

# IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템 설계 및 성능 평가

주 광 성\*, 정 광 수<sup>o</sup>

## Design and Performance Evaluation of Wireless Ad-Hoc Network System based on IEEE 802.16j MMR

Kwangsung Ju\*, Kwangsue Chung<sup>o</sup>

### 요 약

무선 애드 혹 네트워크는 단말의 이동으로 인해 패킷 손실과 전송 지연이 빈번하게 발생하며, 네트워크의 전송 홉 수가 증가할수록 처리율 저하는 더욱 심각해진다. 본 논문에서는 애드 혹 네트워크 성능을 향상시키기 위하여 IEEE 802.16j MMR (Mobile Multi-hop Relay) 기반 애드 혹 네트워크 시스템을 제안한다. 제안하는 무선 애드 혹 네트워크 시스템은 효율적인 데이터 전송을 위하여 Nearest BS와 Farthest BS 스케줄링 방식을 적응적으로 사용하며, 데이터 손실과 전송 지연을 최소화하기 위한 경로를 선택한다. 제안한 무선 애드 혹 네트워크 시스템의 성능 분석을 위하여 NS-2 시뮬레이터의 LWX (Light Wimax) 모델을 수정하여 제안하는 시스템을 구현하였으며, 실험을 통해 다양한 시나리오에 대한 네트워크 성능을 분석하였다.

**Key Words** : IEEE 802.16j MMR, Multi-hop Relay, 애드 혹 네트워크

### ABSTRACT

In wireless ad hoc networks, packet loss and latency are frequently occurred by movement of node. As the number of transmission hops increases in these networks, the throughput is increasingly deteriorated. In this paper, we design the wireless ad hoc network system based on IEEE 802.16j MMR (Mobile Multi-hop Relay), which improves the network performance. Our wireless ad hoc network system used adaptively the nearest BS and Farthest BS scheduling algorithms for efficient data transmission and chose the optimal path that minimize data loss and latency. In order to evaluate performance of the wireless ad hoc network system based on IEEE 802.16j MMR, we used the LWX (Light Wimax) model of NS-2 simulator. Through the simulation, we analyzed the network performance for various scenarios.

### I. 서 론

무선 애드 혹 네트워크는 통신 단말 간 자유롭게 네트워크를 구성할 수 있으며, 빠르고 유연하게 네트워크를 확장할 수 있다. 무선 애드 혹 네트워크를 구성하는 통신 단말들은 이동 컴퓨팅 기능을 가진

호스트와 라우팅 기능을 가진 라우터를 동시에 만족하는 특성을 가진다. 따라서 무선 애드 혹 네트워크는 관리가 용이하며, 유연하게 영역 및 용량을 확장할 수 있는 기능을 제공하는 장점이 있다<sup>1)</sup>. 이러한 장점으로 인하여 무선 애드 혹 네트워크는 차세대 무선 네트워크를 위한 주요 기술로서 각광받고

※ 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 결과임.

♦ 주저자 : 광운대학교 전자통신공학과 컴퓨터통신 연구실, ksju@cclab.kw.ac.kr, 준회원

° 교신저자 : 광운대학교 전자통신공학과 교수, kchung@kw.ac.kr, 종신회원

\* 논문번호 : KICS2012-04-189, 접수일자 : 2012년 4월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 8월 27일

있으며, 무선 애드 혹 네트워크와 관련된 많은 연구가 진행되었다.

최근 무선 애드 혹 네트워크 환경과 유사한 메쉬 네트워크 분야에서 IEEE 802.16 기술을 적용한 연구가 진행되었으며, 기존 연구들은 메쉬 네트워크에서의 전송 성능을 개선할 수 있었다<sup>2-4)</sup>. 무선 메쉬 네트워크에서는 토폴로지 형태와 멀티 홉 전송 방식에서 무선 애드 혹 네트워크와 유사한 특징을 가진다. 하지만, 무선 메쉬 네트워크에서의 라우터는 특정 환경에서만 이동성을 지원하는 제한성을 가진다. 또한 무선 메쉬 네트워크에서의 라우터는 데이터를 전달하는 기능만을 수행하고, 각각의 통신 단말들에게 네트워크 접속 서비스를 제공하는 무선 백본 네트워크로 활용된다는 점에서 무선 애드 혹 네트워크와는 다른 특성을 가진다. 그러므로 무선 메쉬 네트워크에서 제안된 기존의 기법들은 무선 애드 혹 네트워크에서 적용할 수 없다. 따라서 무선 애드 혹 네트워크에서 IEEE 802.16 기술을 적용하기 위한 새로운 연구가 필요하다.

본 논문에서는 애드 혹 네트워크의 성능을 향상시키기 위하여 IEEE 802.16j MMR (Mobile Multi-hop Relay) 기반 애드 혹 네트워크 시스템을 제안한다. 제안하는 애드 혹 네트워크 시스템에서는 업링크를 통한 데이터 전송 시 Nearest BS (Based Station) 스케줄링 모드를 사용하며, 다운링크를 통한 데이터 전송 시 Farthest BS 스케줄링 모드를 사용함으로써 무선 채널을 효율적으로 사용할 수 있다. 또한, 애드 혹 네트워크에서 데이터 손실과 전송 지연을 최소화하기 위하여 데이터 분산 방식 기반의 경로 설정 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 애드 혹 네트워크 시스템의 성능을 확인하기 위하여 NS-2 시뮬레이터의 LWX(Light Wimax) 모델을 수정하여 실험을 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 IEEE 802.16j MMR 기술과 IEEE 802.16 기반 메쉬 네트워크에서의 경로 설정 기법을 소개하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템의 기법들을 기술하였다. 4장에서는 제안하는 기법의 성능 평가를 기술하였다. 마지막 5장에서는 결론과 향후 연구를 제시하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1. IEEE 802.16j MMR

IEEE 802.16j MMR (Mobile Multi-hop Relay) 기술은 Transparent 모드와 Non-transparent 모드로 구분할 수 있다<sup>5)</sup>. Transparent 모드는 MS (Mobile Station)의 위치가 BS (Base Station) 영역 내에 있지만 낮은 신호 품질 때문에 전송 품질이 낮은 경우에 사용되며, RS (Relay Station)를 통해 데이터 채널을 증폭하여 사용자의 데이터 처리율을 향상시키는 것이 목적이다. 이 모드는 RS와 MS 사이의 링크를 BS가 직접 제어하는 방식으로 중앙집중식 (Centralized) 기반의 전송 모드이다. 그림 1은 IEEE 802.16j MMR Transparent 모드에서의 전송 방식을 나타낸다.

