

# 이동성 지원 메쉬 네트워크를 위한 클러스터 기반의 멀티 채널 MAC

준회원 김 종 헌\*, 종신회원 전 한 얼\*\*, 이재용\*, 정회원 박 수 범\*\*\*, 유 영 빈\*\*\*

## Mobility-Adaptive Routing Update Scheme for Wireless Networks with Group Mobility

Jonghum Kim \* *Associate Member*, HahnEarl Jeon \*\*, Jaiyong Lee \*° *Lifelong Members*  
 Soo Bum Park \*\*\*, Young Bin You \*\*\* *Regular Members*

### 요 약

전술 네트워크는 통신 인프라의 부족과, 산악 지형 등의 지형적 특성에 의하여 원활한 통신이 이루어지지 않는 경우가 생긴다. 무선 메쉬 네트워크(WMN)는 메쉬 포인트들의 멀티-홉 통신을 통하여 별도의 통신 인프라 없이 넓은 지역에 대하여 무선 통신을 공급한다. 따라서, 전술 네트워크에서 무선 메쉬 네트워크의 활용 가능성은 매우 크다. 그러나 기존에 연구되었던 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 네트워크를 구성하는 메쉬 포인트들의 이동성을 고려하지 않는다. 본 논문에서는 전술 상황을 고려하여 메쉬 포인트들이 그룹 이동성을 갖을 때 예상되는 MAC의 collision 문제와 PHY의 채널 사용 문제를 해결한다.

**Key Words** : mesh network, multi-channel, MAC, clustering, group mobility

### ABSTRACT

Wireless mesh network (WMN) has recently emerged as a promising technology for tactical operation. If a platoon is organized with MPs, this system is suitable for tactical coverage is given for battle field where there is a shortage of wired infrastructure. However, MPs of typical WMN are generally fixed. This condition does not apply to diverse tactical scenarios. In this paper, it is considered that MPs have group mobility for flexible tactical networks. We propose cluster based multi-channel MAC scheme for mobile WMN with single antenna condition. We have reduced the collision problems and message storming problems occur by mobility, so the reliability of WMN has been improved. Consequently, reliable communication is guaranteed by our framework in mobile WMN

### I. 서 론

무선 메쉬 네트워크는 메쉬 포탈, 메쉬 포인트, 그리고 각 메쉬 포인트에 연결되어 있는 단말 스테

이션으로 구성되어 있다. 메쉬 포탈은 메쉬 네트워크의 게이트웨이의 역할을 하며 백본망과의 연결되어 있다. 메쉬 포인트는 라우터의 역할을 수행하며 이러한 메쉬 포인트끼리는 링크를 갖는다. 많은

※ 본 연구는 (주)LIG넥스원의 전술환경에서의 통신망 연구(Y10-005)의 지원을 받아 연구되었음

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1111-0006)

\* 연세대학교 전기전자공학과 유비쿼터스 연구실 (lroro7773, jy1@yonsei.ac.kr), (° : 교신저자)

\*\* 한국방송통신전파진흥원 (hearlj@yonsei.ac.kr)

\*\*\* (주)LIG 넥스원 통신연구소 (sbpark93@lignex1.com, youngbin.you@lignex1.com)

논문번호 : KICS2011-10-440, 접수일자 : 2011년 10월 6일, 최종논문접수일자 : 2012년 2월 13일

수의 메쉬 포인트들은 인접 메쉬 포인트들과 링크를 갖게 되어 마치 그물과 같은 구조로 연결된다. 메쉬 포인트들은 멀티홉 통신을 통하여 한 메쉬 포인트에서 다른 메쉬 포인트로 데이터를 전달할 수 있으며, 이러한 연결성을 통하여 넓은 지역의 통신을 제공할 수 있게 된다. 메쉬 포인트에는 별도의 AP를 부착할 수 있는데, 이러한 경우 메쉬 포인트는 AP로써 역할을 동시에 수행할 수 있다. 핸드폰, 노트북, 센서등의 단말 스테이션들은 이러한 AP를 통하여 백본망과의 연결성을 보장받는다<sup>[1]</sup>.

무선 메쉬 네트워크는 메쉬 포인트간의 멀티홉 연결을 통해서 특별한 기반시설 없이 무선으로 넓은 지역의 통신을 제공할 수 있다. 또한, 무선으로 연결이 되기 때문에 유선을 기반으로 한 기간망보다 설치 비용이 저렴하며 유지, 보수 또한 상대적으로 쉽다. 이러한 특징 때문에, 무선 메쉬 네트워크는 기반 시설이 설치되어 있지 않은 지역을 서비스 대상으로 할 때 큰 강점을 갖게 된다. 특히, 전술 네트워크나 인명 구조 서비스를 위한 네트워크의 경우 유선망이 설치되어 있지 않는 지역에 통신을 제공해야 하는 경우가 많다. 이러한 물리적 제한으로 인하여 전술 네트워크와 같은 어플리케이션에서 무선 메쉬 네트워크가 차지하는 비중이 점차 늘고 있다<sup>[2]</sup>.

그러나 기존에 진행되었던 무선 메쉬 네트워크의 연구는 주로 고정된 메쉬 포인트를 기반으로 하위 단말기들의 이동성만을 고려한다. 이러한 무선 메쉬 포인트의 이동성 제약은 역동적인 전술 네트워크의 특성을 반영하기가 어렵다.

본 논문은 다음과 같은 구성으로 전개된다. 우선 2장에서는 본 논문에서 가정하고 있는 이동성 모델과 시스템 모델을 설명한다. 3장에서는 이동성 지원 무선 메쉬 네트워크의 동작을 설명한다. 4장에서는 NS-3 시뮬레이터를 사용하여 제안한 알고리즘의 성능을 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구에 대하여 기술하였다.

