

다중 전송률을 반영한 무선랜 메쉬 링크 품질 측정방법의 설계 및 구현

준회원 이 덕 환*, 정회원 양 승 철*, 종신회원 김 중 덕*^o

Design and Implementation of Multi-rate Broadcast based Link Quality Measurement for WLAN Mesh Network

Duck-hwan Lee* Associate Member, Seung-chur Yang* Regular Member, Jong-deok Kim*^o Lifelong Member

요 약

본 논문은 무선랜 메쉬 네트워크 링크 품질 측정 정확성 향상을 위한 MBAP(Multi-rate Broadcast Active Probing) 방법을 제안한다. 라우팅을 위한 척도로 홉 수를 주로 사용하는 MANET과 달리 메쉬 네트워크는 ETX, ETT 등의 링크 품질 기반의 척도를 주로 사용한다. ETX, ETT 등의 측정을 위해 기존 연구들에서는 단일 전송률 브로드캐스트 기반의 측정 방법을 사용한다. 하지만 이 방법은 다양한 전송률을 가질 수 있는 무선랜 링크의 품질을 제대로 반영하지 못하며 이는 적절하지 못한 경로 선택으로 귀결될 수 있다. MBAP는 다양한 전송률의 브로드캐스트를 사용함으로써 무선 링크 품질 측정의 정확성을 향상시켰다. 우리는 MBAP를 리눅스 기반의 링크 계층에서 구현하였으며 실험을 통해 그 효용성을 검증하였다.

Key Words : MBAP, BAP, Wireless Mesh Network, Link Quality, Metric

ABSTRACT

We propose MBAP(Multi-rate Broadcast Active Probing) technique to get the right measurements for link quality in Wireless Mesh Network (WMN). Most routing protocols for WMN make use of link quality-aware routing metrics, such as ETX(Expected Transmission Count) and ETT(Expected Transmission Time), while the hop count is usually used in MANET (Mobile Ad-hoc NETWORK). A broadcast based active proving technique is adopted in the previous studies to get the ETX or ETT of a link. However this technique does not reflect the multi-rate feature of WLAN because it uses a single fixed transmission rate for broadcast which usually differs from the actual rate used in data transmissions. MBAP overcomes this shortage by exploiting various rate broadcast frames for probing. We implement MBAP on linux system by modifying WLAN driver and related kernel sub-systems. Experimental results show that MBAP can capture link quality more accurately than the existing techniques.

1. 서 론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network,

WMN)^[1]는 AP(Access Point) 연결을 위한 백본으로 유선이 아닌 무선 링크를 활용하는 다중 홉 무선 통신망이다. WMN은 서비스 범위 확대를 적은 비용으로

* 이 논문 또는 저서는 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

* 부산대학교 컴퓨터공학과 이동통신 연구실 (mobile@pusan.ac.kr) (P : 교신저자)

논문번호: KICS2010-12-623, 접수일자: 2010년 12월 22일, 최종논문접수일자: 2011년 8월 25일

쉽게 할 수 있다는 장점으로 그 사용이 빠르게 늘고 있다. WMN은 다중 홉 통신이라는 측면에서 MANET (Mobile Ad-hoc Network)과 유사하다. 그러나 MANET과 달리 노드의 이동성이 제한적이며 전송 대역폭 및 신뢰성 요구가 보다 높은 특징이 있다. 일반적으로 MANET의 경우 라우팅을 위한 척도로 주로 홉 수(Hop Count)를 활용하지만 WMN의 경우 보다 안정적이고 높은 전송 대역폭의 경로를 찾기 위해 링크의 품질을 반영하는 척도를 사용한다^[2].

WMN 라우팅 프로토콜들에서 널리 쓰이는 대표적 품질 척도로 ETX (Expected Transmission Count)와 ETT (Expected Transmission Time)^[2-4]가 있다. 이들은 패킷 전송 성공률, 즉 PDR (Packet Delivery Ratio)에 기초하여 정의된다. 그림 1은 PDR과 ETX, ETT의 관계를 4개의 노드로 이루어진 간단한 네트워크에서 표현한 것이다.

경로를 구성하는 링크들의 ETX 또는 ETT를 모두 더한 것, 즉 누적 ETX (Cumulated ETX: CETX)와 누적 ETT(Cumulated ETT: CETT)를 해당 경로의 품질로 해석할 수 있다. 예를 들어 그림 1에서 S와 D 사이 경로 S-A-D의 CETX는 2.1, CETT는 2745 μ s 이라고 할 수 있다. 경로 S-B-D도 동일한 CETX와 CETT를 가진다. 참고로 IEEE 802.11s 무선랜 메쉬 표준에서도 ETT와 유사한 "Airtime link metric"을 라우팅을 위한 기본 척도로 정의하고 있다^[6].