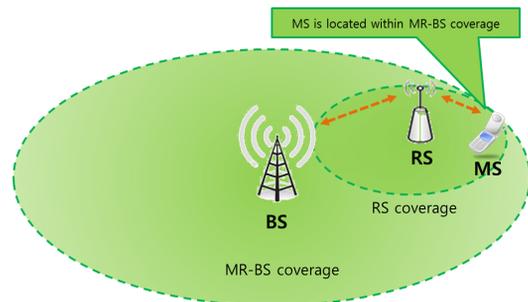


그림 1. IEEE 802.16j MMR Transparent 모드에서의 전송 방식  
Fig. 1. IEEE 802.16j MMR Transparent of transmission method

Non-transparent 모드는 BS영역 밖에 위치한 MS에게 서비스를 제공하기 위하여 RS에서 제어 채널과 트래픽 채널을 중계하여 MS와 BS간의 통신이 가능하도록 지원하는 전송 모드이다. 이 모드에서 RS는 초기 망 진입과 레인징 (Ranging) 과정을 수행한다. Non-transparent 모드는 Transparent 모드와 달리 RS와 MS 사이의 링크를 RS가 직접 제어하는 분산 (Distributed) 기반의 전송 모드이다. 그림 2은 IEEE 802.16j MMR Non-transparent 모드에서의 전송 방식을 나타낸다.

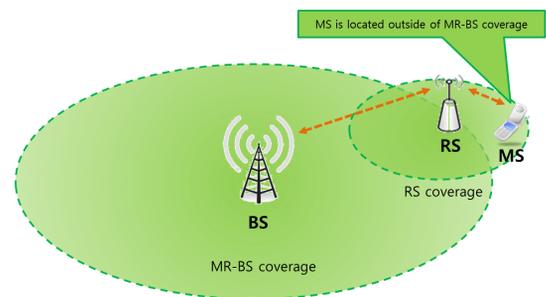


그림 2. IEEE 802.16j MMR Non-transparent 모드에서의 전송 방식  
Fig. 2. IEEE 802.16j MMR Non-transparent mode of transmission method

Non-transparent 모드에서의 데이터 전송 방식은 RS의 최대 전송 홉 수에 따라 구분된다. 그림 3~5는 RS들이 BS에게 데이터를 전송하는 방법을 나타낸다. BS-RS 링크와 RS-MS 링크는 서로 다른 반송파 주파수를 사용하며, 모든 BS와 RS간 정확한 동기화가 필요하다. 그리고 RS는 시간 영역에서 송신 (Transmit), 수신 (Receive), 대기 (Idle) 모드를 교대로 수행한다고 가정한다. 송신 모드는 BS로부터 수신한 데이터를 MS/RS에게 전송하는 경우와 MS/RS로부터 상향링크 신호를 송신하는 모드이다. 수신 모드는 BS로부터 데이터를 수신하는 경우와 MS/RS로부터 데이터를 수신하는 모드이다. 그리고 대기 모드는 간섭으로 인하여 데이터 전송을 대기하는 상태를 의미한다. 만약 임의의 RS가 송신 모드로 진입하여 다른 단말에게 데이터를 전달할 때, 송신 모드로 진입한 RS와 2홉 이내에 존재하는 RS들은 대기 모드로 진입한다.

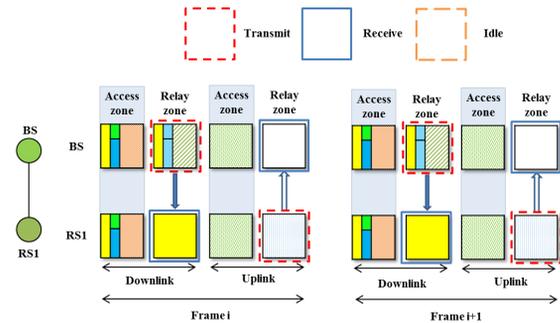


그림 3. 1개의 RS로 구성된 토폴로지에서의 전송 방식  
Fig. 3. A transmission method in topology configured with a single RS

그림 3은 1개의 RS로 구성된 토폴로지에서의 데이터를 전송하는 방식을 나타낸다. RS는 매 프레임마다 데이터를 전송할 수 있으며, 데이터를 전송하는 단말은 송신 모드로, 데이터를 수신하는 단말은 수신 모드로 전환된다.

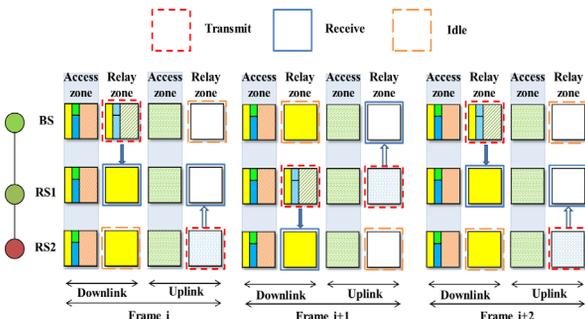


그림 4. 2개의 RS로 구성된 토폴로지에서의 전송 방식  
Fig. 4. A transmission method in topology configured with two RS

그림 4는 2개의 RS로 구성된 토폴로지에서의 데이터를 전송하는 방식을 나타낸다. BS가 RS1으로 데이터를 전송하는  $i$  프레임에서는 간섭의 영향으로 RS2는 대기 상태로 진입하게 된다. 또한,  $i+1$  프레임에서는 RS1이 BS로부터 수신한 데이터를 RS2에게 전송한다. 멀티 홉 환경에서 2개의 RS를 사용하여 데이터를 전송할 경우, 송/수신 모드를 반복하여 데이터를 전송하게 된다. 따라서 각 RS들은 2개의 프레임 주기마다 한번 씩 데이터를 전송할 수 있다.

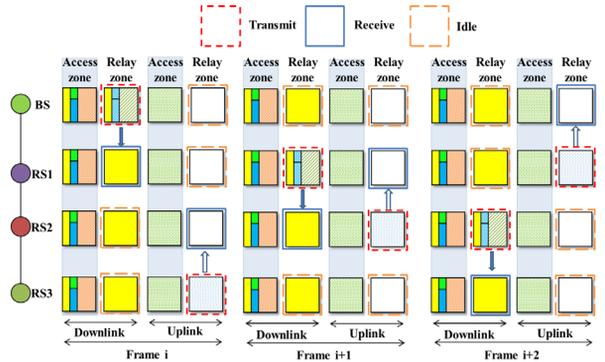


그림 5. 3개의 RS로 구성된 토폴로지에서의 전송 방식  
Fig. 5. A transmission method in topology configured with three RS

그림 5는 3개의 RS로 구성된 토폴로지에서의 데이터를 전송하는 방식을 나타낸다. BS가 RS1으로 데이터를 전송하는  $i$  프레임에서는 간섭의 영향으로 RS2와 RS3은 대기 상태에 진입한다. 또한,  $i+1$  프레임에서는 RS1이 BS로부터 수신한 데이터를 RS2에게 전송한다. 이때 BS와 RS3은 대기 상태에 진입한다. 위와 같은 순서를 반복하여 각 단말들은 데이터를 전송하게 된다. 멀티 홉으로 3개의 RS를 사용하여 데이터를 전송하는 경우에 각 RS는 송신/수신/대기 상태를 반복하여 데이터를 전송하며, 3개의 프레임 주기마다 한번 씩 데이터를 전송할 수 있다.

