

무선 메쉬 네트워크에서 가용 대역폭과 부하를 고려한 확장된 WCETT 라우팅 메트릭

준회원 이 지 수*, 정회원 황 준 호*, 종신회원 유 명 식*

An Enhanced-WCETT Routing Metric based on Available Bandwidth and Traffic Load in Wireless Mesh Networks

Jisoo Lee* *Associate Member*, Junho Hwang* *Regular Member*,
Myungsik Yoo** *Lifelong Member*

요 약

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network; WMN)는 넓은 지역에 저렴한 비용으로 인프라 구축을 통해 무선 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 기술로 많은 관심을 받고 있다. 하지만 무선 메쉬 네트워크에서는 무선 통신 환경의 특성인 높은 오류율, 불안정한 채널 특성, 제한적인 대역폭 등의 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해 다양한 라우팅 기술들이 연구되고 있다. 기존 라우팅 기술들의 경로 설정 기술은 채널 품질이 우수한 노드에 트래픽이 집중되거나 특정 노드에 부하가 집중되어 네트워크 성능이 저하되는 문제가 야기되었다. 따라서 본 논문에서는 실제 전송 가능한 대역폭 정보와 링크 당 부하 정보를 고려한 새로운 라우팅 메트릭을 제안하고, 이를 기존 링크 품질 기반 라우팅 알고리즘에 적용하여 성능 평가를 위한 모의실험을 수행하였다. 성능 평가 결과 기존의 라우팅 메트릭을 사용할 때 보다 전송 지연, 전송률 패킷 손실 등의 성능 향상이 가능함을 확인할 수 있었다.

Key Words : Wireless Mesh Network, Routing Algorithm, Routing Metric, Available Bandwidth, Traffic load

ABSTRACT

Wireless Mesh Network (WMN) has drawn much attention due to wide service coverage with low system cost. However, WMN suffers from high bit error rate, which provides different link capacity among wireless mesh routers. The conventional routing metrics select the path based on link quality. The link with the best quality is preferred as the data transmission path, and they becomes the bottleneck links, which leads to network performance degradation. In this paper, we propose a routing metric that considers the available bandwidth and the number of nodes suffering congestion in the path. Through computer simulations, we verified that the proposed routing metric outperforms the existing routing metrics in terms of average transmission delay, packet loss, system throughput.

I. 서 론

최근 들어 국내 스마트폰 단말기의 보급 대수가

2000만대에 이르렀으며, 이와 더불어 개인용 넷북, 랩톱이 활발히 사용되면서 무선 인터넷 서비스 제공을 위한 AP(Access Point)의 증가가 불가피해졌

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-C6150-1101- 0004)

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신망 설계 및 분석 연구실(myou@ssu.ac.kr), (☎: 교신저자)

논문번호 : KICS2011-11-511, 접수일자 : 2011년 11월 8일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 13일

다. 하지만 AP는 제한된 전송 범위로 인해 보다 넓은 지역에서 무선 인터넷을 제공하기 위해서는 다수의 AP가 설치되어야한다. 이러한 AP의 증대는 시스템 구축비용의 증가는 물론 인프라 구축에 필요한 물리적, 공간적인 측면에서 많은 어려움을 야기한다¹⁻².

이와 같은 AP 증대가 갖는 문제점을 해결하기 위해 IEEE 802.11s 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks ; WMN)가 많은 관심을 받고 있다³. 일반적으로 무선 메쉬 네트워크는 그림 1과 같이 사용자 단말인 메쉬 클라이언트(Wireless Mesh Client)와 AP 및 라우터 역할을 수행하며 사용자와 연결된 무선 메쉬 라우터(Wireless Mesh Router), 무선 메쉬 라우터 중 유선망을 통해 인터넷을 연결하는 무선 메쉬 게이트웨이(Wireless Mesh Gateway)가 그물망 형태로 구성된다. 특히 무선 메쉬 라우터는 기존 애드 혹 네트워크(Ad-Hoc Network)와 유사한 형태를 가지고 있으나 이동성, 전력 그리고 기존 백본망(Backbone Network)과 연결이 되어 있다는 점에서 차이점을 가지고 있다.