라우팅이라는 개념을 넓게 해석하면 링크 및 경로 품질 측정을 포함할 수도 있겠지만 여기서는 품질 측정과 라우팅을 분리한다. 즉 라우팅과는 독립적으로 링크 품질을 측정하는 별도의 프로토콜과 모듈을 가정한다. 라우팅은 여기서 측정된 품질 정보를 관련 라우터들에게 전달하고 이를 이용하여 경로를 결정하는 기능을 수행한다고 가정한다. 링크 품질 측정과 라우

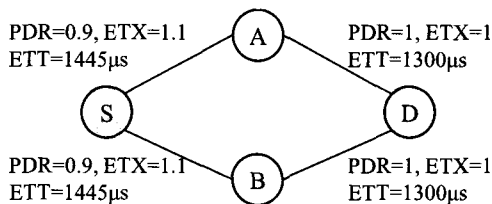
팅을 분리하는 것은 표준에서도 채택하고 있는 구조이다.

링크의 실제 품질을 정확히 측정하는 것은 WMN의 전송 성능 향상에 있어 중요한 요소다. 그림 1에서 어떤 라우팅 프로토콜을 통해 모든 노드들이 망을 구성하는 링크의 품질 정보를 모두 알게 되었다고 가정하자. 목적지가 D이고 소스가 S인 패킷을 전송하기 위해 라우팅은 S-A-D, S-B-D 두 경로 중 하나를 선택할 것이다. 그런데 두 경로의 품질이 동일하므로 둘 중 임의의 한 경로를 선택하여 전송을 할 것이다. 그런데 동일한 품질 척도를 가지는 것으로 보고되었지만 두 경로의 실제 품질이 다를 경우는 어떤 문제가 발생할까? 당연하지만 최적의 경로를 선택하지 못할 수 있고 결과적으로 최적 경로를 선택했을 때보다 전송 성능이 떨어질 수 있다.

우리는 그림 1과 같은 구조의 네트워크를 구성하고 기존 연구에서 제안한 방법으로 링크의 기본 품질 척도인 PDR을 구하였다. 그리고 네트워크 전송 용량 평가 도구인 IPerf를 이용하여 두 경로의 실제 전송 용량을 측정하였다. 표 1은 그 결과를 정리한 것인데 그림 1과 같이 두 경로의 PDR 값은 거의 동일하지만 실제 두 경로의 전송 용량에는 상당한 차이가 발생하였다.

링크 품질 척도가 이 예와 같이 실제 링크의 품질을 제대로 반영하지 못하는 상황이 발생하는 것은 PDR, ETX, ETT 등의 척도 개념이 잘못된 것이 아니라 이를 실현하는 과정의 구체적 방법론에 기인한다. 제시된 품질 척도 개념들이 이론적으로 타당하지만 실제 이를 실현하는 과정에는 다양한 현실적 문제가 발생한다. 표준에서도 품질 척도는 정의 하지만 이를 어떻게 구현할지는 표준의 범위 밖으로 규정하고 있다.

기존 연구들에서 제안된 링크 품질 측정 방법들은 주로 주기적인 브로드캐스트 프레임의 전송을 활용하는 BAP(Broadcast Active Probing)^[2-5] 기법을 따르고 있다. BAP는 브로드캐스트의 특성을 활용하여 하나의 프레임으로 다수 링크의 품질을 동시에 평가할 수 있는 장점이 있다. 그런데 기존 연구들은 BAP 적용 과정에서 무선랜의 다중 전송률 특성을 충분히 고려하지 못했다. 품질 측정을 위한 브로드캐스트 프레임의 전송률과 실제 데이터 전송에 쓰이는 전송률이 다른 경우가 많고 이로 인해 측정된 품질 정보와 실제



PDR : Packet Delivery Ratio
 ETX = 1/PDR, ETT = ETX · (O + B_i / r)
 O : Overhead (Protocol + Channel access Overhead)
 B_i : Frame Size, r : Transmission Rate
 O : 500 μ s, B_i : 1200bytes, r : 12Mbps

그림 1. PDR, ETX, ETT의 관계

표 1. 링크 품질 측정의 부정확성 예

| 경로 | 링크1 PDR | 링크2 PDR | 실제 전송용량 |
|-------|------------|------------|----------|
| S-A-D | S-A : 0.97 | A-D : 0.99 | 33.2Mbps |
| S-B-D | S-B : 0.98 | B-D : 0.99 | 17.6Mbps |

데이터 전송 시의 링크 품질 사이에 상당한 차이가 발생할 수 있다.

링크 품질 측정 시에 무선랜의 다중 전송률 특성 고려가 필요하다는 문제 의식은 기존 연구⁷⁾를 통해 이미 제시되었다. [7]에서는 이를 해결하기 위해 브로드캐스트 대신 유니캐스트 프레임 사용하는 UAP (Unicast Active Probing) 접근을 택했다. 그러나 UAP는 링크마다 별도의 프레임이 필요하기 때문에 BAP에 비해 측정 비용이 크게 증가하는 문제가 있다. 뿐만 아니라 링크 계층 재전송 효과를 반영하기 어려워 정확한 품질 측정이 어려운 단점도 있다.