무선 애드 혹 네트워크 시스템에서 송신 단말이 전송거리 밖에 있는 수신 단말에게 직접적인 통신을 할 수 없는 경우, 이를 해결하기 위하여 릴레이 단말을 통해 멀티 홉 방식으로 데이터를 전달해야 한다. 따라서 본 논문에서는 Non-transparent 모드를 고려하여 무선 애드 혹 네트워크 시스템을 설계하고자 한다.

## 2.2. IEEE 802.16 기반 메쉬 네트워크에서의 경로 설정 기법

무선 애드 혹 네트워크에서 경로 설정 기법을 적용하기 위해서는 IEEE 802.16 기반 메쉬 네트워크에서 기존의 경로 설정 기법들을 먼저 살펴볼 필요

가 있다. IEEE 802.16 기반 메쉬 네트워크에서의 경로 설정 기법들은 채널 간섭 증가에 따른 네트워크 성능 저하 문제를 최소화하여 사용자의 데이터 처리율을 향상시키는 것이 목적이다. 이를 위하여 단말간 간섭 정도를 기반으로 경로를 설정하는 기법과 데이터 분산을 통한 경로 설정 기법에 대한 연구가 진행 되었다<sup>6,7)</sup>.

단말간 간섭 정도를 기반으로 경로를 설정하는 기법은 이웃 단말간 채널의 간섭 정도에 따라 간섭등급 (Interference level)을 부여하며, 이를 기반으로 간섭 등급의 합계가 낮은 경로를 선택하여 데이터를 전송한다. 이 기법에서는 간섭등급에 따라 채널을 효과적으로 사용할 수 있으며, 데이터 처리율을 향상시킬 수 있다<sup>6)</sup>. 하지만, 이 기법은 라우팅 기능을 수행하는 중계 단말들이 고정되어 있으며, 간섭 정도를 구분하는 파라미터가 전송 홉 수로 한정되어 있기 때문에 무선 애드 혹 네트워크 환경에 적용하는데 있어 제한적인 특성을 가진다.

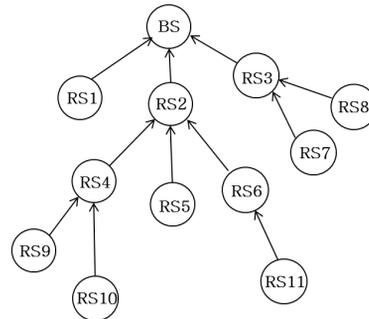
데이터 분산을 통한 경로 설정 기법은 데이터 전송 경로에서의 가용 대역폭을 기반으로 단말의 요구 대역폭을 만족시키는 경로를 동적으로 선택하는 기법이다. 이 기법에서는 네트워크의 가용 대역폭을 효율적으로 사용하여 데이터의 손실 및 전송 지연 문제를 해결하였다<sup>7)</sup>. 무선 애드 혹 네트워크 환경에서는 단말의 이동으로 인해 패킷 손실과 전송 지연이 빈번하게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 무선 애드 혹 네트워크 환경에서는 효율적으로 무선 채널 자원을 활용하여 데이터 손실과 전송 지연을 최소화하여야 한다. 이를 위해 무선 애드 혹 네트워크 시스템에 데이터 분산을 통한 경로 설정 기법을 적용할 필요성이 있다.

### III. IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템의 구조

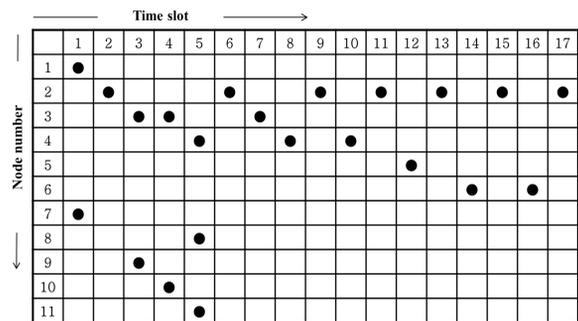
본 논문에서 제안한 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템은 BS가 하위 단말의 대역폭 및 경로 설정을 관리하는 중앙집중식 기반으로 구성되며, 기존 IEEE 802.16j MMR 기술과 달리 MS 단말들은 이동 컴퓨팅 기능을 가진 호스트와 라우팅 기능 수행할 수 있도록 구성하였다. 또한 MS 단말의 자유로운 이동으로 데이터를 전송하기 위한 경로를 주기적으로 구성하며, 멀티 홉 방식으로 BS에게 데이터를 전달한다.

### 3.1. 자원 할당 (Resource allocation)

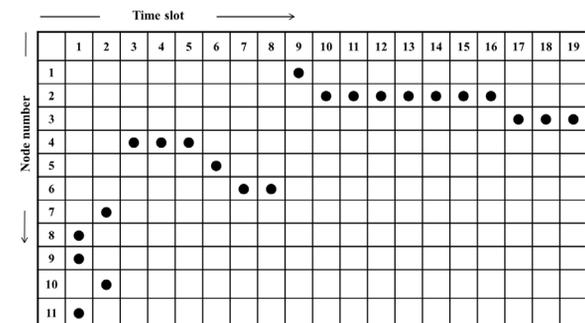
IEEE 802.16j MMR 기반 애드 혹 네트워크 시스템은 네트워크의 자원 할당 기법을 통해 무선 자원 활용률과 전체 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다. 대표적인 자원 할당 기법으로는 Nearest BS 와 Farthest BS 스케줄링 기법이 있다<sup>8)</sup>.



(a) 토폴로지  
(a) Topology



(b) Nearest BS 슬롯 할당 방식  
(b) Nearest BS slot allocation method



(c) Farthest BS 슬롯 할당 방식  
(c) Farthest BS slot allocation method

그림 6. IEEE 802.16j MMR 기반 애드 혹 네트워크에서의 Fig. 6. slot allocation method in wireless ad-hoc network based on IEEE 802.16j MMR

Nearest BS 스케줄링 기법은 BS와 전송 홉 수가 적으며, 이웃 단말과 간섭정도가 적은 단말부터 슬롯을 할당하여 데이터를 우선적으로 전송할 수 있는 우선권을 부여하는 기법이다. Farthest BS 스케줄링 기법은 BS로부터 전송 홉 수가 크고, 이웃 단

말과 간섭 정도가 적은 단말부터 슬롯을 할당 받아 전송 우선순위를 부여하는 스케줄링 기법이다. 그림 6는 Nearest BS와 Farthest BS 스케줄링 기법으로 슬롯을 할당받아 전송 우선순위를 결정하는 방식을 나타낸다.