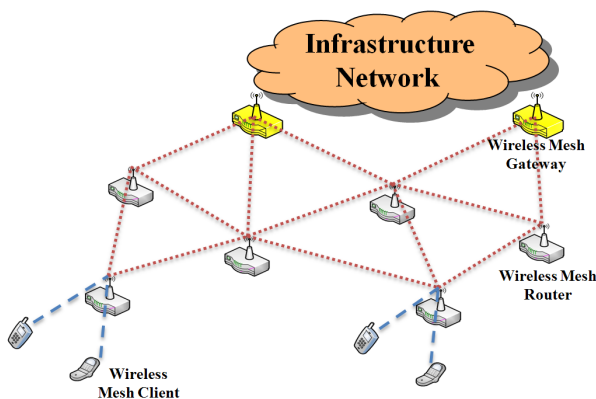


그림 1. 무선 메쉬 네트워크 구조
Fig. 1. Structure of wireless mesh networks

일반적으로 애드 혹 네트워크에서는 효과적인 트래픽 전송을 위해 다양한 라우팅(Routing) 기법들이 연구되어 왔다⁴⁻⁶. 이들 라우팅 기법들은 크게 데이터 전송을 위해 경로를 선택하는 기준에 따라 주기적으로 라우팅 테이블을 갱신하여 라우팅 테이블을 교환함으로써 원하는 목적지까지의 경로를 선택하는 프로액티브(Proactive) 방식과 트래픽을 전송할 때마다 경로를 선택하는 리액티브(Reactive) 방식으로 나뉜다. 하지만 무선 메쉬 네트워크는 한번 토폴로지가 형성되면 새로운 메쉬 라우터를 설치하거나

사라지지 않는 한 토폴로지를 유지하기 때문에 오버헤드가 많은 리액티브 방식에 비해 프로액티브 방식이 유리하다⁷.

이러한 무선 메쉬 네트워크에서는 경로 선택을 위해 링크 품질(Link Quality) 기반 라우팅 메트릭과 부하 인지(Load-aware) 기반 라우팅 메트릭 등을 사용하였다. 먼저, 링크 품질 기반 라우팅 메트릭은 대역폭(Bandwidth), 에러율(Bit Error Rate), 패킷 크기(Packet Size) 등을 고려하여 링크 사이의 품질을 측정하며 품질이 가장 우수한 경로를 선택해 트래픽을 전송한다^{4,6,8}. 반면, 부하 인지 기반 라우팅 메트릭은 각 라우터의 부하 발생 여부를 확인하여 부하가 가장 낮은 라우팅 경로를 선택하여 트래픽을 전송하는 특징을 가지고 있다⁹⁻¹⁰.

하지만 기존의 라우팅 메트릭은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 먼저 링크 품질 기반 라우팅 메트릭은 링크 품질이 가장 우수한 경로로 트래픽이 집중되는 현상이 발생한다. 이러한 트래픽이 집중되는 노드는 트래픽의 혼잡 증가로 인한 전송 지연 및 패킷 손실이 급격하게 증가되는 문제가 발생한다.

반면, 부하 인지 기반 라우팅 메트릭은 각 링크의 부하 상황을 고려하기 때문에 트래픽의 혼잡 문제는 발생하지 않으나, 각 경로의 부하 인지에 필요한 정보 수집으로 인한 오버헤드 문제와 부하만을 고려한 라우팅으로 인해 데이터 전송 효율이 링크 품질 기반 라우팅 메트릭에 비해 저하되는 문제점이 나타나고 있다.

이러한 전송 지연, 패킷 손실, 전송 효율성 등의 문제는 현재 무선 인터넷을 통한 스트리밍 서비스가 급격하게 증가하는 점에서 서비스 품질에 심각한 악영향을 초래한다. 따라서 무선 메쉬 네트워크의 서비스 품질을 향상시키기 위해서는 링크 성능과 네트워크 부하를 모두 고려하여 트래픽을 적절하게 분산시킬 수 있는 라우팅 메트릭 기반의 경로 선택 기술이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 전송 속도와 트래픽 유입량을 통해 실제 링크에서 가용할 수 있는 트래픽을 산정하고, 경로 상의 부하 발생 노드 수를 고려한 새로운 라우팅 메트릭을 제안한다. 이러한 가용 대역폭과 트래픽 부하를 고려한 라우팅 메트릭을 기반으로 링크 품질 기반 라우팅 알고리즘을 운용할 경우 네트워크 트래픽의 부하 분산 효과와 전송 효율이 증가될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II장에서는

관련 연구로 기존 라우팅 메트릭을 설명하며, III장에서는 제안하는 라우팅 메트릭과 제안 라우팅 메트릭을 이용한 경로 선택 과정을 설명하고, IV장에서는 모의실험 환경 및 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 V장에서는 결론 및 향후 계획을 서술한다.