## II. 본 론

### 2.1. 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 시스템은 전술 네트워크를 대상으로 한다. 특히, 연대 규모의 전술망을 무선 메쉬 네트워크로 구성하여 전시 사항에서도 신뢰성 있는 통신 환경을 제공하고자 한다. 본 논문에서는 한 연대의 통신을 약 100개 내외의 메쉬 포인트들

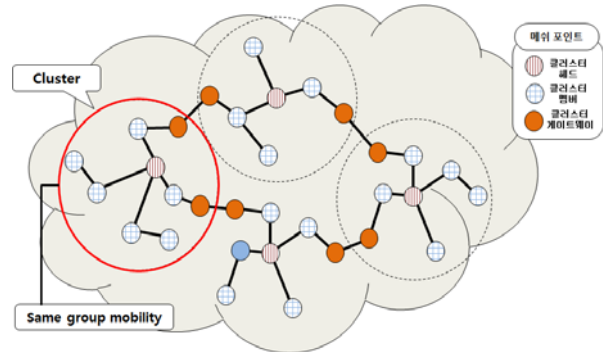


그림 1. 클러스터 기반의 시스템 모델  
Fig.1. Cluster-based system model

이 무선 메쉬 네트워크를 구성하여 통신을 담당한다고 가정한다<sup>[3]</sup>. 각각의 메쉬 포인트들은 차량에 탑재되어 이동을 하며 각 중대의 통신을 관장하게 된다. 그리고 이러한 메쉬 포인트들은 단말기를 소지한 차량, 보병 등 하위 전투 개체들의 통신을 담당하게 된다.

#### 2.1.1. 그룹 이동성

전시 상황에서는 각 전투 개체들의 이동이 빈번하게 이루어진다. 이러한 이동성에 의하여 네트워크의 토폴로지 또한 빈번하게 바뀐다. 특히, 전술 상황에서는 개별적으로 움직이는 것이 아니라 명령 체계에 의하여 지휘관을 중심으로 특정한 대형을 이룬 채 이동을 하는 경우가 많다. 이러한 대형은 부대 단위로 구성이 되며 각각의 부대는 할당된 임무에 따라 개별적으로 이동을 하게 된다<sup>[4][5]</sup>.

이동성 모델에 대한 연구는 MANET, 센서 네트워크 등에서 활발하게 진행되고 있다. 이동 개체들의 개별적인 이동성을 모델링 한 Random waypoint mobility model, random direction mobility model 과 같은 entity mobility model은 구현상의 편의성이 있지만 실제 전시 상황의 이동성을 모델로 삼기에는 적합하지 못하다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 전술 상황에서 부대 단위의 움직임 구현하기 위하여 그룹 이동성 모델을 가정한다. 그룹 이동성 모델은 entity mobility model과 달리 이동 개체들이 그룹이 되거나 특정한 진형을 이루어 이동 특성을 공유하는 것이다<sup>[7]</sup>. 그룹 이동성 모델에 대한 연구로는RRGM(reference region group Mobility Model)<sup>[8]</sup>, RPGM(reference point group mobility model)<sup>[9]</sup> 등이 있다. 이러한 그룹 이동성 모델을 통하여 지휘관을 중심으로 한 부대의 이동, 공격, 수비 등의 다양한 전술 상황을 모델링할 수 있다.

본 논문에서는 네트워크를 구성하는 메쉬 포인트들이 부대에 따라서 그룹을 구성하는 시나리오를 가정한다. 한 그룹을 구성하는 메쉬 포인트들 중 하나는 그룹의 이동의 중심 역할을 수행한다. 본 연구에서는 지휘관의 역할을 수행하는 메쉬 포인트가 그룹 이동의 중심 역할 역시 수행한다고 가정한다.

2.1.2. 멀티 채널 MAC

한정된 무선환경에서 throughput 향상과 무선 환경의 신뢰도 향상을 위하여 멀티 채널을 사용하는 MAC에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔다. DBTMA<sup>[16]</sup>는 경쟁 기반의 MAC으로 채널의 점유 상태를 알리는 busy-tone을 위한 별도의 채널을 할당하여 시스템의 신뢰도를 향상시켰다. DUCHA<sup>[17]</sup>의 경우는 데이터 채널과 컨트롤 채널 그리고 busy-tone 채널을 분리시켜 데이터 메시지와 컨트롤 메시지의 충돌을 물리적으로 방지하고 시스템의 신뢰도와 효율성을 향상시켰다. 그러나 이러한 멀티 채널 MAC의 경우는 busy-tone 채널을 별도로 사용해야 하므로 채널 효율성 면에서 단점을 갖는다. Cluster-based MAC 알고리즘<sup>[18]</sup>은 VANET 환경을 가정한 멀티 채널 MAC으로 각 차량들이 클러스터를 구성하여 이동성을 갖는 경우에 적용 가능한 알고리즘이다. 이 알고리즘은 클러스터 내의 통신과 클러스터 외의 통신을 서로 다른 안테나와 채널을 사용하여 동작하며 클러스터내의 통신은 polling 기반의 MAC으로 클러스터 헤드간의 통신은 경쟁 기반으로 동작하게 된다. 이 알고리즘은 그룹 이동성을 갖는 시스템에 적합하지만 모든 노드가 2개의 안테나를 갖고 동작해야 한다는 점과 클러스터 헤드의 경우 시스템의 복잡도가 높다는 점 때문에 본 연구의 목표에 부합하지 못한다.

본 논문에서는 그룹 이동성을 갖는 메쉬 네트워크를 위한 멀티 채널 MAC 연구를 통하여 군용 네트워크에 적합한 시스템을 구현하고자 한다.

2.1.3. 시스템 모델

본 논문에서는 효율적이고 신뢰성 있는 무선 메쉬 네트워크 환경을 위하여 클러스터 기반의 모델을 제시하고자 한다.