그림 6 (a)과 같은 토폴로지 환경에서 Nearest BS 기법을 사용하여 데이터를 전송하는 우선순위를 결정할 경우, 그림 6 (b)와 같은 순서로 각 단말은 데이터를 전달하게 된다. Nearest BS 기법은 BS로부터 가까운 단말인 RS1과 간섭이 발생하지 않는 RS7에게 슬롯을 할당하여 우선적으로 전송할 수 있는 기회를 부여한다. 이후 RS2, RS3, RS9 순서로 데이터를 전송하게 되며, 최종적으로 17개의 슬롯을 사용하여 데이터를 전송한다. Farthest BS 기법을 사용하여 데이터를 전송하는 우선순위를 결정할 경우, 그림 6 (c)에서 확인할 수 있듯이 19개의 슬롯을 사용하여 데이터를 전송하게 된다. 프레임이 시작될 경우에 BS와 가장 멀리 떨어져 있는 RS9, RS10, RS11 존재 하지만 RS10과 RS11은 간섭의 영향으로 동시에 데이터를 전송할 수 없다. 따라서 RS9와 RS11을 우선적으로 데이터를 전송하며, 간섭이 없는 RS8을 포함하여 첫 번째 슬롯에서 데이터를 전송하게 된다. 이후 RS10과 RS7을 선택하여 전송하게 되며, BS와 전송 홉 수가 큰 단말을 우선적으로 전송하게 된다.

IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템은 트리 형태로 전송 경로를 구성한다. 각 단말이 BS에게 업링크 데이터를 전송한다면, BS와 인접한 단말은 병목 현상이 발생할 확률이 높다. 따라서 BS와 인접한 단말에게 먼저 슬롯을 할당하여 전송 기회를 부여하는 것이 효율적이다. 이와 반대로 다운링크 데이터일 경우는 Nearest BS 기법으로 슬롯을 할당할 경우와 반대로 Farthest BS 기법으로 슬롯을 할당하여 전송 기회를 부여하는 것으로 무선 자원의 활용률을 높일 수 있다. 제안하는 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템은 업링크로 데이터를 전송하는 상황에서는 Nearest BS 기법을 사용하며, 다운링크로 데이터를 전송하는 상황에서는 Farthest BS 기법을 사용하여 데이터를 전송한다.

### 3.2. 단말 탐색 및 전송 경로 설정

무선 애드 혹 네트워크는 단말의 자유로운 이동으로 인하여 지속적으로 이웃 단말을 탐색하고, 전송 경로를 설정해야 한다. 이러한 단말의 이동성을

지원하기 위해 제안한 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템은 초기 경로 설정을 위하여 BFS (Breadth-First Search) 기법을 사용하여 이웃 단말을 탐색하고 전송 가능한 경로를 구성한다<sup>9)</sup>. 그림 7은 BFS 기법을 사용하여 단말을 탐색하는 과정을 나타낸다.

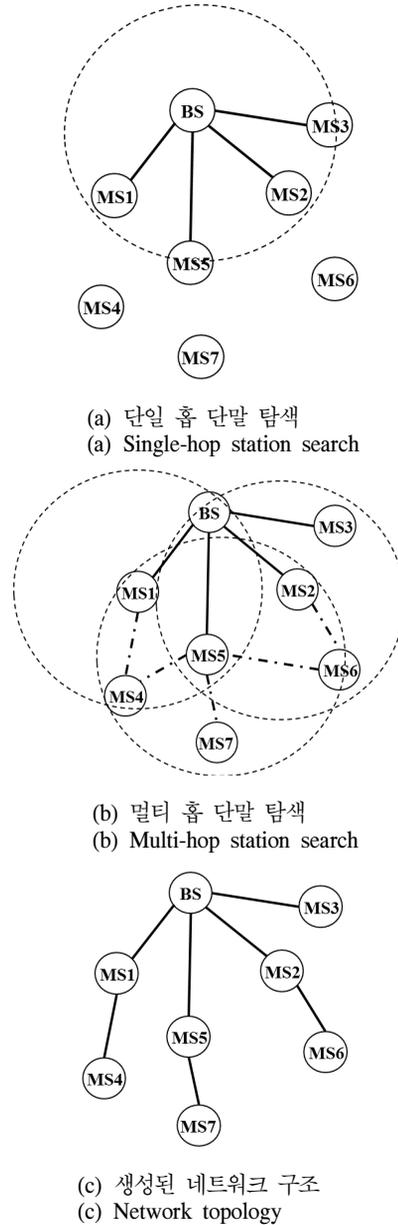


그림 7. BFS 알고리즘을 이용한 단말 탐색 과정  
Fig. 7. Search procedure using BFS algorithm

BFS 기법은 BS에서 시작하여 네트워크의 단말을 탐색하는 알고리즘으로서 각 단말들의 비콘 메시지를 통하여 그림 7 (a)와 같이 BS와 단일 홉으로 구성 가능한 MS1, MS2, MS3, MS4 단말을 연결한다. BS와 연결된 MS1, MS2, MS3, MS4 단말들은 그림 7 (b)와 같이 순차적으로 하위 단말인

MS5, MS6, MS7을 탐색하여 신호 세기가 높은 단말을 자신의 하위 단말로 선정하여 경로를 설정한다. 설정된 경로를 통해 단말들의 정보를 BS에 전달하며, 수신한 단말들의 정보를 통해 그림 7 (c)와 같이 BS는 네트워크 구조를 생성한다.

단말의 이동 및 무선 채널 상태 변화로 전송 경로를 재설정하기 위하여 BS는 하위 단말들에 대한 정보의 업데이트가 필요하다. 따라서 각 단말들은 자신의 정보와 이웃 단말의 정보를 주기적으로 BS에게 전송해야 하며, BS는 전달 받은 각 단말의 정보를 통하여 사용 가능한 경로를 결정하고, 이를 하위 단말들에게 전달한다. 이를 위해 각 단말은 자신의 정보와 상위 단말의 정보를 브로드캐스트하여 주기적으로 이웃 단말들과 정보를 공유 및 수집한다. 수집된 정보를 BS에게 전송하며, BS는 각 단말이 전송한 단말들의 정보를 기반으로 전송 경로를 재설정하도록 한다.