II. 관련 연구 및 문제점 분석

2.1. 링크 품질 기반 라우팅 메트릭

무선 mesh 네트워크에서 사용되는 링크 품질 기반 라우팅 알고리즘은 경로 결정을 위해서 다음과 같은 라우팅 메트릭을 사용하여 경로의 품질을 판단하고, 품질이 가장 우수한 경로로 트래픽을 전송한다. 이에 링크의 품질을 판단하기 위한 기존 라우팅 메트릭의 측정 방법을 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1. 홉 개수(Hop Count)

홉 개수 방식^[6]은 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector), DSR(Dynamic Source Routing), DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)와 같이 멀티 홉 무선 네트워크에서 일반적으로 사용되는 라우팅 메트릭으로 각 노드까지의 최소의 홉 수를 경로 선택 기준으로 결정한다. 홉 개수를 고려한 라우팅 메트릭은 매우 간단하며, 무선 채널이 높은 안전성을 가질 경우 효율적이지만 링크의 상태가 불안할 경우 급격한 데이터 전송 지연 증가 및 전송률 감소의 문제가 발생한다.

2.1.2. Packet pair, RTT(Round Trip Time)

Packet Pair 방법^[6]은 두 개의 패킷을 송신 노드에서 수신 노드로 전송 후 수신 측에서 전송 시간을 측정하여 송신 노드에 전송하는 방법을 사용한다. 또한 RTT 방식^[6]에서도 프로브(Probe) 패킷을 전송하여 두 개의 노드에서 동시에 프로브 패킷을 전송한 후 먼저 도착한 프로브 패킷을 처리하는데 걸리는 시간을 측정한다. 하지만 프로브 패킷을 측정하는 순간 채널 상황 및 부하 여부가 변화되게 되면 링크 품질의 신뢰성이 저하된다.

2.1.3. ETX(Expected Transmission Count)

ETX^[8]는 이웃 노드에게 일정한 개수의 프로브 패킷을 브로드캐스트 한 후 몇 개의 프로브 패킷이 도착했는지를 파악하여 에러율을 측정한다. 이러한 에러율은 각 링크에 대해 수식 1과 같이 계산한다. 이때 d_f 는 순방향(Forward) 전송률, d_r 은 역방향

(Backward) 전송률을 의미한다.

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (1)$$

2.1.4. ETT(Expected Transmission Time)

ETT^[4]는 ETX를 개선한 라우팅 메트릭으로 ETX에 링크의 대역폭과 패킷의 크기를 반영하여, MAC 계층에서 패킷이 성공적으로 전송되는 기대 시간을 수식 2와 같이 계산하고, 이를 경로 선택 지표로 사용한다. 이때 S 는 평균 패킷 크기이며, B 는 현재 링크의 평균 대역폭을 의미한다.

이러한 ETT는 네트워크의 전체 성능을 향상 시키고 링크 용량을 측정하여 경로의 수율을 증가시킬 수 있다. 하지만 노드의 큐 정보를 고려하지 않기 때문에 병목현상이 발생한 링크의 경우에는 성능이 급격히 감소하며, 또한 매 홉마다 메트릭을 계산하기 때문에 효율이 떨어진다.

$$ETT = ETX \times \frac{S}{B} \quad (2)$$

2.1.5. WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time)

WCETT^[4]는 ETT를 개선한 방식으로 다중채널(Multi-Radio) 환경에서 수식 3과 같이 각 링크의 ETT를 합을 토대로 경로의 우수성을 판단한다.

$$WCETT = (1 - \alpha) \times \sum_{i=1}^n ETT_i + \alpha \times \max_{1 \leq j \leq k} X_j \quad (3)$$

이때 X_j 는 채널 j 상에서 링크의 ETT값의 합을 의미하며, α 는 [0,1] 값 사이에서 각 채널과 경로의 ETT값의 가중치를 조정하는 변수이다.

