부터 네트워크에 가장자리

에 위치한 노드 간 전송 개수를 증가시키며 일반 패킷을 500Kbps로 전송한다.

<그림 11과 12>에서 보이듯이 초기 소스와 목적지로의 전송 발생 시 두 프로토콜 모두 비슷한 전송속도를 보이지만 네트워크에 부하가 발생되면 MMRP는 OLSR-ETX보다 더 높은 전송률과 개선된 지연율을 보인다. 이는 네트워크가 확장된 경우에도 MMRP의 부하분산 기능과 IEEE 802.11e에 의한 세분화된 QoS 서비스를 통해 최적을 라우팅 패스를 설정이 가능하기 때문이다.

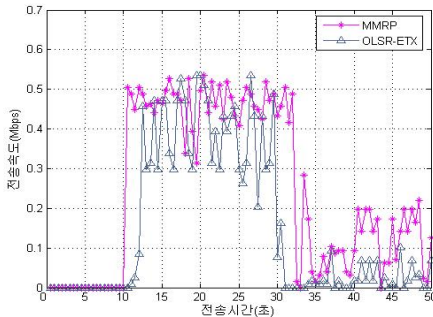
이상을 통하여 제시된 MPLS적용 메쉬네트워크 설계가 정상 동작됨과 QoS시험을 위해 구성된 라트릭등이 적절함을 검증할 수 있었다.

V. 결 론

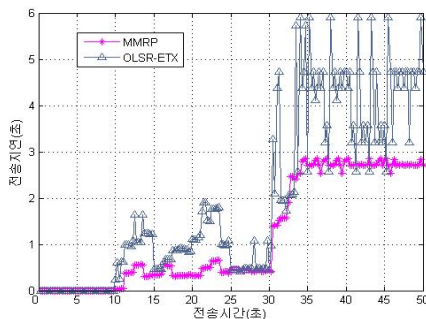
본 논문에서는 하부의 QoS 라우팅 알고리즘과 무관하게 상위 응용계층에서의 OoS 경로의 관리를 용이하게 하기위해 MPLS를 적용한 메쉬네트워크를 설계하고 구현을 통해 설계를 검증하였다. 실제 실험을 위해 IEEE 802.11e MAC과 EXT 메트릭을 적용하였으며 설계된 MPLS기능을 구현하여 실험하였다. 제안하는 메쉬 네트워크 구조는 계층적 구조를 갖추고 트래픽 특성에 따른 LSP 설정, 802.11e에 의한 차별적 전송을 통해 메쉬 네트워크의 QoS 서비스를 제공할 수 있음을 실험할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] B. Zhang and H. T. Mouftah, "QoS routing for wireless ad hoc networks: problems, algorithms, and protocols," *IEEE Communications Magazine*, vol.43, no.10, pp.110~117, October 2005.
- [2] S. Yasukawa, A. Farrel and O. Komolafe, "An analysis of scaling issues in MPLS-TE core networks," RFC 5439, February 2009.
- [3] IEEE Std 802.11e, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specifications: Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements, 2005.
- [4] N. Kang and Y. Kim, "H2O: Hierarchically opti



<그림 11> 부하 발생에 의한 시간 별 전송속도 변화
<Fig. 11>Throughput variation by traffic load



<그림 12> 부하 발생에 의한 시간별 전송 지연
<Fig. 12> Delay variation by traffic load

- mized hybrid routing strategies for multihop wireless networks,” ICOIN2007, Estoril, Portugal, January 2007.
- [5] E. Rosen, A. Viswanathan and R. Callon, “*Multiprotocol label switching architecture*,” RFC 3031, January 2001.
- [6] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, “Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.34, no.4, pp.133~144, October 2004.
- [7] R. Draves, J. Padhye and B. Zill, “Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks,” *ACM Mobicom*, pp.114~128. September 2004.
- [8] Y. Yang, J. Wang and R. Kravets, “Interference-aware load balancing for multihop wireless networks,” Technical Report UIUCDCS-R-2005-2526, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, October 2005.
- [9] P. Sinha, S. V. Krishnamurthy and S. Dao, “Scalable unidirectional routing with zone routing protocol (ZRP) extensions for mobile ad-hoc networks,” *IEEE WCNC 2000*, vol.3, pp.1329~1339, September 2000.
- [10] T. M. Rasheed, L. Reynaud and K. Al Agha. “Cluster-quality based hybrid routing in large scale mobile multi-hop networks,” *IEEE WCNC 2007*, pp.3052~3057, March 2007.
- [11] B. Thomas, N. Feldman, P. Doolan, L. Andersson and A. Fredette, “*LDP Specification*,” IETF draft-mpls-ldp-06, August 1999.
- [12] N. Kang, S. Yoo, Y. Kim, S. Jung and K. Hong, “Heterogeneous routing protocol coordinator for mobile adhoc networks,” *Ubiquitous Computing Systems*, vol.4239, pp.384~397, October 2006.
- [13] NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [14] T. Ed. Clausen and P. Ed. Jacquet, “*Optimized link state routing protocol (OLSR)*,” RFC3626, October 2003.
- [15] N. Kang, S. Kang, Y. Lee and Y. Kim, “Design and implementation of protocol evaluator for ubiquitous community networks,” *Ubicomp 2007*, Austria, September 2007.

저자소개



김 영 한 (Kim, Young-Han)

1984년 : 서울대학교 전자공학과 학사

1986년 : 한국과학기술원 전기전자 공학 석사

1990년 : 한국과학기술원 전기전자 공학 박사

1987년 ~ 1994년 : 디지콤 정보 통신 연구소 데이터통신연구부장

1994년 ~ 현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

<주관심분야: 컴퓨터 네트워크, 인터넷 네트워킹, 이동 데이터 통신망>



김 정 먼 (Kim, Jung-Myun)

2009년 : 숭실대학교 석사과정(정보통신공학전공)