무선 애드 혹 네트워크에서는 전송 경로를 설정하기 위해 일반적으로 최단 전송 홉 수를 가지는 경로를 선택하거나 신호품질이 높은 단말을 선택하여 전송 경로를 설정한다. 하지만 이와 같은 기법들은 다수의 단말들이 같은 경로를 선택하여 네트워크 혼잡 상황을 유발하거나 가중시키는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 가용 자원 기반 경로 설정 기법을 제안한다. 일반적으로 각 단말이 사용 가능한 대역폭보다 많은 데이터를 전송하면 네트워크 혼잡 상태가 되어 BS에서 수신할 수 있는 데이터양이 감소하고 전송 지연이 증가하게 된다. 반대로 각 단말이 사용 가능한 대역폭보다 적은 데이터를 전송한다면 네트워크 혼잡 상태에 비해 BS에서 수신할 수 있는 데이터양이 증가하고 전송 지연이 감소하는 특성을 가진다. 이러한 기본적인 특성을 바탕으로 단말의 경로 선택 시 데이터 부하 (Data load)가 적은 경로를 선택하여 네트워크 혼잡 상황을 겪는 것을 최소화해야 한다. 데이터 부하 정도를 부하 비율 (LR, Load Ratio)로 나타내며, LR은 데이터를 전송하는 경로 상에서 필요한 슬롯의 수와 사용 가능한 최소한의 슬롯 수를 나눈 값으로 표현이 된다. 식 (1)은 부하 비율을 계산하는 수식을 나타낸다.

$$LR = \operatorname{argmax} \left( \frac{\text{Number of required slots for link } i}{\text{Number of available slots for link } i} \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 네트워크의 혼잡 상태일 경우에는 LR

값이 1보다 크며, 비 혼잡 상태일 때는 LR 값이 1보다 작다. 이를 통해 현재 네트워크 상태를 혼잡 상태와 비 혼잡 상태로 구분할 수 있다. 각 단말은 자신이 사용 가능한 슬롯의 개수를 BS에게 주기적으로 전달하게 되며, 데이터를 전송할 시 BS에게 데이터 전송에 필요한 슬롯을 전송하게 한다. 이를 통해 BS는 LR값을 기반으로 각 단말들의 네트워크 상태를 판단한다. 네트워크가 비 혼잡 상태이면 가용한 모든 경로에서 최소 전송 홉 수를 가진 경로를 선택하며, 동일한 전송 홉 수를 가지는 경로가 여러 개 존재하면 그 중에서 가장 좋은 링크 품질을 가지는 경로를 설정하도록 한다. 하지만 네트워크가 혼잡 상태이면 가용한 경로에서 최소한의 전송 홉 수를 가지는 경로를 선택하고, 동일한 전송 홉 수를 가지는 경로 중 LR 값이 가장 작은 경로를 선택하여 네트워크 혼잡 상태를 최소한으로 겪도록 한다.

#### IV. 성능 분석

본 논문에서 제안하는 시스템의 성능을 분석하기 위하여 NS-2 시뮬레이터의 LWX (Light Wimax) 모델을 기반으로 제안하는 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템을 구현하여 실험을 수행하였다<sup>[10]</sup>.

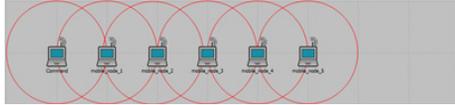
성능 분석을 위한 토폴로지는 멀티 홉, 단일 홉, 멀티 홉 분산 시나리오로 구분하였으며, 무선 채널에 대한 에러는 없다고 가정하였다. 멀티 홉 시나리오는 그림 8과 같이 일렬로 나열된 통신단말이 멀티 홉 상황에서 BS에게 데이터를 전송하도록 구성하였다. 단일 홉 시나리오는 그림 9와 같이 단일 홉 상황에서 BS로 데이터를 전송하도록 구성하였다. 마지막으로 멀티 홉 분산 시나리오는 그림 10과 같이 단말이 분산된 상황에서 BS에게 데이터를 전송하도록 구성하였다.



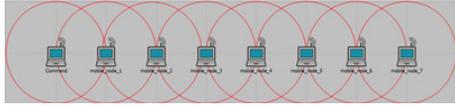
(a) 시나리오 1  
(a) Scenario 1



(b) 시나리오 2  
(b) Scenario 2

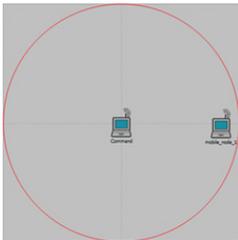


(c) 시나리오 3  
(c) Scenario 3

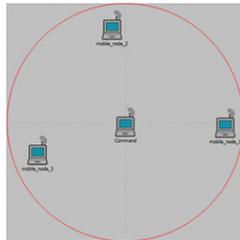


(d) 시나리오 4  
(d) Scenario 4

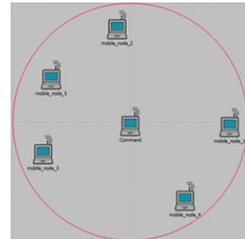
그림 8. 멀티 홉 시나리오  
Fig. 8. Multi-hop scenario



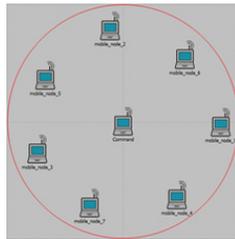
(a) 시나리오 1  
(a) Scenario 1



(b) 시나리오 2  
(b) Scenario 2

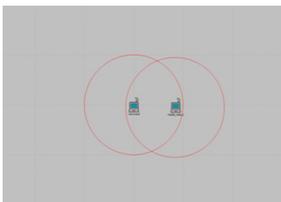


(c) 시나리오 3  
(c) Scenario 3

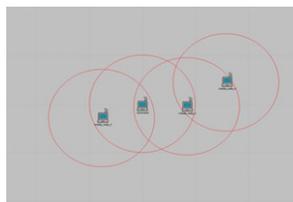


(d) 시나리오 4  
(d) Scenario 4

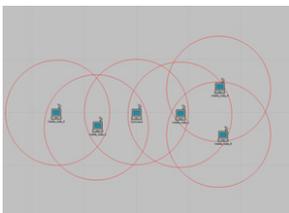
그림 9. 단일 홉 시나리오  
Fig. 9. Single-hop scenario



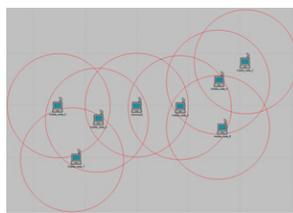
(a) 시나리오 1  
(a) Scenario 1



(b) 시나리오 2  
(b) Scenario 2



(c) 시나리오 3  
(c) Scenario 3



(d) 시나리오 4  
(d) Scenario 4

그림 10. 멀티 홉 분산 시나리오  
Fig. 10. Multi-hop distributed scenario

각 시나리오별 데이터 전송률은 300 Kbps ~ 2 Mbps까지 변화하는 상황에서 성능을 분석했으며, 표 1은 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템의 성능을 분석하기 위한 실험 환경을 나타낸다.