이러한 기존의 링크 품질 기반 라우팅 메트릭들은 경로 선택을 위해 링크의 품질만을 고려하였다. 따라서 각 노드는 링크의 품질이 좋은 경로로 트래픽을 전송하게 되고 다른 경로로 분산되지 않는다. 이에 따라 품질이 우수한 경로 상에 위치한 노드로 많은 트래픽이 집중되어 해당 노드들에 부하가 발생하게 된다. 더욱이 부하 분산을 고려하지 않기 때문에 트래픽 혼잡 상황이 더욱 악화될 수 있다.

2.2. 부하 인지 기반 라우팅 메트릭

기존의 링크 품질 기반 라우팅 메트릭들은 부하

를 고려하지 않아 특정 링크에 트래픽이 집중되는 병목 현상이 발생하게 된다. 이러한 병목 현상을 개선하기 위해 LAETT (Load Aware ETT), LMR (Load-aware Routing Protocol for Multi-radio Wireless Mesh Networks)^[9], WCETT-LB (WCETT Load Balancing)^[10] 등의 부하 인지 기반의 라우팅 메트릭들이 제안되었다.

먼저, LAETT는 기존 ETT를 개선하여 ETT가 동일한 노드가 있을 경우 부하 정보를 확인하여 경로를 설정하며, LMR은 다중 채널 메쉬 네트워크 환경에서 각 채널별 부하 정도를 고려하여 경로를 설정한다. 마지막으로 WCETT-LB는 WCETT와 특정 경로 위의 노드에 평균 큐 길이와 전송 속도로 판단된 혼잡 레벨(Congestion Level)을 기준으로 경로를 설정한다. 이러한 부하 인지 기반 라우팅 메트릭들은 링크 품질 기반 메트릭들이 품질이 우수한 특정 링크에 트래픽이 집중되는 문제를 부하 인지를 통하여 다른 경로로 부하를 분산시켜 전체 네트워크의 성능을 향상시킨다.

하지만 부하 인지 기반 라우팅 메트릭들은 링크 상태 판단 후 부하 정보를 판단하기 위한 별도의 절차를 거치거나 부하 정보만을 이용하여 경로를 선택한다. 즉, 부하는 발생하지 않았지만 링크 품질이 심하게 나쁠 경우는 부하가 발생하였지만 링크 품질이 우수한 경로를 선택한 경우에 비해 효율이 떨어질 수 있다.

또한 메쉬 클라이언트들이 위치를 이동하여 특정 메쉬 라우터에 트래픽이 집중되어 부하가 높아질 경우 해당 경로상의 다른 메쉬 라우터들은 부하가 발생하지 않았음에도 불구하고 경로 선택에서 배제되는 문제가 발생한다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 해당 경로를 통해 전송할 수 있는 가용 대역폭과 부하 정보를 모두 고려하는 새로운 라우팅 메트릭을 제안한다.

III. 제안 라우팅 메트릭 및 경로 선택 과정

무선 메쉬 네트워크 환경에서 데이터의 효과적인 전송을 위해 사용되는 라우팅 알고리즘은 각 링크의 품질 정보를 기반으로 경로를 설정하는데, 이러한 경로 설정에 사용되는 각 링크의 품질 정보를 계산하기 위한 것이 라우팅 메트릭이다. 따라서 데이터 전송의 효율성을 증대시키기 위해서는 네트워크 상태를 판단할 수 있는 라우팅 메트릭이 매우

중요한 요소이다.

따라서 본 논문에서는 부하 정보와 가용 대역폭을 적용하여 기존 WCETT 라우팅 메트릭을 개선시킨 eWCETT(Enhanced WCETT) 라우팅 메트릭을 제안하였다.

3.1 eWCETT 라우팅 메트릭

본 논문에서 제안하는 eWCETT 라우팅 메트릭의 가장 큰 특징은 해당 경로를 통해 현재 전송 가능한 대역폭과 주변 노드와 연결되어 실제 수행되어야 하는 부하를 고려하는 것이다. 이를 위해 기존 WCETT에서 고려하였던 정보 이외의 가용 대역폭과 링크 상의 큐 정보를 반영하여 수식 4와 같이 계산한다.

$$eWCETT = (1 - \beta) \times \sum_{i=1}^n eETT_i + \beta \times \max_{1 \leq j \leq k} X_j \quad (4)$$

이때 β 는 가중치 파라미터이며, eETT (Enhanced ETT)는 기존의 WCETT 방식에서 사용된 ETT에 가용 대역폭 정보를 반영한 것으로 수식 5와 같이 계산한다.

