

무선 메쉬 네트워크의 군 환경 적용을 위한 클러스터 기반 멀티채널 할당 기법

A Cluster Based Multi-channel Assignment Scheme for Adaptive Tactical Wireless Mesh Network

김 영 안*

Young-An Kim

Abstract

The Wireless Mesh Network(WMN) technology is able to provide an infrastructure for isolated islands, in which it is difficult to install cables or wide area such as battlefield. Therefore, WMN is frequently used to satisfy needs for internet connection and active studies and research on them are in progress. However, as a result of increase in number of hops under hop-by-hop communication environment has caused a significant decrease in throughput and an increase in delay. Considering the heavy traffic of real-time data, such as voice or moving pictures to adaptive WMN, in a military environment. Such phenomenon might cause an issue in fairness index. In order to resolve this issue, we proposed a Cluster Based Multi-channel Assignment Scheme(CB-MAS) for adaptive tactical wireless mesh network. In the CB-MAS, the communication between the Cluster-Head(CH) and cluster member nodes uses a channel has no effect on channels being used by the inter-CH links. Therefore, the CB-MAS can minimize the interference within multi-channel environments. Our Simulation results showed that CB-MAS achieves improved the throughput and fairness index in WMN.

Keywords : WMN, Cluster-Head, CB-MAS, Fairness Index, Throughput

1. 서론

무선 네트워크 환경에서 유선 인터넷으로 접속에 대한 요구가 증가함에 따라 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서 이러한 요구를 충족시키기 위한 기술들이 중요한

이슈로 대두되고 있다. 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 해결책으로 무선 메쉬 네트워크(WMN : Wireless Mesh Network)가 주목받고 있다^[1].

WMN는 기존의 유선 기술이나 다른 무선 기술이 비용적 측면에서 접근하기 힘든 섬지역 또는 군 환경에서 WMN을 통해 연결하여 인터넷 서비스를 제공하거나 기존의 네트워크를 확장하는 데 매우 중요한 응용 분야이다. 우리나라와 같이 전 국토의 대부분이 광대역 통신망으로 연결된 나라에서는 그 필요성이 크게

† 2011년 5월 31일 접수~2011년 8월 26일 게재승인

* 국방대학교(Korea National Defense University)

책임저자 : 김영안(roundsun26@hotmail.com)

부각되지 않지만, 군 환경처럼 전장이 넓고 인구 밀도가 낮은 환경 즉 전방부대처럼 통신망의 보급이 매우 어렵고, 부족한 지역에서 WMN은 기존 유선망과 멀리 떨어진 지역을 위해 해결책으로 부상하고 있다. 다시 말해, WMN은 기존 네트워크의 도달 범위를 확장시키는 기술로 유선 기술을 설치하기 힘들거나 비용이 부담되는 지역, 즉 전술훈련을 위한 군 환경이나 비상 대비를 위한 새로운 형태의 접속 망으로 표준화 작업이 한창 이루어지고 있다. 그러나 WMN에서는 다중 홉 통신 환경에서 홉 수의 증가로 인한 성능의 급격한 감소는 물론 지연이 급격히 증가되는 결과를 초래하고 있다. 이러한 WMN을 군 환경에 적용할 때 게이트웨이를 통하는 음성이나 동영상과 같은 실시간 데이터 트래픽이 많은 부분을 차지할 것으로 볼 때, 멀리 떨어진 독립부대 메쉬라우터(MR : Mesh Router)에 연결된 단말들은 실시간 서비스 받기가 제한이 되어 이로 인해 부대간 공정성에 대한 문제가 발생하게 된다^[2].

또한, WMN은 무선 멀티 홉 환경이므로 홉 개수가 증가하거나 각 MR들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생할 확률이 높아진다. 그 결과 네트워크 성능이나 패킷 지연 시간 등의 측면에서 성능이 급격히 떨어진다. 이러한 성능 저하의 근본적인 원인은 첫째, 데이터 전송이 동시에 일어난 경우 데이터가 전달되는 경로들 간에 간섭이 일어나기 때문이며 둘째, 무선 링크는 모든 전송이 브로드캐스트되는 특징이 있으므로 노드 간에 채널 사용을 위한 경쟁이 발생하기 때문이다. 마지막으로 무선 링크를 사용하는 노드의 인터페이스는 데이터 송신과 수신을 동시에 수행할 수 없기 때문이다. 이러한 문제들을 해결하여 네트워크 성능을 높이기 위해 파워 컨트롤, 방향성 안테나를 이용한 공간 재사용이나 멀티레이트 및 멀티채널 등의 많은 연구가 진행되고 있다^[2,3].

본 논문에서는 멀티채널 WMN에서 새로운 채널 할당 방식을 통해 네트워크 성능을 향상시키기 위해서 이러한 문제점을 해결하기 위한 클러스터 기반 알고리즘을 이용한 자율적인 채널 할당 기법을 제안한다. 본 기법은 여러 노드들이 클러스터를 형성하고, 형성된 클러스터 마다 가장 간섭이 적은 채널을 선택해서 할당을 하는 것이 가능하다. 제안방식의 성능 평가를 위해 NS-2를 이용 시뮬레이션을 실시한 결과 기존방식보다 처리량 및 불공평 문제에 대한 개선 효과가 현저하게 있는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성으로 2절에서는 관련연구로 WMN의

기본 구성도, 채널수와 인터페이스 수에 의해 기존에 제안된 채널 할당 알고리즘에 대해 소개하고, 3절에서는 군 환경을 고려한 WMN 구조와 제안하는 클러스터링 채널 할당 알고리즘에 대하여 구체적으로 살펴본다. 4절에서는 제안 방식에 대한 성능평가를 실시하였으며, 마지막 5절에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련연구

WMN은 에드혹 네트워크와 달리 하위 노드들에게 인터넷에 접속할 수 있는 구조를 제공하기 위해 연구되고 있는 네트워크의 형태로 전송속도와 링크의 신뢰성을 높이는데 목적을 두고 있다.