본 논문은 MBAP(Multi-rate Broadcast based Active Probing)라는 다중 전송률 반영을 위한 새로운 링크 품질 측정 방법을 제안한다. MBAP의 기본 아이디어는 단순하다. 품질 측정을 위한 브로드캐스트 프레임을 단일 전송률이 아닌 실제 데이터 전송에 쓰일 수 있는 여러 다양한 전송률로 전송하는 것이다. 아이디어는 단순하여도 이를 실제 시스템에서 실현하는 작업은 단순하지 않다. 예를 들어 MBAP를 위해 브로드캐스트 프레임의 전송률을 임의로 조정하여야 하는데 응용 계층 프로그래밍만으로는 이를 실현할 수 없다.

우리는 제안하는 MBAP를 리눅스 기반 임베디드 시스템에서 디바이스 드라이버 수정을 포함한 커널 수준 프로그래밍을 통해 구현하였다. 아의 실험망을 구성하고 BAP, UAP와 같은 기존 방법과 MBAP를 비교하였다. 실험 결과 MBAP는 기존 품질 측정 방법에 비해 실제 데이터 전송 품질을 보다 잘 반영함을 확인하였다.

II. 관련 연구

무선 링크 품질 측정 방법은 몇 가지 기준으로 분류할 수 있다. 먼저 품질 측정을 위해 별도의 프레임을 전송하는지 여부에 따라 능동형과 수동형으로 구분할 수 있다. 능동형은 품질 측정을 위해 주기적으로 프레임을 발생시키고 이 프레임의 전송 상황을 관찰한다. 이에 비해 수동형은 사용자의 필요로 발생하는 데이터 프레임의 전송 상황을 관찰하여 정보를 수집한다. 능동형은 수동형에 비해 원하는 시점에 보다 정확한 품질 측정이 가능하지만 별도 프레임 전송에 따른 부하가 단점이다. 능동형과 수동형을 결합한 Hybrid 방식을 제안한 연구는 있지만⁷⁾ 순수 수동형 링크 품질 측정 방법을 제안한 연구는 찾기 어렵다.

앞서 설명하였듯 링크 품질 측정을 위한 일반적 방법은 능동적으로 품질 측정 프레임을 전송하는 것이

다. 그런데 전송하는 프레임이 브로드캐스트인지 유니캐스트인지에 따라 BAP와 UAP로 구분할 수 있다. BAP는 하나의 프레임으로 여러 링크를 평가할 수 있어서 UAP에 비해 측정 부하가 낮다. 그러나 단일 전송률에 기반한 BAP는 다중 전송률 특성 반영이 어려운 한계가 있다.

무선 링크 품질 측정 방법을 구분하고 이해하는데 있어 간과해서 안 될 중요 기준은 품질 측정 기능을 구현한 계층이다. 기존 연구들은 대부분 네트워크 계층에서 링크 품질 측정 기능을 구현하였다. 이러한 접근은 구현이 쉬운 장점은 있지만 링크 계층 종속적인 인자의 조정이나 상태 정보의 확인 등이 가능하지 않아 정확한 링크 품질 측정이 어려운 한계가 있다.

링크 계층 종속적인 인자 조정의 필요성은 BAP의 단일 전송률 문제에서 잘 드러난다. 유니캐스트 프레임은 해당 링크의 가용 전송률 중 ARF, AARF 등의 자동 전송률 조정 알고리즘으로 구현된 최적 전송률로 전송된다⁸⁾. 이에 비해 BAP의 브로드캐스트 프레임은 해당 링크의 최저 전송률로 고정되어 전송된다. 브로드캐스트 프레임 전송률을 네트워크 계층에서 조정할 수 없으므로 단일 전송률 문제의 해결이 어렵다.

링크 계층 종속적인 상태 정보 확인의 필요성은 ETT 계산 등에서 잘 드러난다. ETT를 구하기 위해서는 현재 링크의 전송률을 알아야 하며 이를 위해 자동 전송률 조정 알고리즘이 유지하고 있는 현재 전송률 값을 얻어 와야 한다. 이를 위해 링크 계층 상태 정보 값을 얻을 수 있는 링크 계층 종속적 API 함수의 이해 및 활용이 필요하다.