$$eETT = \lambda \times ETT + (1 - \lambda) \times mETT \quad (5)$$

이러한 eETT는 λ 값에 따라 ETT와 mETT (Modified ETT)를 선택적으로 적용한다. 즉, λ 값이 0으로 나올 경우 mETT를 사용하고, 1로 결정될 경우 ETT를 사용한다. 이러한 λ 는 수식 6을 이용하여 경로 상의 부하 발생 노드 수에 따라 결정된다.

$$QL_i = \sum_{k=0}^{H_k} Q_k \quad (6)$$

이때 QL_i 는 링크 i 의 시작 홉(Hop)에서 마지막 홉까지의 메쉬 라우터 Q_k 중 부하가 발생한 노드 수를 나타내는데, 이때 L 은 해당 네트워크에 존재하는 목적지까지의 경로 수이다. 또한 H_k 는 경로 i 에서 목적지까지의 홉 수를 의미하고, Q_k 는 경로 i 에서 k 번째 라우터의 부하 정보를 말하는데, 각 라우터의 부하 정보가 임계치(Threshold)를 초과할 경우 Q_k 는 1로 설정되며, 임계치 이하일 경우 0으로 설정된다. 이와 같이 링크 i 의 트래픽 부하 정보를 판단하여, QL_i 이 설정한 임계치를 초과할 경우 $\lambda = 0$ 을 사용하고, 임계치 미만일 경우 $\lambda = 1$ 을 사용한다.

이와 더불어 mETT는 가용 대역폭을 고려한 메트릭이며, 수식 7과 같이 계산한다. 이때 P는 가용 대역폭으로서 평균 대역폭 (avg_B)에 평균 유입 대역폭(avg_Ti)을 뺀 값으로서, 수식 8과 같다.

$$mETT = ETX \times \frac{S}{P} \quad (7)$$

$$P = avg_B_i - avg_T_i \quad (8)$$

3.2 정보 교환 및 경로 선택 과정

본 논문에서 제안한 eWCETT 라우팅 메트릭은 링크 품질 기반의 라우팅 알고리즘인 LQSR (Link Quality Source Routing)에 적용하여 효과적인 라우팅 알고리즘을 운용할 수 있다. 이에 LQSR을 이용한 경로 선택을 위한 정보 교환 및 경로 결정 과정은 다음과 같다.

먼저, LQSR을 운용하는 라우터는 주기적으로 라우팅 테이블을 갱신하며, 경로 요청 메시지를 수신할 경우 라우팅 메트릭 값이 가장 낮은 경로로 전송 경로를 결정한다. 이러한 주기적인 라우팅 테이블 갱신을 위해 송신 노드는 RREQ(Route Request) 메시지를 브로드캐스트(Broadcast) 방식으로 전송하고, 수신 노드는 RREP(Route Reply) 메시지를 역 경로(Backward path)로 송신 노드에게 전송한다. 이때 RREQ가 거쳐 온 경로에 따라 하나 이상의 경로가 발생하며, 수신 노드는 각 경로별로 RREP 메시지를 전송하는데, 이때 RREP 메시지 내에는 eWCETT 라우팅 메트릭 값을 계산하기 위해 각 경로에 존재하는 라우터들의 대역폭, 유입 트래픽 양 그리고 해당 경로에서 발생한 부하 노드 수인 Q_k 정보를 포함한다.

따라서 송신 노드는 각 경로의 RREP 메시지를 수신한 후 QL_i 를 계산하여, eETT를 결정하기 위한 λ 를 산출한 후 경로별 각 링크의 eETT를 모두 합해 전체 경로 중 eWCETT 라우팅 메트릭 값이 가장 작은 경로를 최종 선택 경로로 설정하고, 데이터를 전송한다.

IV. 모의실험 및 성능 분석

본 논문에서 제안하는 eWCETT의 성능 검증을 위해서 C++를 기반으로 트래픽 발생 및 노드의 전송 이벤트를 관리하는 이벤트 제어 스케줄러(Event Driven Scheduler) 기반의 모의실험 환경을 구축하였다. 이를 위해 30개의 노드가 10x10 격자형(Grid)

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters

파라미터	값
토폴로지 구조	10x10 격자형
노드 수	30
데이터 패킷 크기 [byte]	1000
프롭트 패킷 크기 [byte]	500
트래픽 종류	UDP
MAC 프로토콜	CSMA/CA
대역폭 [Mbps]	54
모의실험 시간 [sec]	500
라우팅 테이블 갱신 주기 [sec]	5
λ 결정을 위한 임계치	2