클러스터를 구성하기 위해서는 우선 클러스터의 생성 및 라우팅 테이블 관리를 맡는 클러스터헤드가 필요하다. 클러스터 헤드는 주기적으로 hello 메시지를 전송하여 클러스터 멤버들을 확인하고 joining 과정과 disjoining 과정을 수행하여 하위 노

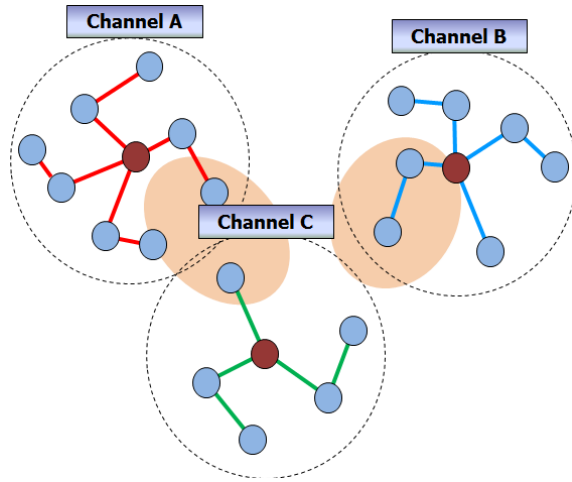


그림 2. 멀티채널 시스템 모델  
Fig. 2. Multi-channel system model

드들을 관리한다<sup>[10]</sup>. 클러스터 헤드는 클러스터 내부의 라우팅 테이블을 갖고 있기 때문에 클러스터 내의 통신의 중추적 역할을 담당한다. 또한, 외부 클러스터의 정보를 클러스터 헤드가 갖고 있기 때문에 클러스터 간의 통신을 수행할 때도 클러스터 헤드를 통하여 통신이 이루어진다. 클러스터 헤드에 의하여 클러스터에 속하게 된 노드들은 클러스터 멤버 노드가 된다. 이러한 클러스터 멤버 노드 중 child 노드를 갖지 못한 최하위 노드들은 특별히 게이트웨이로 분류된다.

전술 상황에서 통신은 크게 두 가지로 구분 지을 수 있다. 첫 번째는 각 부대 내의 통신이다. 실제 전술 상황에서 지휘관에 속한 부대의 경우 지휘관의 명령 체계에 따라 임무를 수행하게 된다. 또한, 임무 수행 중 얻은 정보를 지휘관에게 보고하는 체계를 따른다. 즉, 부대 내의 통신의 경우 지휘관을 중심으로 명령을 하달하거나, 지휘관에게 정보를 보고하는 통신이 주를 이루게 된다. 두 번째는 부대 간의 통신이다. 이는 한 부대에서 알아낸 정보를 이웃 부대에 전달하거나, 상호 필요한 정보를 주고받을 때 사용한다. 이러한 부대 간의 통신은 각 부대의 지휘관을 중심으로 정보 전달이 이루어지게 된다.

본 논문에서 제안하는 시스템 모델에서는 군용 네트워크의 특성을 반영하여 클러스터 헤드의 역할을 지휘관이 수행한다. 또한 지휘관이 그룹 이동의 중심으로써의 역할도 수행한다고 가정한다. 지휘관의 부대에 속한 메쉬 포인트들은 클러스터 멤버로써 클러스터 헤드의 하위 노드가 되어 계층적 구조를 지니게 된다. 이중 child 노드가 없는 leaf 노드

인 메쉬 포인트들은 게이트웨이의 역할을 수행한다. 게이트웨이는 물리적으로 클러스터의 최외각에 존재하게 되며 클러스터 간의 통신을 할 때 다른 클러스터의 게이트웨이들과 통신을 하게 된다.

본 논문에서는 클러스터 내 통신들과 클러스터 외 통신의 간섭을 피하기 위하여 멀티 채널을 사용한 통신을 제안한다.  $n$ 개의 채널을 사용할 수 있다고 가정할 때, 이중 클러스터 외 통신을 위하여 하나의 채널을 별도로 할당한다. 또한, 클러스터링 과정을 수행하기 위한 채널 역시 별도로 할당한다. 이 두 채널을 제외한  $(n-2)$ 개의 채널은 클러스터 내 통신을 위하여 사용한다. 각 클러스터는 인접한 클러스터와 겹치지 않는 선에서 채널을 선택하여 이를 클러스터 내 통신을 위하여 사용한다. 각 클러스터 별로 클러스터 내 통신을 위하여 서로 다른 채널을 사용하기 때문에 클러스터가 그룹 이동성으로 인하여 서로 통신 환경에 들어오거나 겹치더라도 collision이 발생하지 않게 된다. 또한, 클러스터 외 통신을 위하여 별도의 채널을 사용하기 때문에 클러스터 외 통신 또한 신뢰성 있는 통신이 가능해진다. 그림 2는 클러스터 별로 별도의 채널이 할당된 상황을 보여준다.

본 연구에서 제안하는 시스템 프레임워크의 가정 사항은 다음과 같다.

- 모든 메쉬 포인트의 성능은 동일하다.
- 모든 메쉬 포인트는 고정된 수퍼 프레임을 기본 단위로 MAC 계층이 동작한다
- 모든 메쉬 포인트의 시각 동기화가 이루어진다.
- 수퍼 프레임은 고정된 Inter-communication interval과 Intra-communication interval 시기로 나뉜다.
- 클러스터 외 통신을 위해서 공통채널인  $CH^{Inter}$ , 클러스터 내 통신을 위해서  $CH^{Intra}$ , 클러스터링 과정을 위해서  $CH^{Reconfig}$  가 사용된다.

## 2.2. 시스템 구조 동작

이 절에서는 신뢰성 있는 이동성 지원 무선 메쉬 네트워크를 위한 클러스터링 기반의 멀티 채널 MAC 알고리즘과 시스템 동작을 설명한다.