네트워크 계층 구현에 따른 링크 계층 종속적인 정보 확인 어려움은 UAP에도 문제를 일으킨다. 유니캐스트 프레임은 실제 데이터 전송에 사용하는 전송률을 사용하므로 다중 전송률 문제를 해결하는 대안이 될 수 있음은 이미 언급하였다. 그런데 UAP를 사용하면 MAC 계층 재전송 특성을 반영하기 어렵고 이로

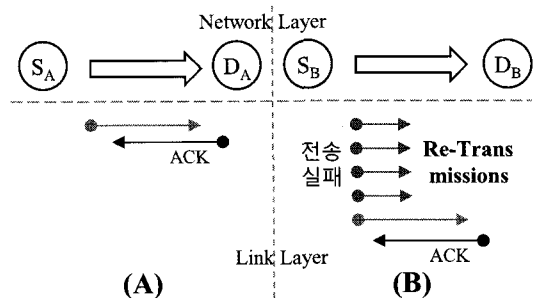


그림 2. 링크 계층 재전송과 UAP의 한계

인해 정확한 링크 품질 측정이 어렵다. 즉 그림 2의 (B)에 표현하였듯이 무선랜은 전송 실패 시 링크 계층 재전송을 수행한다. 그런데 네트워크 계층에서는 프레임의 전송과정에서 발생하는 재전송 횟수는 커녕 재전송 발생 여부도 확인하기 어렵다. 즉 그림 2의 (A)와 (B)는 분명히 링크 품질에 차이가 나지만 네트워크 계층 UAP로 측정하면 그 차이를 알기 어렵다.

링크 계층 재전송으로 인한 UAP의 한계는 실험을 통해서도 확인되었다. 그림 2와 같이 송신자와 수신자로 이루어진 간단한 실험망을 구성하고 UDP를 주기적으로 전송하여 그 손실률을 측정해 보았다. 인접 채널 간섭 효과를 이용하여 (A)와 (B) 상황을 실현해 보았다. 즉 (A)는 주변에 아무런 간섭 요인이 없게 하고 (B)는 주변에 간섭 트래픽을 발생시켰다. 그런데 두 경우 모두 UDP 패킷 유실은 발생하지 않았으며 패킷 전송에 쓰인 전송률도 동일하였다. 즉 UAP로 측정할 PDR, ETX, ETT 값이 동일하다. 그런데 실제 IPPerf 성능 측정 결과를 보면 (B)가 (A)에 비해 크게 떨어지며, 무선 캡처 도구로 확인해도 (A)에 비해 (B)에서 훨씬 많은 재전송 프레임을 확인할 수 있었다. 즉 UAP를 사용하여도 링크 계층 재전송 특성을 반영하지 못하여 정확한 링크 품질 측정에 한계가 있음을 확인하였다.

UAP의 다른 한계로는 링크의 비대칭성을 찾아내기 어려운 점이다. BAP는 한 무선 링크의 양방향으로 각각 프레임을 전송하고 방향 별 PDR 등을 측정하여 비대칭성을 찾아 낼 수 있다. UAP는 특정 방향으로 전송한 프레임의 전송 성공 여부에 역방향의 ACK 프레임 전송까지 결부되어 있기 때문에 비대칭 링크 환경에서 전송이 실패할 경우 두 방향 중 어느 것이 원인이었는지 알 수 없다.

UAP를 링크 계층에서 구현하면 재전송 관련 정보를 구해 링크 계층 재전송 특성을 반영하고, ACK 송, 수신 상황 분석을 통해 링크 비대칭성도 알아낼 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 그런데 Madwifi라는 학계에서 널리 쓰이며, 본 연구에서도 활용한 개방형 무선랜 디바이스 드라이버에서는 해당 작업이 용이하지 않았다. 즉 통계 정보 API로 누적 재전송 횟수 등은 확인할 수 있으나 프레임 별로 세부적 재전송 정보를 확인하는 방법은 찾지 못했다. 따라서 최소한 Madwifi 기반 시스템에서는 링크 계층에서 UAP를 구현하더라도 앞서 지적한 한계를 극복하는 것이 쉽지 않다.

본 연구는 UAP의 한계를 고려하여 BAP에 기초한 링크 품질 측정 기능을 구현하되 링크 계층 구현

의 강점을 활용하여 BAP의 다중 전송률 문제를 해결하였다.

III. 무선 매쉬망 링크 품질 측정을 위한 시스템 설계 및 구현

3.1 MBAP 시스템의 구조

그림 3은 MBAP 시스템의 구조를 그린 것이다. MBAP 시스템은 링크 품질 측정과 관리를 위해 LIM(Link Information Management)이라는 브로드캐스트 프레임의 전송을 사용한다. MBAP 시스템을 구성하는 모듈은 다음과 같다.

- Link State Table: 링크 품질 정보를 담고 있는 데이터베이스이다.
- Link Manager: LIM 프레임을 주기적으로 전송, 수신하여 품질을 측정하고 결과를 Link State Table에 저장한다.
- Rate Selection: MBAP 부하를 줄이기 위해 전송률을 선택하는 기능을 수행한다.
- Task Timer: LIM 프레임 전송 주기나, PDR 등의 링크 품질 계산 주기를 관리한다.
- Rate Manager: Madwifi 드라이버에서 구현한 기능으로 LIM 브로드캐스트 프레임의 전송률을 조정하고 전송률 값을 구하는 역할을 수행한다.