표 2. 가변적인 트래픽 발생 상황
Table 2. Situation of variable traffic environments

	Node A	Node B	부하
Case 1	1배	1배	미발생
Case 2	1.5배	1배	발생
Case 3	1.5배	1.3배	발생
Case 4	2배	1배	발생
Case 5	1.5배	1.4배 (Node B)	발생
		1.3배 (Node C)	
		1.2배 (Node D)	

구조에 배치된 네트워크 구조를 가정하였으며, 각 노드는 트래픽 생성을 위한 패킷 생성기와 라우팅 메트릭 알고리즘 그리고 경로 선택 알고리즘을 수행한다. 이때 생성되는 데이터 패킷의 크기와 프롭트 패킷의 크기는 각각 1,000byte와 500byte로 가정하였다. 또한 무선 매쉬 네트워크에서 운용하는 매체 접근 제어 기술 (Medium Access Control)은 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance)를 사용하여 매쉬 클라이언트의 접속을 수용하였다. 이때 각 매쉬 라우터의 대역폭은 54Mbps로 모두 동일하며, 라우팅 테이블 갱신 주기는 5sec, 그리고 경로 상의 부하 노드 수 임계치는 2개로 설정하였다. 이러한 모의실험 환경에서 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

이와 같은 모의실험 환경에서 각 라우터의 부하 발생량에 따른 성능 평가를 위해 표 2와 같이 다섯가지 트래픽 발생량이 가변적인 네트워크 상황을 가정하였다. 이때 가변적인 네트워크 상황은 30개 노드 중 특정 노드 5개(Node A, B, C, D, E)를 무작위로 선정하고, 이들의 트래픽 부하 상황을 변화시킨 것이다. 먼저 Case 1은 모든 노드의 트래픽 발생량이 동일한 즉, 네트워크 부하가 발생하지 않는 이상적인 상황이다. 반면 Case 2와 Case 4는

Node A만 트래픽 발생량이 높은 상황이며, Case 3과 Case 5는 Node A와 B 모두 발생하되, 특히 Case 5의 경우 추가적으로 Node C와 D도 트래픽 발생량이 증가한 환경이다.

위와 같은 모의실험 환경 및 트래픽 발생 상황을 토대로 본 논문에서 제안한 eWCETT 라우팅 메트릭과 WCETT 라우팅 메트릭을 기반으로 한 LQSR 라우팅 알고리즘을 동작시켰을 경우 5가지 트래픽 변화 환경에서 발생하는 평균 전송 지연, 시스템 전송률, 패킷 손실 수 그리고 네트워크 토폴로지 크기 변화에 따른 평균 전송 지연을 측정하였다.

먼저, 그림 3은 트래픽 상황별 WCETT와 eWCETT 기반 라우팅 알고리즘의 평균 전송 지연을 나타낸 것이다. 부하가 발생하지 않은 Case 1의 경우 WCETT와 eWCETT의 평균 전송 지연이 같다는 것을 알 수 있다. 이는 부하가 발생하지 않은 경우 λ 가 1로 설정되어, eETT는 ETT값에 의해서만 결정되기 때문에 두 라우팅 메트릭은 같은 결과를 가지게 된다.

하지만 트래픽 부하가 달라지는 Case 2 ~ 5의 경우 eWCETT 기반 라우팅 알고리즘이 WCETT 기반 라우팅 알고리즘 보다 낮은 전송 지연을 보였다. 이를 보다 자세히 살펴보면, Node A 또는 Node B 중 하나의 노드라도 부하가 발생하지 않은 Case 2와 4의 경우 비교적 낮은 전송 지연을 나타냈으며, 두 노드 모두 부하가 발생하는 Case 3과 5의 경우에는 다른 상황에 비해 높은 전송 지연을 형성하는 것을 볼 수 있다.