표 1. 성능 분석을 위한 파라미터  
Table 1. Simulation parameter

단말 수	2 ~ 8
Data	0.3, 0.5, 0.8, 1, 1.3, 1.5, 1.8, 2 (Mbps)
Frame structure	OFDMA
Frame duration	5 (ms)
Number of frames per second	200
Network bandwidth	10 (Mbps)
OFDMA symbol duration	100.94 (us)
Downlink/Uplink bandwidth ratio	2:1

그림 11은 멀티 홉 시나리오에서 BS가 수신한 평균 데이터의 양을 측정된 결과이다. 시나리오 1에서는 하나의 단말이 BS에게 데이터를 전송하기 위한 대역폭이 충분하여 단말이 전송하는 데이터를 모두 수신하였다. 하지만, 데이터를 전송하는 단말이 증가할수록 시나리오 2, 3, 4에서는 3.3 Mbps 정도에서 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 실험 결과는 IEEE 802.16j MMR 특성이 반영된 것으로서, 단말의 최대 전송 홉 수가 3홉 이상인 경우에 단말은 송신/수신/대기 모드를 반복하며 데이터를 송수신한다. 따라서 전체 대역폭의 1/3을 가용 대역폭으로 사용할 수 있다<sup>[5]</sup>. 시나리오 2에서는 1.3 Mbps, 시나리오 3에서는 800 Kbps, 시나리오 4에서는 500 Kbps 이상 데이터를 전송하였을 때 사용할 수 있는 대역폭을 모두 사용하여 네트워크 혼잡 상황이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 멀티 홉 시나리오에서 각 단말이 겪은 평균 중단 간 전송 지연을 측정된 결과이다. 멀티 홉 전송 시나리오에서 평균 중단 간 전송 지연은 네트워크의 비 혼잡 상황일 때 약 5 ms 씩 순차적으로 증가한다. 하지만 혼잡 상황일 경우 큐잉 지연이 발생하여 평균 중단 간 전송 지연이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림 13은 멀티 홉 시나리오에서 각 단말의 평균 PDR (Packet Delivery Ratio)를 측정된 결과이다. 각 단말이 사

용할 수 있는 대역폭에서 데이터를 전송할 때는 높은 PDR 값을 확인할 수 있지만, 사용 가능한 대역폭을 초과하여 데이터를 전송할시 PDR 값은 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

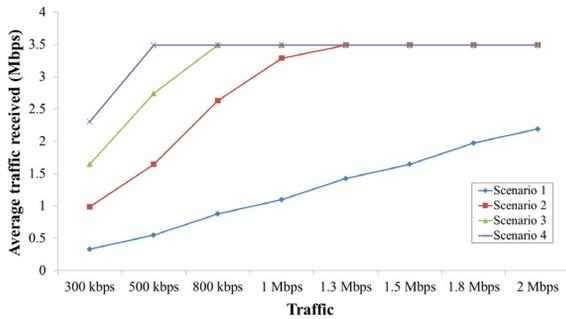


그림 11. 멀티 홉 시나리오에서의 BS에서 수신한 평균 데이터량의 변화

Fig. 11. Average traffic received in multi-hop scenario

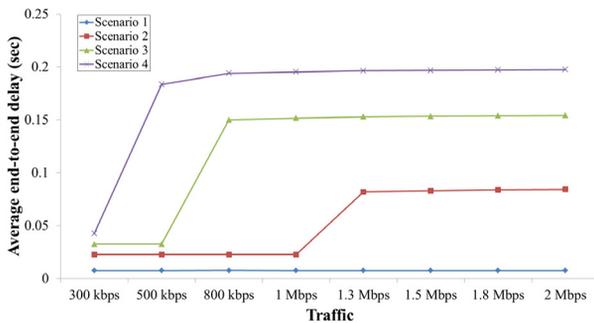


그림 12. 멀티 홉 시나리오에서의 평균 종단 간 전송 지연의 변화

Fig. 12. Average end-to-end delay in multi-hop scenario

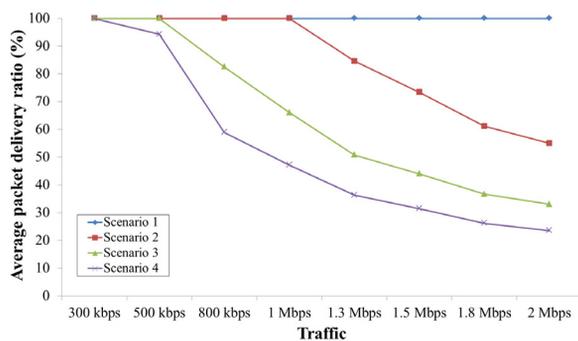


그림 13. 멀티 홉 시나리오에서의 평균 PDR의 변화

Fig. 13. Average PDR in multi-hop scenario

그림 14는 단일 홉 시나리오에서 BS가 수신한 평균 데이터의 양을 측정된 결과를 나타내며, 그림 15는 각 단말이 겪은 평균 종단 간 전송 지연을 측정된 결과이다. 그리고 그림 16는 각 단말의 평균 PDR 값을 측정된 결과이다. 단일 홉 시나리오에서는 모든 단말이 BS와 단일 홉으로 연결되어 있기 때문에, 프레임 주기마다 데이터를 전송할 수 있다.

단일 홉 시나리오 1, 2, 3에서는 데이터를 전송하는 단말이 증가하여도 네트워크 혼잡 상황이 발생하지 않지만, 시나리오 4에서는 1.3 Mbps 이상 데이터를 전송하였을 때에 가용 대역폭을 모두 사용하여 각 단말의 평균 PDR 값이 급격하게 감소하는 것을 확

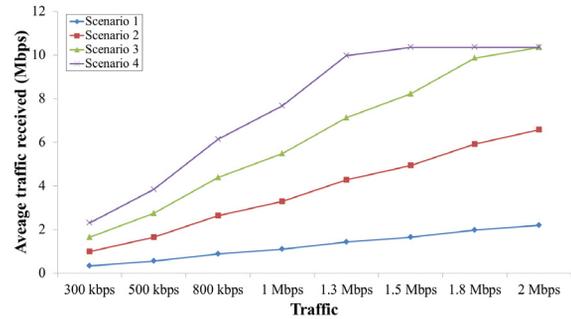


그림 14. 단일 홉 시나리오에서의 BS에서 수신한 평균 데이터량의 변화

Fig. 14. Average traffic received in single-hop scenario

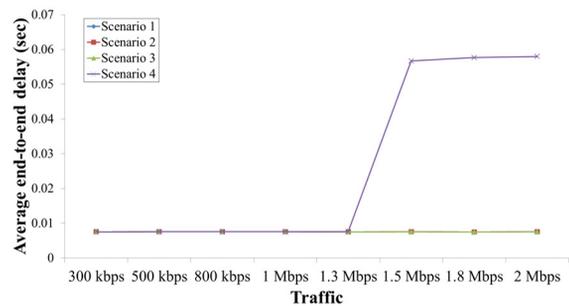


그림 15. 단일 홉 시나리오에서의 평균 종단 간 전송 지연의 변화

Fig. 15. Average end-to-end delay in single-hop scenario

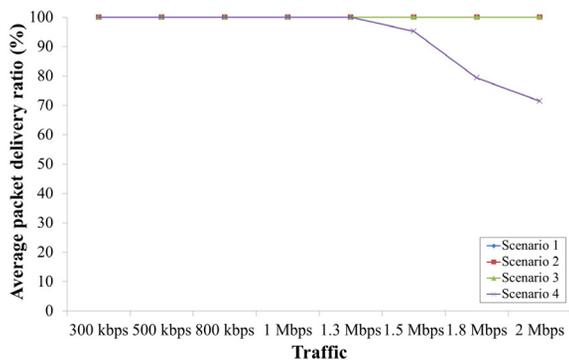


그림 16. 단일 홉 시나리오에서의 평균 PDR의 변화

Fig. 16. Average PDR in single-hop scenario

인할 수 있다.