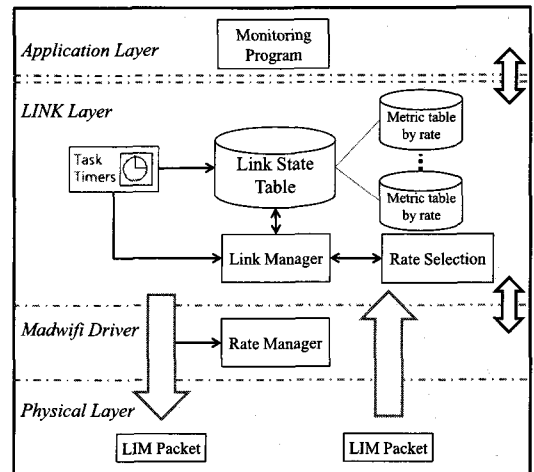


그림 3. MBAP 시스템의 구조

3.2 MBAP 부하 감소 위한 전송률 선택 방법

표 2는 IEEE 802.11 a,b,g의 지원 전송률을 정리한 것이다. MBAP에서 다중 전송률 지원을 위해 가능한 모든 전송률에 대해 링크 품질을 측정하려 할 경우 그

표 2. IEEE 802.11 a/b/g의 지원 데이터 전송률

| Type | 지원 데이터 전송률 (Mbps) |
|---------|---|
| 802.11a | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 |
| 802.11b | 1, 2, 5.5, 11 |
| 802.11g | 1, 2, 5.5, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 |

측정 부하가 BAP에 비해 크게 늘어난다. 예를 들어 802.11a에서 품질 측정을 위해 전송률 별로 1000 Byte 길이의 측정 프레임은 초당 10개씩 발생시킨다 고 하자. BAP의 경우 최저 전송률인 6Mbps만 측정하면 되고 이를 위해 약 13.3ms (=10×1000×8/6Mbps) 동안 무선 자원을 점유하여 사용하여야 한다. MBAP에서 6Mbps에서 54Mbps까지의 8가지 전송률 모두에 대해 측정할 경우는 42.0ms로 BAP에 비해 세 배 이상의 무선 자원을 소모한다. 물론 발생시키는 프레임의 수는 BAP의 8배가 된다. 다양한 전송률을 사용하여도 시간 당 프레임 수를 BAP와 같이 유지할 수도 있겠지만 이 경우 개별 전송률에 대한 품질 측정에 소요되는 시간이 늘어나고 품질 변화에 둔감해지는 문제가 발생한다.

다중 전송률 지원에 따른 측정 부하 증가는 MBAP에서 해결하여야 할 중요 문제이다. 부하 감소를 위한 핵심 아이디어는 데이터 전송에 실제 사용될 가능성이 낮은 전송률들을 측정 대상에서 제외하는 것이다. 이를 위해 신호대비잡음비, 즉 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 값을 이용하는 방법과 자동 전송률 조정 알고리즘 값을 이용하는 방법을 제시한다.

SNR 값을 이용하기 위해서는 사용하는 무선랜 카드의 수신감도(Receiver Sensitivity) 제한 값을 이용한다. 예를 들어 우리가 사용한 Atheros 사의 칩셋을 사용하는 무선랜 카드는 전송률 별로 그림 4의 표와 같은 제한 값을 가진다. MBAP는 이웃 노드들이 보내는 프레임의 수신 감도를 측정하여 이를 Link State

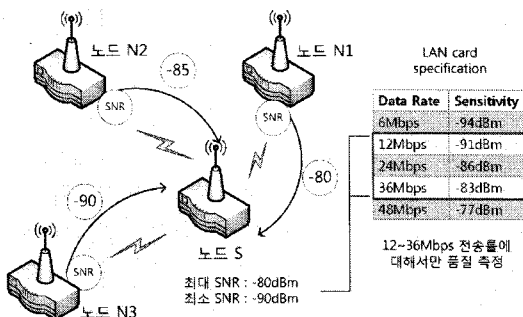


그림 4. 이웃 노드의 SNR을 이용한 전송률 선택 예

Table에 저장한다. 이웃 노드들의 수신 감도 값과 무선랜 카드의 수신 감도 제한 값을 이용하면 실제 사용될 가능성이 높은 전송률들을 예측할 수 있다.

예를 들어 그림 4와 같이 어떤 메쉬 노드 S 주변에 N1, N2, N3의 세 개의 이웃 노드가 있고 이들의 SNR이 각각 -80dBm, -85dBm, -90dBm 이라고 가정하자. 수신 감도 제한 값 표에 따르면 S는 N1과 최고 36Mbps, N2와는 24Mbps, N3와는 12Mbps의 전송률로 통신할 것으로 예상된다. 예상 전송률의 최대, 최소 값을 기준으로 측정 대상 전송률을 정할 수 있다. 즉 최대 값인 36Mbps를 넘는 48과 54Mbps, 그리고 최소 값인 12Mbps에 미치지 않는 9와 6Mbps를 제외한 나머지 전송률들에 링크 품질을 측정하는 것이다. 이렇게 하면 링크 품질 측정 부하를 크게 줄일 수 있다. 특히 최저 전송률인 6Mbps에 대한 품질 측정을 제외할 수 있을 경우 무선 자원 점유 시간을 기준으로 는 오히려 BAP에 비해 측정 부하가 적을 수도 있다.