그림 4, 5는 각각 두 라우팅 메트릭에 대한 트래픽 상황별 시스템 전송률과 패킷 손실 개수의 성능을 비교한 것이다. 먼저, 그림 4의 경우 제안 라우팅 메트릭인 eWCETT를 사용할 경우 WCETT 보다

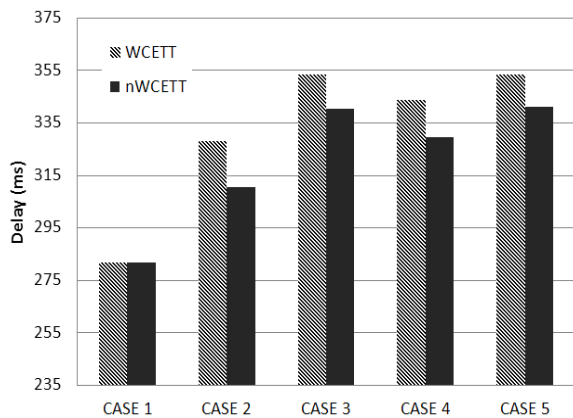


그림 3. 트래픽 발생 상황 별 평균 전송 지연 비교
Fig. 3. Comparison of average transmission delay

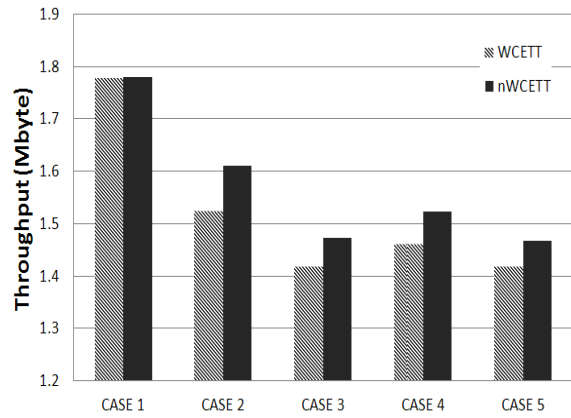


그림 4. 트래픽 상황별 시스템 전송률 비교
Fig. 4. Comparison of system throughput

높은 전송률 제공이 가능함을 확인할 수 있다. 또한 패킷 손실 개수에 있어서도 시스템 전송률과 비례하게 나타남을 확인할 수 있다. 즉, 트래픽 부하가 발생할 경우 링크 품질에 따라 노드별 패킷 손실이 발생하는데, 이를 최소화하기 위해서는 가용 대역폭과 트래픽 부하량을 모두 고려하는 것이 시스템 전송률 향상과 패킷 손실을 최소화할 수 있음을 확인하였다.

그림 6은 토폴로지 크기에 따른 전송 지연을 나타낸 것이다. 이때 트래픽 발생량의 상황은 Case 3을 가정하였고, 무선 메쉬 네트워크를 형성하는 노드의 수를 24 ~ 60개까지 변화시켰을 경우 두 라우팅 메트릭에 대한 평균 전송 지연을 비교하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 노드가 증가함에 따라 두 라

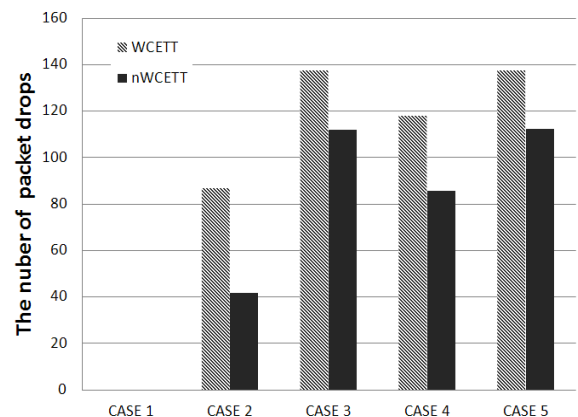


그림 5. 트래픽 상황별 패킷 손실 개수 비교
Fig. 5. Comparison of number of packet loss

우팅 메트릭 모두 대체 경로의 증가로 인해 평균 전송 지연이 감소되는 경향을 보이나 제안 라우팅 메트릭이 기존 WCETT보다 낮은 평균 전송 지연을

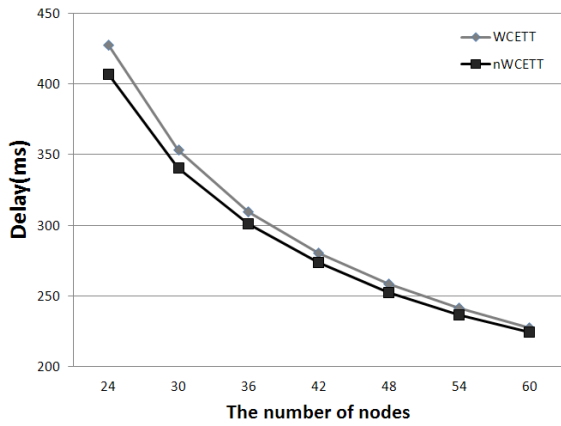


그림 6. 토폴로지 크기 변화에 따른 평균 전송 지연
Fig. 6. Average transmission delay with changing topology size