그림 17은 멀티 홉 분산 시나리오에서 BS가 수신한 평균 데이터의 양을 나타내며, 그림 18은 평균 종단 간 전송 지연 측정된 결과이다. 그리고 그림 19는 각 단말의 평균 PDR을 측정된 결과이다.

멀티 홉 분산 시나리오 2와 3은 최대 전송 홉 수가 2홉으로 구성되며, 각 단말은 송/수신 모드를 반복하여 데이터를 전송하기 때문에 전체 대역폭의 1/2을 가용 대역폭으로 사용할 수 있다. 따라서 시나리오 2에서는 1.5 Mbps, 시나리오 3에서는 1 Mbps, 시나리오 4에서는 500 Kbps 이상 데이터를 전송하였을 때에 평균 종단 간 전송 지연과 PDR의 성능

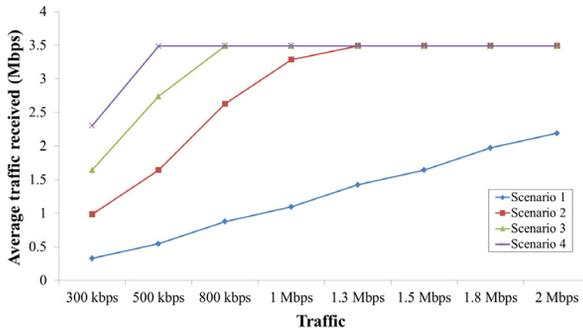


그림 17. 멀티 홉 분산 시나리오에서의 BS에서 수신한 평균 데이터량의 변화  
Fig. 17. Average traffic received in multi-hop distributed scenario

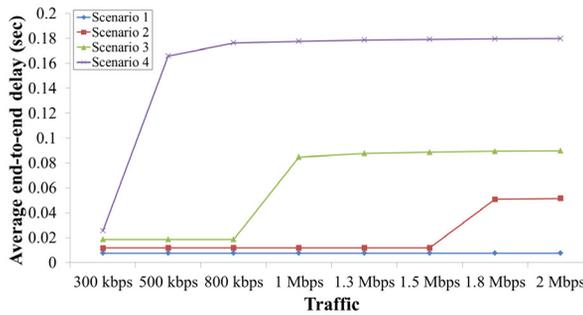


그림 18. 멀티 홉 분산 시나리오에서의 종단간 평균 전송 지연의 변화  
Fig. 18. Average end-to-end delay in multi-hop distributed scenario

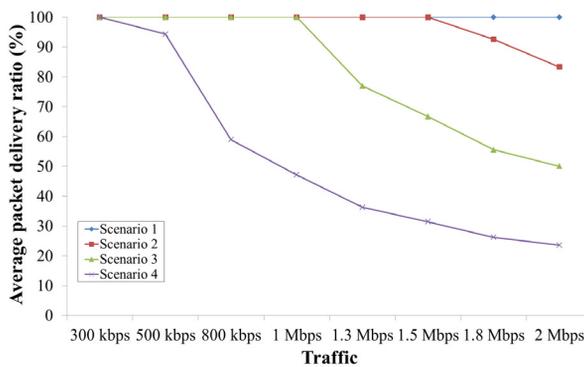


그림 19. 멀티 홉 분산 시나리오에서의 평균 PDR의 변화  
Fig. 19. Average PDR in multi-hop distributed scenario

이 감소되는 것을 확인할 수가 있다.

IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워

크 시스템에서 데이터 처리율 향상과 종단 간 전송 지연의 감소를 위해 가용 자원 기반 경로 설정 기법을 제안하였다. 가용 자원 기반 경로 설정 기법의 성능 평가를 위해 최소 전송 홉 수를 선택하는 최단 전송 홉 수 기법과 비교하여 성능을 분석하였다.

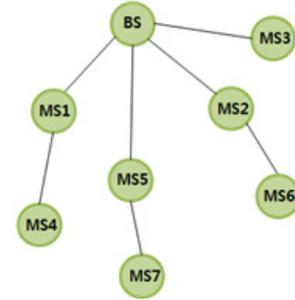


그림 20. 가용 자원 기반 경로 설정 기법의 성능 분석을 위한 시뮬레이션 시나리오  
Fig. 20. Simulation scenario

표 2. 가용 자원 기반 경로 설정 기법의 성능 분석을 위한 파라미터  
Table. 2. Simulation parameter

Data	0.3, 0.5, 0.8, 1, 1.3, 1.5, 1.8, 2 (Mbps)
Frame structure	OFDMA
Network size	1000 x 1000 (m)
Transmission range	400 (m)
Frame duration	5 (ms)
Number of frames per second	200
Network bandwidth	10 (Mbps)
OFDMA symbol duration	100.94 (us)
Downlink/Uplink bandwidth ratio	2:1
Random mobility	0 ~ 30 (m/s)
Wireless channel model	Free space model
	Two-ray ground model

각 기법의 성능 평가를 위해 그림 20와 같이 7개의 단말이 BS에게 데이터를 전송하는 시나리오를 구성하였으며, 데이터 전송률을 300 Kbps ~ 2 Mbps 범위에서 실험을 수행 하였다. 또한 토폴로지 변화에 따른 경로 선택 성능을 평가하기 위해 이동성을 0 ~ 30 m/s의 랜덤한 이동속도와 방향을 가지도록 설정하였다. 무선 채널 모델은 Free space 모델과 Two-ray ground 모델을 사용하였다. Free space 모델은 단말이 150 m 이내에 위치하면 거리에 따른 신호 세기는  $1/r^2$  만큼 감소하며, 300 m

이내에 위치하면  $1/r^4$  만큼 감소한다. 표 2는 제안 기법의 성능 분석을 위한 실험 환경을 나타낸다.

그림 21은 가용 자원 기반 경로 설정 기법과 최단 전송 홉 수 기법의 데이터 처리율을 비교한 결과이다. 전체 네트워크 크기가 1000 x 1000 m 이고 단말의 전송 범위가 400 m 이기 때문에 최대 전송 홉 수는 2~3홉으로 연결이 되어 BS에게 데이터를 전송한다. 따라서 BS가 수신한 데이터의 양은 약 5 Mbps 정도로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 단말이 전송하는 데이터의 전송률이 300 ~ 500 Kbps일 때는 가용 자원 기반 경로 설정 기법과 최단 전송 홉 수 기법의 성능이 크게 차이가 나지 않지만 전송하는 데이터의 전송률이 증가할 경우에는 가용 자원 기반 경로 설정 기법이 최단 전송 홉 수 기법보다 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다. 이는 가용 자원 기반 경로 설정 기법이 데이터 부하를 고려하여 네트워크 혼잡 상황을 최소화 하여 최단 전송 홉 수 기법보다 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다.