그런데 일부 환경에서는 SNR은 높지만 실제 전송률이 예측 값에 미치지 못하는 경우가 있다. 이는 실제 전송률을 결정하는 자동 전송률 조정 알고리즘에서 정한 값이 SNR로 예측한 값과 차이가 나기 때문이다. 자동 전송률 조정 알고리즘 중에는 SNR을 이용하여 전송률을 결정하는 경우도 있지만 실용적으로 많이 쓰이는 것은 PDR을 사용하는 것이다⁸⁾. 즉 일정 구간 동안 PDR을 측정한 후 특정 기준 값을 바탕으로 전송률을 높일지, 유지할지, 감소시킬지를 결정하는 것이다. 따라서 SNR 값이 높아도 PDR이 낮은 환경에서는 실제 전송률 값이 SNR 기반 예측 값보다 낮을 수 있다. 자동 전송률 조정 알고리즘에서 정한 전송률 값이 실제 전송률임을 고려할 때 SNR을 이용하는 것에 비해 자동 전송률 조정 값을 이용하는 것이 보다 합리적이라고 할 수 있다.

우리는 무선랜 디바이스 드라이버 수정을 통해 자동 전송률 조정 알고리즘에서 결정하는 각 이웃 노드별 현재 전송률 값을 구하고 이를 Link State Table에 기록하였다. 그리고 이들 전송률에 대해서만 링크 품질 측정 프레임을 생성시킴으로써 MBAP의 부하를 크게 줄일 수 있었다.

IV. 실험 및 분석

4.1 실험 목적과 구성

MBAP 평가를 위해 그림 5와 같이 3대의 무선 메쉬 노드로 실험망을 구성하였다. 메쉬 노드는 Alix 사의 임베디드 보드에 Pyramid linux kernel 2.6.19와

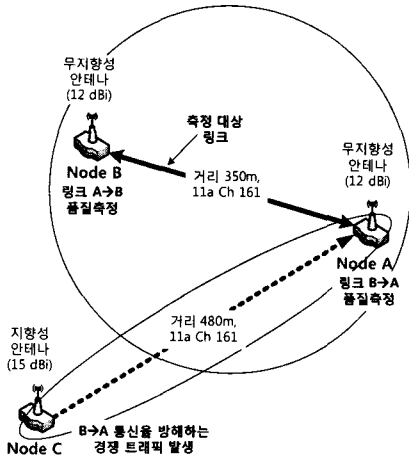


그림 5. MBAP 검증을 위한 실험망 구성

Madwifi 0.9.4를 이용하여 구현하였다. 메쉬 노드간 채널은 주위의 간섭을 최소화하기 위해 802.11a 161번 채널을 사용하였다.

실험 목적은 크게 세 가지이다. 첫째 다중 전송률과 관련한 BAP와 UAP의 한계를 실험을 통해 확인하며 MBAP가 이를 해소할 수 있음을 보이는 것이다. 둘째 MBAP가 무선 링크의 비대칭성을 파악할 수 있음을 확인하는 것이다. 마지막으로 MBAP가 실제 데이터 전송 시의 전송 품질을 보다 정확하게 반영함을 확인하는 것이다.

이 세 가지 실험 목적을 위해 노드의 안테나 구성을 달리하였다. 노드 A와 B는 12dBi 무지향성 안테나를 사용하고 C는 15dBi 지향성 안테나를 사용하였다. 이렇게 구성하면 C를 B에서 A로의 통신에 대한 Hidden Terminal로 동작시킬 수 있고 이를 통해 무선 링크의 비대칭성 및 링크 품질 변화 등을 실현하고 제어할 수 있다.

4.2. 실험 결과와 분석

실험에서 품질 측정 대상 링크는 A와 B사이의 링크이다. 품질 측정은 A와 B에서 각각 이루어지며 A는 B-A 링크를, B는 A-B 링크의 품질을 측정한다. C는 A에서 간섭을 일으킬 수 있는 트래픽을 발생시킨다.

그림 6은 B에서 BAP, UAP, MBAP로 측정된 A-B 링크의 PDR 값들을, 그림 7은 A에서 동일하게 측정된 B-A 링크의 PDR 값들을 나타낸 것이다. 실험은 30분간 수행하였고 매 1분마다 그때의 PDR 값을 나타내었다.