### 2.2.1. 클러스터링

클러스터링 과정은 지휘관 역할을 수행하게 되는 클러스터 헤드에 의하여 이루어진다. 클러스터 헤드의 역할을 하게 되는 메쉬 포인트는 클러스터를 구

성하기 위하여 hello 메시지를 브로드캐스팅하게 된다. 이때 클러스터 헤드는 별도로 할당된 reconfiguration 채널로 맞추고 이 채널에 메시지를 브로드캐스팅한다. 어떠한 클러스터에도 속하지 않은 일반적인 메쉬 포인트들은 자신의 채널을 이 reconfiguration 채널에 맞추고 있다. 이 hello 메시지는 클러스터의 MAC 주소와 클러스터 헤드 식별 번호를 나타내는 Node ID(NID) 그리고 클러스터 내 통신에서 사용하게 될 채널 정보를 포함된다. 이 hello 메시지를 받은 노드는 클러스터 헤드로 연결 요구 (CON REQ) 메시지를 송출한다. 이 메시지를 받은 클러스터 헤드는 요구한 노드를 위한 NID 번호가 포함된 연결 응답 (CON RES) 메시지로 응답한다. NID는 클러스터 내에서 유일해야 하며, 클러스터 헤드가 유일한 NID를 할당하는 책임을 담당하게 된다. NID를 할당 받은 메쉬 포인트는 클러스터 헤드로 ACK 메시지로 응답하여 링크 연결을 완료한다. 또한, 이미 클러스터 헤드와 메시지를 주고받은 메쉬 포인트들은 다시금 hello 메시지를 주변에 브로드캐스팅하게 된다. 이 메시지를 받은 메쉬 포인트들은 응답을 통하여 전송 메쉬 포인트의 Child 노드로 속하게 된다<sup>[11]</sup>. 클러스터의 주기가 끝나고 새로운 클러스터 구성이 필요하게 될 경우 클러스터 헤드가 이를 알리고 클러스터에 속한 모든 노드들은 채널을 reconfiguration 채널로 바꾸어 다시 클러스터 작업을 수행한다.

### 2.2.2. MAC 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은  $N$  개의 멀티 채널을 사용한다. 클러스터가 구성된 이후, 클러스터 내의 통신은 클러스터 헤드가 담당하게 되며, 클러스터 내 통신은 DCF MAC을 사용하여 동작하게 된다. 약 10개 내외의 소규모 이동성 지원 메쉬 네트워크에 한해서는 802.11s 의 기본 MAC 으로도 신뢰성 있는 통신이 가능하다<sup>[12]</sup>. 클러스터 간의 통신의 경우 클러스터 헤드로부터 다른 클러스터 헤드로 전달되는 통신으로, 게이트웨이들을 통하여 통신이 이루어진다.

#### (1) 게이트웨이

게이트웨이의 경우 다른 클러스터에 속한 게이트웨이와 통신을 하기 위한 클러스터 외 채널인  $CH^{Inter}$ 와 자신의 parent와 통신하기 위한 클러스터 내 채널  $CH^{Intra}$ 를 사용한다. 2개의 채널은 수퍼 프레임의 시기에 따라서 채널을 스위칭을 한다.

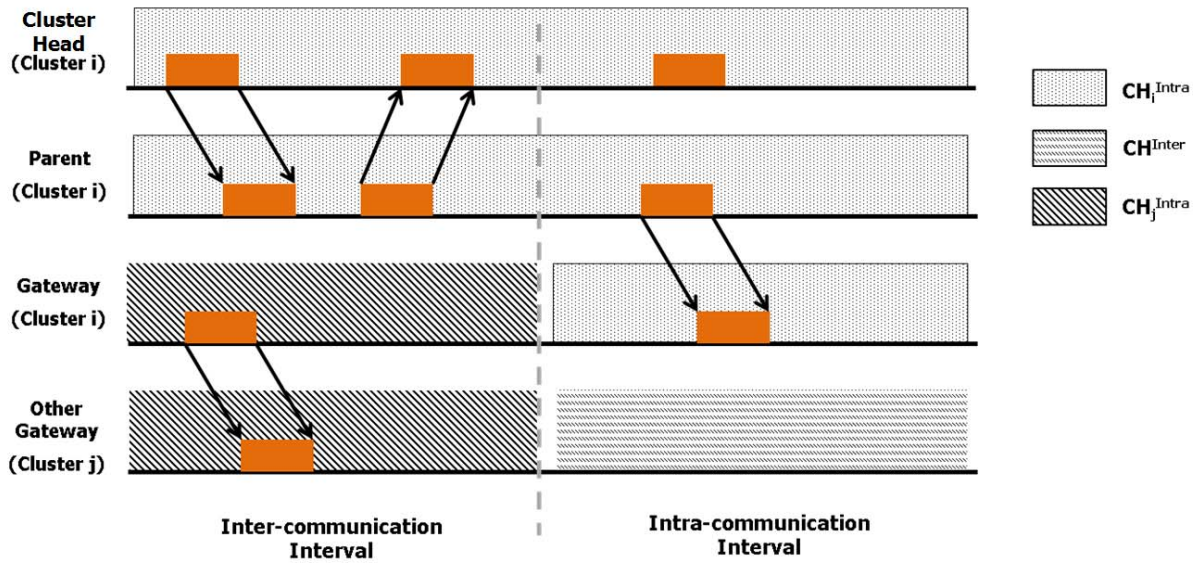


그림 3. 클러스터 기반의 멀티 채널 MAC 동작  
 Fig. 3. Cluster-based multi-channel MAC procedure

Inter-communication 시기일 때, 게이트웨이는  $CH^{Inter}$ 에 자신의 채널을 맞춘다. 이를 통하여 게이트웨이는 다른 클러스터 아이디를 갖는 게이트웨이들의 통신을 항상 감지할 수 있다. 만약 자신이 다른 게이트웨이로 보내야 할 데이터가 존재한다면 이 시기에 다른 게이트웨이에게 데이터를 전달한다. 마찬가지로 수신 게이트웨이 또한 시각 동기화로 인하여 채널을  $CH^{Inter}$ 로 맞추고 있기 때문에 다른 게이트웨이로부터 오는 데이터의 수신이 가능하다. Inter-communication 시기에는 데이터 전달 뿐만 아니라 이웃 클러스터의 채널 정보와 라우팅 정보 또한 주고받는다. 이 때 주고받은 채널 정보는 클러스터 내부의 채널을 결정하는 데 사용한다.