그림 22는 가용 자원 기반 경로 설정 기법과 최단 전송 홉 수 기법의 평균 종단 간 전송 지연을

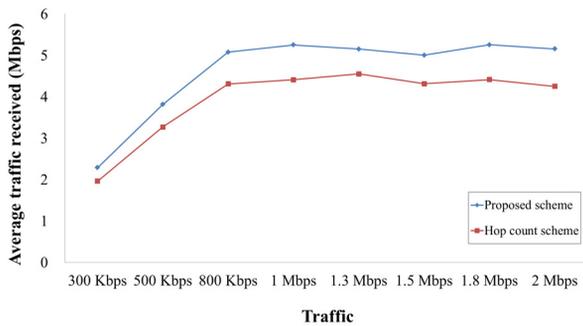


그림 21. 제안 기법과 최단 전송 홉 수 기법의 평균 데이터 수신량의 변화

Fig. 21. Average traffic received comparison minimum hop count scheme and proposed scheme

비교한 것이다. 각 단말이 300 ~ 500 Kbps로 데이터를 전송하였을 때, 평균 종단 간 전송 지연의 성능 차이가 적다. 하지만 각 단말이 800 Kbps 이상으로 데이터를 전송하였을 때에는 평균 종단 간 전송 지연의 성능 차이가 크다. 실험 결과를 통해 가용 자원 기반 경로 설정 기법은 네트워크의 혼잡 상황에서 사용 가능한 슬롯이 많은 경로를 선택하여 각 노드별 큐잉 딜레이를 겪는 구간이 최단 전송 홉 수 기법보다 적기 때문에 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다.

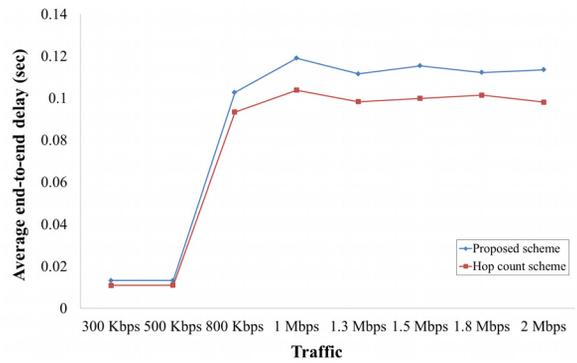


그림 22. 제안 기법과 최단 전송 홉 수 기법의 평균 종단 간 전송 지연의 변화

Fig. 22. Average end-to-end delay comparison minimum hop count scheme and proposed scheme

## V. 결론

본 논문에서는 기존 무선 애드 혹 네트워크의 단말 간 동일 채널 간섭과 무선 링크의 전송 손실에 의한 제한을 받는 단점을 극복하기 위한 IEEE 802.16j MMR 기반의 무선 애드 혹 네트워크 시스템을 제안하였다. 제안하는 무선 애드 혹 네트워크 시스템에서의 업링크 데이터는 Nearest BS, 다운링크 데이터는 Farthest BS 스케줄링 기법을 사용하여 무선 채널을 효율적으로 사용했다. 그리고 무선 애드 혹 네트워크에서의 데이터 손실 및 전송 지연을 최소화하기 위하여 가용 자원 기반 경로 설정 기법을 제안했다.

성능 분석을 위하여 멀티 홉, 단일 홉, 멀티 홉 분산 시나리오 환경에서 BS가 수신한 데이터량의 변화와 종단 간 전송 지연을 측정하여 성능을 확인하였다. 실험 결과를 통하여 각 단말의 최대 전송 홉 수 변화에 따라 가용 대역폭이 변경되며, 각 단말의 가용 대역폭을 모두 공유하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 최단 전송 홉 수 기법과 가용 자원 기반 경로 설정 기법에 대한 성능을 분석하였다. 본 논문에서 제안한 가용 자원 기반 경로 설정 기법은 데이터 부하를 고려하여 네트워크 혼잡 상황이 적게 겪으며, 가용 대역폭이 많은 경로를 통해 데이터를 전송하기 때문에 최단 전송 홉 수 기법보다 성능이 좋은 것을 확인하였다.

향후, 제안한 IEEE 802.16j MMR 기반 무선 애드 혹 네트워크 시스템에서 채널 재사용을 통해 전송 홉 수 증가에 따른 사용 가능한 대역폭이 감소하는 문제점을 보완할 연구를 수행하고자 한다.

## References

- [1] C. K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems," *Prentice Hall PTR*, 2001.
- [2] M. Kas, B. Yargicoglu, I. Korpeoglu, and E. Karasan, "A Survey on Scheduling in IEEE 802.16 Mesh Mode," *IEEE Comm. Surveys and Tutorials*, Vol. 12, No. 2, pp. 205-221.
- [3] S. Takemori, G. Hasegawa, Y. Taniguchi, and H. Nakano, "Improving Coverage Area Quality Using Physical Topology Information in IEEE 802.16 Mesh Networks," *Mobile Ubiquitous Computing Systems Services and Technologies*, pp. 163-168, 2009.
- [4] S. Liu, S. Feng, W. Ye, H. Zhuang, "Slot Allocation Algorithms in Centralized Scheduling Scheme for IEEE 802.16 based Wireless Mesh Networks," *Computer Comm.* Vol. 32, Issue. 5, pp 943-953, 2009.
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "Multi-Hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)," *IEEE 802.16j-06/013r1*, 2006.
- [6] H. Wei, S. Ganguly, R. Izmailov, and Z. Haas, "Interference-aware IEEE 802.16 WiMAX Mesh Networks," *Vehicular Technology Conference*, pp. 3102-3106, 2005.
- [7] B. Wang, and M. Mutka, "Path Selection for Mobile Stations in IEEE 802.16 Multihop Relay Networks," *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pp. 1-8, 2008.
- [8] B. Han, W. Jia, L. Lin, "Performance Evaluation of Scheduling in IEEE 802.16 based Wireless Mesh Net -works," *Computer Comm.*, Vol. 30, Issue. 4, pp. 782-792. 2007.
- [9] Y. Tang, Y. Yao, J. Yu, "A Novel Joint Centralized Scheduling and Channel Assignment Scheme for IEEE 802.16 Mesh Networks," *Computer Science and Education*, pp. 289-293, 2009.
- [10] Modified LWX Add-on, Available at <http://resea-ch.cs.queensu.ca/~pandeli/downloads.htm>, 2010.

## 주 광 성 (Kwangsung Ju)



시스템

2010년 2월 광운대학교 전자통신공학과 학사 졸업  
 2010년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 석박통학과 정

<관심분야> 센서네트워크, Ad-hoc 네트워크, 임베디드

## 정 광 수 (Kwangsue Chung)



1993년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수  
 <관심분야> 인터넷 QoS, 유.무선 비디오 스트리밍, 센서 네트워크

1981년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업  
 1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1991년 2월 미국 University of Florida 전기공학과 박사 (컴퓨터공학전공)