BAP와 UAP 결과는 측정 결과에 따른 선 그래프가 하나이지만 MBAP는 여럿이다. 이는 전송률에 따

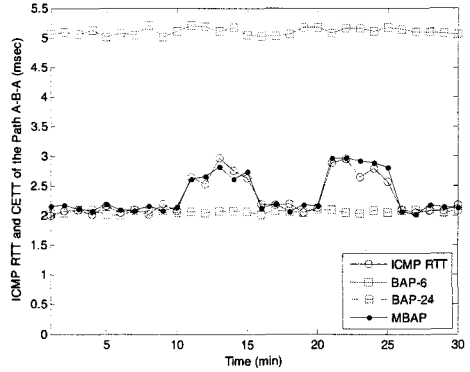


그림 6. 링크 A-B에 대한 BAP, UAP, MBAP의 PDR

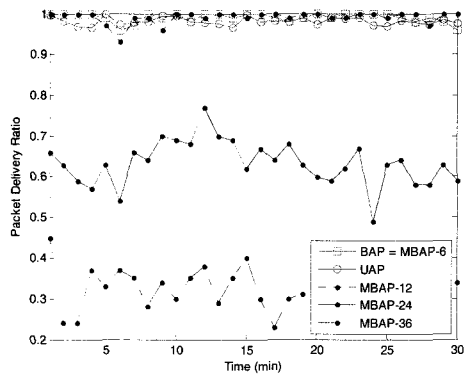


그림 7. 링크 B-A에 대한 BAP, UAP, MBAP의 PDR

른 링크 품질 차이를 드러내기 위해 가능한 여러 전송률에 대해 품질을 측정하였기 때문이다. BAP는 UDP 브로드캐스트를 이용하여 구현하였고 UAP는 UDP 유니캐스트를 이용하여 구현하였다.

BAP의 결과를 먼저 살펴보면 A-B 링크나 B-A 링크 모두 PDR 값이 거의 1로 동일하다. 그러나 MBAP 결과에서 확인할 수 있듯이 B-A 링크는 24Mbps 이상의 전송률에 대해 A-B 링크와 달리 PDR이 크게 떨어지며 구별되는 특성을 가지고 있다. BAP는 다양한 전송률에 대한 특성 파악이 어렵고 이로 인해 링크 비대칭성도 파악하기 어려울 수 있음을 확인할 수 있다.

UAP 결과도 BAP와 같이 양 방향의 PDR이 거의 1로 동일하다. 따라서 링크 비대칭성을 파악하기 힘들다. 그런데 UAP의 경우 BAP와 달리 최저 전송률이 아닌 실제 데이터 전송에 쓰이는 전송률로 품질을 평가할 수 있음은 이미 언급하였다. UAP의 전송률을 확인하기 위하여 무선 캡처 도구로 무선랜 헤더를 분석하여 전송률을 확인하였다. 그 결과 B-A 링크의 UAP 전송률이 24Mbps였다. 그런데 이를 MBAP의 24Mbps PDR 값 (평균 약 0.65)과 비교하면 상당히

높음을 확인할 수 있다. 이는 유니캐스트 프레임에 대한 링크 수준 재전송의 영향에 따른 것이다. 즉 실제 24Mbps 전송률로 프레임을 전송하면 약 20% 수준의 유실이 발생하지만 링크 수준 재전송을 통해 재전송 제한 값 내에 거의 100% 전송되었기 때문이다. 이는 UAP로 실제 데이터 전송에 쓰이는 전송률로 링크 품질을 측정할 수는 있지만 MAC 수준 재전송으로 인해 실제 링크의 품질을 정확하게 측정하지 못하는 한계가 있음을 보여준다.

이에 비해 MBAP는 링크 비대칭성 파악도 용이하며 UAP와 달리 브로드캐스트를 사용함으로써 MAC 수준 재전송 효과를 제거한 보다 정확한 링크 품질을 측정할 수 있는 장점이 있음을 확인할 수 있다.

마지막으로 MBAP가 링크 상태 변화에 대응하여 실제 데이터 전송 시의 전송 품질을 보다 정확하게 반영하고 예측할 수 있음을 검증하는 실험에 대해 설명한다. 이 실험을 위해 Ping 응용을 이용하여 A에서 B로 1500 Byte 길이의 ICMP 메시지를 지속적으로 발생시키고 그 RTT를 측정하였다. 링크 상태 변화를 만들기 위해 C의 간섭 트래픽을 실험 시작 후 10분과 20분에 5분씩 발생시켰다.

MBAP를 이용하여 A-B, B-A 링크의 ETT를 구하고 이를 더해 A-B-A 경로의 CETT를 구하였다. 비교를 위해 BAP를 이용한 CETT도 구하였다. BAP에서 ETT 계산을 위한 전송 속도로 6Mbps 또는 24Mbps로 가정하여 BAP-6, BAP-24로 각각 구하였다. 그림 8은 그 결과인데 MBAP가 링크 상태 변화에 잘 대응하면서 실제 데이터 전송의 특성을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있다.