Inter-communication 시기가 끝이 나면, Intra-communication 시기로 바뀐다. 이때 모든 게이트웨이들은 자신의 채널을  $CH^{Intra}$ 로 바꾼다. 이러한 채널 스위칭을 통해서 게이트웨이는 클러스터 외 통신뿐만 아니라 자신의 클러스터 내 통신에도 참여할 수 있게 된다. Intra-communication 시기 때는 게이트웨이의 parent가 보내는 패킷을 받거나 외부 게이트웨이로부터 받은 데이터를 클러스터 헤드에게 보내기 위하여 parent에게 데이터를 전송한다.

게이트웨이가 패킷을 채널에 따라 보내기 위해서는 패킷의 다음 목적지에 의한 스케줄링이 별도로 필요하다. 즉, 자신이 포워딩해야 할 패킷의 다음 목

적지가 자신이 속한 클러스터 아이디와 다를 경우는 이를  $CH^{Inter}$ 를 통하여 외부 게이트웨이에게 전달해야 한다. 반대로 포워딩해야 할 패킷의 다음 목적지가 자신이 속한 클러스터 아이디와 동일할 경우는 이를  $CH^{Intra}$ 를 통하여 자신의 parent에게 전달해야 한다. 만약, 패킷을 전송해야 할 채널과 현재 자신이 사용하고 있는 채널이 다를 경우는 이를 큐에 넣고 통신 모드가 변경이 되었을 때 이를 보내야만 한다. 그림3은 interval에 따른 매쉬 포인트들의 채널 상태를 나타낸다. 그림3에서 처음에는 Inter-communication 주기이므로  $CH^{Inter}$ 를 사용하여 패킷을 다른 게이트웨이로 전달한다. 한 주기가 끝나고 Intra-communication 시기가 시작되면 각각의 게이트웨이는 자신이 속한 클러스터의 채널인  $CH^{Intra}$ 로 스위칭 한다. 보낼 패킷이 없을 경우도 수신을 위하여  $CH^{Intra}$  채널을 감지한다.

(2) Parent 멤버

앞서 살펴보았듯이 게이트웨이는 interval 시기에 따라 주기적으로 자신의 채널상태를 스위칭을 한다. 따라서 이러한 게이트웨이와 링크를 갖는 parent는 게이트웨이와의 통신을 고려해야 한다. Inter-communication 시기 때는 자신의 하위인 게이트웨이가  $CH^{Inter}$ 로 채널을 맞춰 다른 클러스터의 게이트웨이와 통신을 하는 시기이다. 그러므로 parent는 게이트웨이와 같은 채널을 사용할 경우 클러스터 외

통신이 방해 받게 된다. 따라서, 이때 parent 멤버의 경우 자신의 채널을  $CH^{Intra}$ 로 맞추어 클러스터 내 통신을 한다. 이를 통하여 게이트웨이의 클러스터 외 통신을 보장할 수 있게 된다. Intra-communication 시기의 경우 게이트웨이가 채널을  $CH^{Intra}$ 로 스위칭하여 클러스터 내 통신을 준비한다. 따라서 parent는 이 시기에 게이트웨이에게 보내야 하는 데이터를 보내야 한다.

Parent는 자신이 포워딩해야 할 패킷의 다음 주소에 따라 스케줄링을 해야 한다. 만약 패킷의 다음 목적지가 자신의 하위인 게이트웨이가 아니라면, 이는 Inter-communication 시기 때 데이터를 전송한다. 만약 패킷의 다음 목적지가 자신의 게이트웨이라면 이 패킷은 Intra-communication 시기 때 게이트웨이에게 보내야 한다. 왜냐하면, Intra-communication 시기에만 게이트웨이가  $CH^{Intra}$ 로 채널을 맞추어 자신과 통신을 할 수 있기 때문이다. 따라서 보내야 할 패킷이 현재 시기와 다르다면 큐에 넣어 적합한 통신 시기가 올 때까지 기다려야 한다. 그림3에서 보는 바와 같이 parent의 경우 Inter-communication 시기에는 게이트웨이를 제외한 클러스터 내 메쉬 포인트와 통신을 한다. 그리고 Intra-communication 시기가 오면 자신의 게이트웨이와만 통신을 한다.

(3) 멤버

멤버 메쉬 포인트는 자신의 child로 게이트웨이를 갖지 않는 멤버 메쉬 포인트들을 일컫는다. 이러한 멤버 메쉬 포인트의 경우 통신을 게이트웨이와 하지 않기 별도의 채널 스위칭이 필요하지 않다. 다만, Intra-communication 시기의 경우 자신의 하위인 parent의 게이트와의 통신을 보장하여야 한다. 즉, 이 시기에 가장 우선시 되는 통신은 게이트웨이와 parent의 통신이므로 멤버 노드는 parent와 통신을 해서는 안 된다. 이러한 멤버 메쉬 포인트의 MAC frame은 그림3의 멤버 메쉬 포인트의 채널 모습에서 살펴볼 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 이동성 지원 무선 메쉬 네트워크의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 환경을 설명하고 그 결과를 분석한다.