보였다. 다만 노드의 수가 60개 이상으로 네트워크 규모가 커질 경우 상대적으로 대체 경로들이 많이 발생하기 때문에 두 알고리즘의 성능이 비슷해지는 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

무선 메시 네트워크는 기존 AP 기반의 무선 인터넷 서비스 인프라 구축 시 편리한 확장성과 비용 절약, 넓은 지역에 서비스 제공 등의 장점을 가지며 관심을 받고 있다. 하지만 무선 네트워크의 특성상 불안한 채널 특성과 높은 오류율, 제한적인 대역폭 등의 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 여러 가지 라우팅 방법들이 연구되어 왔다. 하지만 기존의 방법들은 링크 특성만을 고려하거나 부하만을 고려했기 때문에 네트워크 상황에 따라 성능이 저하되는 문제를 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 기존 라우팅 메트릭들의 단점을 극복하기 위해 기존 링크 품질 기반 메트릭과 부하 인지 기반 메트릭의 장점을 활용하여 가용 대역폭과 부하 인지를 통해 최적의 라우팅 경로를 찾을 수 있는 메트릭을 제안하였다. 또한 제안 라우팅 메트릭의 성능 평가를 위해 LQSR 알고리즘에 적용하여 모의실험을 수행하였으며, 다양한 트래픽 발생 환경을 고려하여 성능 평가를 수행한 결과 기존 WCETT 라우팅 메트릭을 사용할 때 보다 낮은 평균 전송 지연, 높은 전송률 등의 성능 향상을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Ashish Raniwala and Tzi-cker Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network," In Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 2223-2234, Mar. 2005.
- [2] R. Karrer, A. Sabharwal and E. Knightly, "Enabling Large-scale Wireless Broadband : The Case for TAPs," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 34(1), pp. 27-32, Jan. 2004.
- [3] S. Faccin, C. Wijting, J. Kenckt and A. Damle, "Mesh WLAN Networks: Concept and System Design," *IEEE Wireless Communications*, 13(2), pp. 10-17, Apr. 2006.
- [4] Richard Draves, Jitendra Padhhy and Brian Zill, "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks," In Proc. of the ACM MobiCom, pp. 114-128, Sept. 2004
- [5] Wai-Hong Tam and Yu-Chee Tseng, "Joint Multi-Channel Link Layer and Multi-Path Routing Design for Wireless Mesh Networks," In Proc. of the IEEE INFOCOM, pp. 2081-2089, May, 2007.
- [6] I. F. Akyildiz, X. Wang and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Elsevier Computer Networks*, (47), pp. 445-487, Mar. 2005.
- [7] Y. Yang, J. Wang, and R. Kravets, "Designing Routing Metrics for Mesh Networks," In Proc. of WiMesh, 2005.
- [8] Douglas S. J. De Couto, Daniel Aguayo, John Bicket and Robert Morris, "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing," In Proc. of ACM MobiCom, pp. 134-146, Sept. 2003.
- [9] Anh-Ngoc LE, Dong-Won KUM, You-Ze CHO and Cah-Keong TOH, "Routing with Load-Balancing in Multi-Radio Wireless Mesh Networks," *IEICE Transaction Communication*, E92-B(3), pp. 700-708, Mar. 2009.
- [10] V. Saigal, A. K. Nayak, S. K. Pradhan, and

R. Mall, "Load balanced routing in mobile ad hoc networks", *Elsevier Computer Communications*, 27(3): 295-305, Feb. 2004.

이 지 수 (Jisoo Lee)

준회원



2009년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2011년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사
<관심분야> Wireless Mesh Network, Optimization

유 명 식 (Myungsik Yoo)

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자공학과 학사
1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사
2000년 09월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부

교수

<관심분야> Optical Network, OBS, EPON, QoS, Wireless MAC Protocol, MANET, RFID, USN, CR, Visible Light Communication

황 준 호 (Junho Hwang)

정회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사
2006년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사 수료

<관심분야> Optical Access Network, Wireless MAC Protocol, RFID, USN, Visible Light Communication