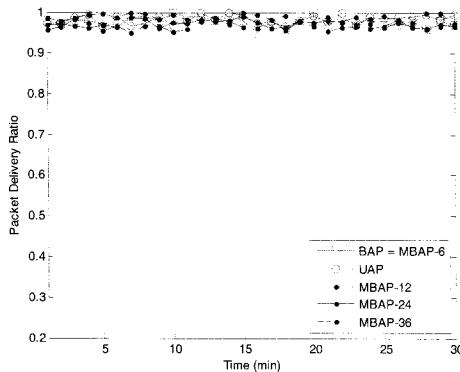


그림 8. MBAP 측정 CETT와 ICMP RTT값 비교

VII. 결 론

링크 품질 측정의 정확성 향상은 무선랜 메쉬 네트워크에서 안정적이고 높은 대역폭의 전송 경로를 찾기 위해 필수적인 요소이다. 그런데 링크 품질 측정을 위해 기존 연구에서 제안된 BAP와 UAP와 같은 방법들은 무선랜 링크의 다중 전송률 특성이나 링크 수준 재전송 특성 등을 제대로 파악하기 힘들고 이로 인해 링크 품질 측정의 정확성에 한계가 있음을 본 논문에서 보였다.

우리는 다중 전송률 브로드캐스트를 이용하여 기존 방법들의 한계를 극복하는 MBAP를 제안하였다. 이론적 측면에서만 보면 MBAP는 간단한 아이디어지만 이를 실제 시스템으로 실현하는 것은 단순하지 않다. MBAP 실험을 위해 무선랜 디바이스 드라이버 수정을 포함한 까다로운 커널 수준 프로그래밍이 필요하다. MBAP는 품질 측정의 정확도는 높지만 측정 부하가 높아지는 문제가 있다. 우리는 SNR 또는 자동 전송률 조정 알고리즘의 전송률 값을 활용하여 측정 대상 전송률을 줄이는 방안을 제시하였다. 환경에 따라 달라지지만 이를 적용하면 BAP 수준에 가깝게 MBAP의 부하를 줄일 수 있다.

MBAP를 적용하여 구현한 임베디드 시스템 형태의 메쉬 노드들로 수행한 야외 실험 결과를 통해 MBAP가 BAP, UAP에 비해 무선 랜 링크의 특성을 보다 정확하게 반영하고 예측할 수 있음을 실증적으로 확인하였다.

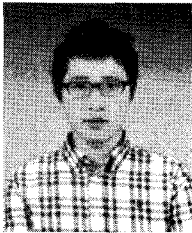
참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz and X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," IEEE Radio Communications, 2005.
- [2] C. E. Koksal and H. Balakrishnan, "Quality-Aware Routing Metrics For Time-Varying Wireless Mesh Networks," IEEE JSAC, vol. 24, no. 11, pp. 1984 - 94, Nov. 2006,
- [3] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," ACM MobiCom, pp. 114 - 28, Sep. 2004.
- [4] D. S. D. Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris. "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing," In Proceedings of

- ACM MobiCom, San Diego, CA, Sep. 2003.
- [5] D. Passos et al., "Mesh Network Performance Measurements," Int'l. Info. and Telecommun. Technologies Symp., Dec. 2006.
 - [6] IEEE 802.11s/D1.06, Wireless LAN MAC and PHY specification : Amendment - Mesh Networking, July 2007.
 - [7] K. S. K. Kim, "On accurate measurement of link quality in multi-hop wireless mesh networks," in Proc. ACM Mobicom'06, Los Angeles, CA, USA, pp. 38 - 49, Sep. 2006.
 - [8] M. Lacage, M. Manshaei, and T. Turletti, IEEE 802.11 rate adaptation: a practical approach," in Proc. MSWiM '04, 2004.

이 덕 환 (Duck-hwan Lee)

준회원



2009년 2월 부산대학교 전자전
기정보컴퓨터공학부 졸업
2009년 3월~현재 부산대학교
컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 무선통신, 라우팅

양 승 철 (Seung-Chur Yang)

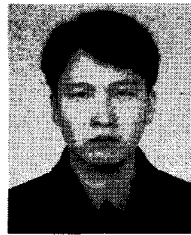
정회원



2006년 2월 부산가톨릭대학교
컴퓨터정보공학 졸업
2008년 8월 부산대학교 컴퓨터
공학과 석사
2008년 9월~현재 부산대학교
컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 무선통신, 라우팅

김 중 덕 (Jong-Deok Kim)

종신회원



1994년 2월 서울대학교 계산통
계학과 졸업
1996년 2월 서울대학교 전산과
학과 석사
2003년 2월 서울대학교 컴퓨터
공학과 박사
2004년 2월~현재 부산대학교
정보컴퓨터공학부 조교수

<관심분야> 무선통신, 라우팅