3.1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 NS-3 simulator<sup>[13]</sup> 사용하여 제안

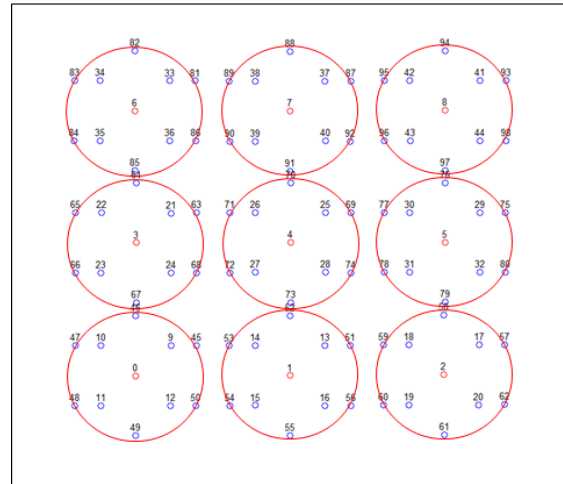


그림 4. 시뮬레이션 초기 토폴로지  
Fig. 4 Initial topology

하는 시스템 모델의 성능을 분석하였다. 표1은 시뮬레이션에서 사용한 구체적인 설정값을 나타낸다. 메쉬 포인트들의 초기 토폴로지는 그림4와 같다.

메쉬 포인트들의 모든 메쉬 포인트의 성능은 동일하다. 그룹 이동성을 구현하기 위하여 NS-3에서 제공하는 이동성 모델들을 사용하였다. 9개의 클러스터 헤드들은 random-direction-mobility 모델을 사용하여 이동성을 갖는다. 이에 4개의 클러스터 멤버와 6개의 게이트웨이는 클러스터 헤드를 중심으로 하는 경계 안에서 random-walk-mobility 모델을 이용하여 이동성을 갖는다. 결과적으로 같은 클러스터에 속한 멤버들은 클러스터 헤드를 중심으로 그룹 이동성을 갖게 된다.

트래픽 모델의 경우 군용 VoIP 표준인 ITU-T G.723.1<sup>[15]</sup> 트래픽을 사용하며 클러스터 멤버들의 트래픽을 각각의 클러스터 헤드가 모아 다른 클러스터 헤드에게 전송하는 상황을 가정한다. 이 때, 각각의 클러스터의 정보는 그림4에서 가운데에 위치한 5번 클러스터의 헤드에게 보고하는 시나리오를 가정한다. 본 시뮬레이션에서는 트래픽의 수를 증가시키며 트래픽 로드와 따른 네트워크의 성능 분석 또한 함께하였다.

본 논문에서는 이동성 지원 메쉬 네트워크의 성능 분석을 위하여 패킷 손실률, 평균 지연 시간, 평균 지터(jitter)를 시뮬레이션을 통하여 구하고 이를 비교한다.

패킷 손실률은 수신 단에서 측정하며 어플리케이션 단에서 측정한 end-to-end 간에서의 패킷 손실로 정의한다. 이 때, 도착한 패킷의 sequence number가 미리 도착한 패킷의 sequence number 보다 클

경우 또한 수신단에서 패킷을 드롭시킨다.

브로드캐스팅 메시지 오버헤드는 라우팅 작업에서 수행되는 컨트롤 메시지의 재전송 횟수로 측정하였다. 802.11s의 기본 라우팅 프로토콜인 HWMP의 경우 라우팅 경로를 찾기 위하여 PREQ 메시지를 브로드캐스팅 한다. 만일 PREQ에 대한 응답이 오지 않을 경우 재전송 과정을 3회까지 수행한다. 3회 재전송을 하여도 응답이 오지 않는 경우 링크 실패로 판단한다. 본 시뮬레이션에서는 링크 실패의 횟수를 브로드캐스팅 오버헤드의 척도로 가정한다.

평균 지연 시간과 평균 지터 역시 어플리케이션에서 측정된 값이며 송신단의 어플리케이션 단에서 타임 스탬프 값을 패킷에 저장하여 전달하며, 수신단의 어플리케이션 단에서 저장된 타임 스탬프 값을 이용하여 지연 시간과 지터값을 계산한다.

표 1. Simulation parameter  
Table.1. Simulation parameter

Traffic Model	UDP with CBR (5.3kbps)
PHY reference	IEEE 802.11a
Frequency	5GHz
Bandwidth	20MHz
Channel	- Constant speed propagation delay model - Log distance propagation loss model
Modulation	BPSK,QPSK,16-QAM,64-QAM
MAC	DCF only
Routing	HWMP (reactive mode only)
Simulation time	1000 sec

### 3.2. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 클러스터 기반의 멀티 채널 MAC 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 단일 채널을 사용하는 기본 802.11s 프로토콜과 비교하고자 한다. 시뮬레이션은 똑같은 이동성 모델을 사용하며 이때 멀티 채널을 사용하는 제안하는 알고리즘과 단일 채널을 사용하는 802.11s의 비교를 통하여 제안하는 알고리즘의 성능을 비교한다.

그림5는 end-to-end 단의 packet loss rate의 결과 그래프이다. 전체적으로 멀티 채널을 사용하였을 때 packet loss rate가 크게 낮아졌다. 제안한 알고리즘을 사용하였을 때 하나의 채널을 사용하였을 때보다 약 20% ~ 40%의 패킷을 성공적으로 전달하게 된다. 이는 멀티 채널을 사용함으로써 이동성에 의

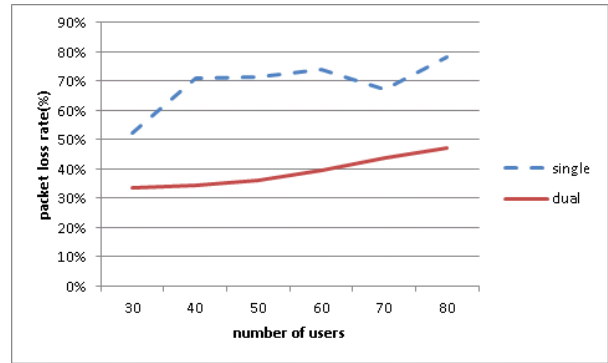


그림 5. 사용자 수에 따른 패킷 손실률  
Fig. 5. Packet loss rate

한 MAC 단의 collision 확률이 줄어들기 때문이다. 또한 통신 반경 내에서 동일한 채널을 사용하는 메쉬 포인트의 수가 적기 때문에 채널의 상태 또한 하나의 채널을 사용할 때보다 우수하다. 따라서 제안한 알고리즘을 사용할 경우 패킷의 전송확률이 늘어나게 된다.

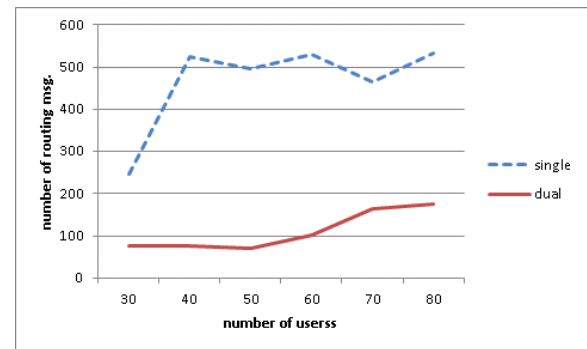


그림 6. 사용자 수에 따른 routing broadcasting message 수  
Fig. 6. Number of routing messages

이러한 MAC 계층과 PHY 계층에서 얻을 수 있는 이득은 routing broadcasting message의 오버헤드에도 영향을 미친다. 그림6은 두 시스템의 routing overhead를 보여준다. 제안한 알고리즘을 사용하였을 때 오버헤드가 약 80%정도 수준으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 멀티 채널을 사용할 경우 클러스터 내의 라우팅은 트리 기반으로 동작하며 상대적으로 속도가 적은 클러스터 내부의 이동성에만 영향을 받게 된다. 즉 하나의 채널을 사용하는 경우보다 그룹의 이동성의 영향을 적게 받게 된다. 게다가, 하나의 채널을 사용하는 경우 채널의 상태가 좋지 않아 라우팅 브로드캐스팅 메시지의 전송 성공률 또한 저하되며 이는 브로드캐스팅 메시지의 재전송 현상을 심화시킨다. 이러한 현상은 브로드캐스

팅 메시지의 수를 급격하게 증가하는 broadcasting storm 현상을 야기하며 네트워크의 전반적인 성능을 크게 악화시키게 된다.

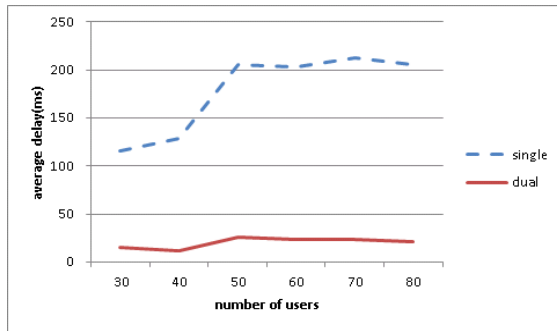


그림 7. 사용자 수에 따른 평균 지연시간  
Fig. 7. Average delay

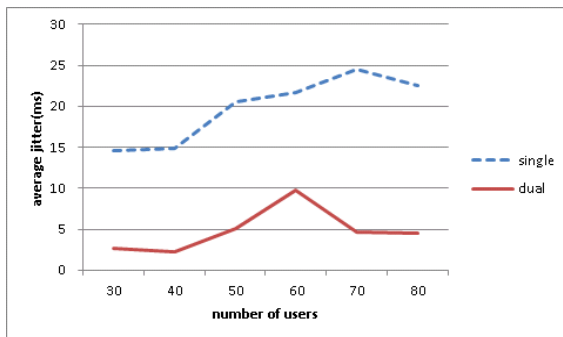


그림 8. 사용자 수에 따른 평균 지터  
Fig. 8. Average jitter

그림7과 그림8은 VoIP 서비스의 주요 QoS 파라미터인 평균 지연 시간과 평균 지터를 나타낸다. 전반적으로 두 시스템 모두 G.713 트래픽의 QoS를 만족시키는 결과를 나타낸다. 그러나 두 시스템을 비교하였을 때 제안한 알고리즘의 성능이 우수한 것으로 나타난다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 경우 채널을 스위칭하는 과정에서 평균 지연시간과 평균 지터 측면에서 손해가 발생한다. 그러나 멀티 채널환경에서는 단일 채널 환경보다 2배의 대역폭을 할당받아 사용을 하기 때문에 평균 지연시간 측면에서 이득을 얻을 수 있다, 또한, 하나의 채널을 사용하는 경우 보다 end-to-end 간의 평균 홉수가 적게 되므로 평균 지연시간과 평균 지터 측면에서 이득을 얻을 수 있다. 또한 collision 감소 및 채널 상태에 대한 이득을 얻을 수 있어 시스템 전체적으로 오히려 우수한 성능을 나타내게 된다.

#### IV. 결 론

그룹 이동성을 갖고 이동하는 개체를 대상으로 하는 전술 네트워크의 경우 이동성에의하여 안정적인 통신이 이루어지지 않는다. 특히, 이동성에 의한 collision의 증가와 동일한 채널을 사용하는 메쉬 포인트의 증가에 따라 채널의 불안정으로 인하여 패킷의 손실이 매우 커진다. 또한, 라우팅 브로드캐스팅 메시지의 급증으로 인하여 네트워크에 과부하가 걸리게 된다. 본 논문에서는 전술 상황에 적합한 클러스터 기반의 멀티 채널 MAC 알고리즘을 제안하였다. NS-3 시뮬레이터를 사용하여 모의 실험을 한 결과 제안한 알고리즘을 사용하였을 때 단일 채널을 사용하였을 경우 보다 패킷 손실률에 있어 성능의 향상을 확인하였다. 또한, VoIP 어플리케이션의 중요 척도인 delay와 jitter의 측면에서도 상대적 성능 향상을 확인하였다. 그리고 네트워크의 성능하락에 영향을 미치던 브로드캐스팅 오버헤드의 감소 또한 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] G.R Hiertz, D. Denteneer, S. Max, R. Taori, J. Cardona, L. Berlemann, B. Walke, "IEEE 802.11s:The Wlan mesh standard," Wireless Communications, IEEE, Vol.17, pp.104-111, February, 2010
- [2] 이민호, "Mesh Network 기술동향 및 Applications", 전파지, 7-8월호, 2005년
- [3] 황정섭, 백해현, "네트워크 중심전을 위한 군 정보 통신 장비 기술/발전 동향", 한국전자과학회지, 제 19권, 제 4호, pp.15-32, 7월, 2008년.
- [4] U. D.S.Alberts, J.J. Garstka, and F.P.Stein, "Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority," U.S.Department of Defense C4ISR Cooperative Research Program Publication Series, 1999.
- [5] J. B. Lyons, S. D. Swindler, and J. A. White, "Network centric warfare : Organizational collaboration as a key enabler," Collaborative Technologies and Systems, 2008. CTS 2008. International Symposium on, pp. 367-374, Apr 30 2008.
- [6] D. Johnson and D. Maltz, "Dynamic source



routing in ad hoc wireless networks," Mobile Computing, T. Imielinski and H. Korth, Eds. Norwell : Kluwer, vol. 353, pp.153-181, 1996.

[7] E. Gerhards-Padilla, M. Gerharz, M. Frak, and P. Martini, "Modeling mobility in disaster area scenarios," Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Jan 1, 2007.

[8] J. M. Ng and U. Zhang, "Reference region group mobility model for ad hoc networks," Wireless and Optical Communications Networks, 2005. WOCN 2005. Second IFIP International Conference on, pp. 290-294, Feb 28 2005.

[9] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," MSWIM'99 : Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, Aug 1 1999.

[10] 조무호 "클러스터 트리 라우팅 프로토콜 연구", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.8, pp.138-143, December 2005

[11] Jane Y.YU and Peter H. J. Chong, "A survey of clustering schemes for mobile ad hoc networks," IEEE communications, 2005.

[12] 김종현, 임성국, 전한열, 이재용 "이동성 무선 메쉬 네트워크의 성능 분석", JCCI 2011, 2011년 5월

[13] <http://www.nsnam.org>

[14] <http://eu.sabotage.org/www/ITU/G/G7231nae.pdf>

[15] Biao Zhou, Yeng-Zhong Lee, Gerla M., "Direction assisted Geographic Routing for mobile ad hoc networks," Military Communications Conference (MILCOM) 2008, pp 1-7, 2008.

[16] Zygmunt J. Haas and Jing Deng, "Dual busy tone multiple access (DBTMA) a multiple access control scheme for ad-hoc networks," IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 50, NO. 6, pp.975 - 985, JUNE 2002

[17] Hongqiang Zhai, Jianfeng Wang and Yuguang Fang, "DUCHA: A New Dual-Channel MAC Protocol for Multihop Ad Hoc Networks,"

IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 5, NO. 11, pp.3224-3233, NOVEMBER 2006

[18] Hang Su and Xi Zhang "Clustering-Based Multichannel MAC Protocols for QoS Provisionings Over Vehicular Ad Hoc Networks," IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 56, NO. 6, pp.3309-3324, NOVEMBER 2007

김종현 (Jonghun Kim)

준회원



2010년 2월 연세대학교 전기 전자공학과  
2010년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석박통합과정 <관심분야> 이동통신공학, Mesh Network, IoT device

전한열 (HahnEarl Jeon)

중신회원



1995년 2월 연세대학교 전자 공학과  
1997년 8월 연세대학교 전자 공학과 석사  
2003년 3월 연세대학교 전기전자공학과 박사  
2003년 3월~2004년 2월 연세대학교 차세대방송기술 연구

센터 연구교수

2004년 7월~2008년 2월 방송위원회 연구위원  
2009년 3월~2010년 2월 연세대학교 차세대 RFID/USN 연구센터 연구교수  
2010년 3월~현재 한국방송통신전파진흥원 책임연구원  
<관심분야> QoS Routing, Wireless Sensor Network, Wireless Multihop Network, 융합기술, n-스크린

이재용 (Jaiyong Lee)

중신회원



1977년 2월 연세대학교 전자공학과  
1984년 5월 IOWA State University 공학석사  
1987년 5월 IOWA State University 공학박사  
1987년 6월~1994년 8월 포항

공과대학 교수

1994년 5월~현재 연세대학교 전자공학과 교수

<관심분야> Protocol Design for Wired/Wireless QoS Management, Ubiquitous Sensor Network, Wireless Multihop Network

유영빈 (Young Bin You)

정회원



2005년 2월 연세대학교 정보산업공학전공  
2007년 2월 연세대학교 컴퓨터과학 석사  
2007년 3월~2007년 12월 삼성 전자 정보통신총괄 통신연구소

2008년 1월~현재 (주)LIG넥스원 통신연구소

<관심분야> MANET, WSN, RTOS

박수범 (Soo Bum Park)

정회원



2001년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
2006년 2월 한양대학교 정보통신공학과 석사  
2000년 4월~2005년 9월 (주)시머스 기술연구소  
2007년 10월~현재 (주)LIG넥

스원 통신연구소

<관심분야> MANET, WSN, Cognitive Radio