WMN에는 Fig. 1과 같이 크게 세 가지의 부류의 노드가 존재하는데 이는 MR와 메쉬 클라이언트(MC : Mesh Client), 그리고 WMN와 유선 네트워크를 연결하는 메쉬 게이트웨이(MGW : Mesh Gateway) 이다. MR은 WMN에서 중요한 역할을 수행하는 노드로써 IEEE 802. 11^[2]과 같은 네트워크 인터페이스를 사용하여 서로 간의 무선 링크를 통해 무선 백본 네트워크를 형성한다. 또한, MC는 인터넷 접속을 위해 MR의 무선 백본 네트워크를 통해 유선 네트워크로 연결되며, MGW는 유선 네트워크를 이어주는 역할을 수행한다.

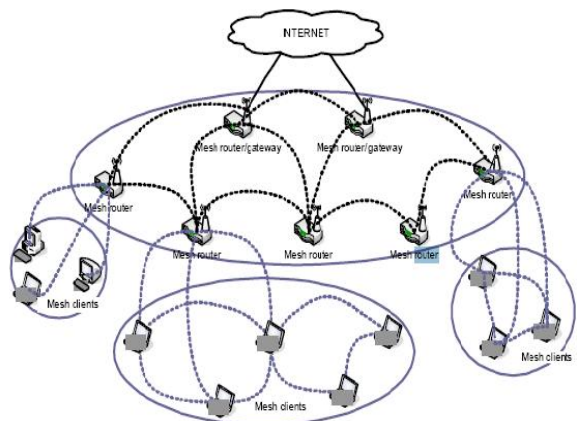


Fig. 1. Wireless Mesh Network

여기서 MR 들은 서로 간에 유선 링크를 사용하지 않고 무선 링크로 연결되어 있기 때문에 무선 접속 네트워크에서의 비용 절감 효과를 기대할 수 있으며, 네트워크 서비스 영역을 쉽게 넓힐 수 있다. 또한,

WMN에서는 대부분의 MC들이 인터넷 접속을 시도할 것이므로 트래픽이 MGW로 집중되는 특성을 가진다.

WMN의 멀티 홉 환경에서는 동일 경로상에서 홉간의 간섭뿐만 아니라 인접경로 상의 홉간의 간섭 때문에 단일채널의 경우 중단간 성능저하가 매우 심각하다. 따라서 높은 수율이 요구되는 WMN에서는 멀티채널 사용이 반드시 필요하며 이를 위해 멀티채널 할당 알고리즘을 개발하기 위해 많은 연구를 하고 있다^{13~9)}.

가. 멀티채널 할당 알고리즘

멀티채널 할당 알고리즘은 크게 두 가지 환경에서 연구되고 있다. 첫째로 멀티채널/단일 인터페이스 환경으로 IEEE 802. 11 MAC을 사용한다. 멀티채널/단일 인터페이스 방안들은 하나의 인터페이스를 가지고 가장 간섭을 적게 일으키는 채널을 할당해 데이터를 전송하는 방안으로써 대표적으로 MIMAC_CT³⁾, MMAC⁴⁾, SSCH⁵⁾ 등이 있다. 둘째로 멀티채널/멀티인터페이스 환경으로 다중의 IEEE 802. 11 MAC을 사용하여 가장 간섭을 적게 일으키는 채널을 다중의 인터페이스에 할당하는 방안으로써 대표적으로 HMCP, HYACINTH, BFS-CA, MUP 등이 있다^{16~9)}.

1) 멀티채널 단일 인터페이스

MMAC-CT(MMAC Using Clearest Channel at Transmitter)³⁾는 무선 신호의 세기는 거리에 따라 감소한다는 사실을 기반으로 둔다. 그래서 가장 낮은 반송파 신호를 가진 채널은 그 영역에서 가장 적게 사용되는 채널이다. 이것은 히든터미널 문제 때문에 발생하는 패킷 충돌 확률이 이 채널에서 가장 적게 일어난다는 것을 의미한다. 비록 가장 낮은 반송파 신호 세기를 갖는 것이 해당 송신 노드가 먼 거리에 있다는 것을 나타내지만 목적이 항상 실현되는 것은 아니다.

MMAC⁴⁾은 단일 인터페이스를 사용하는 멀티채널을 위한 MAC 방안이다. 노드들은 주기적으로 공통 채널을 변경하며 데이터 전송을 위해 사용할 채널을 결정하기 위해 고정된 협상 기간 동안 공통 채널에 머무른다. 고정된 협상 기간 마지막에 노드들은 데이터 전송을 위해 자신의 채널을 선택한 채널로 변경한다. MMAC은 단일 인터페이스를 요구하며 IEEE 802. 11 Power Save Mode를 확장하였다. MMAC은 노드들 사이에 엄격한 동기화를 요구하며, 이것은 멀티-홉 네트워크에서 아직 해결하기 힘든 문제점이다.

SSCH(Slotted Seeded Channel Hopping)⁵⁾는 단일 인

터페이스를 사용하는 링크 계층 방안이며 IEEE 802. 11 MAC 의해서 동작한다.

SSCH가 구현된 노드는 seed 집합으로 구동되는 pseudo-random 시퀀스를 사용하며 이 시퀀스는 모든 타임 슬롯에 인터페이스의 채널을 어떤 경로로 사용할지를 선택하기 위해 사용된다. 어떤 두 노드에 의해 사용되는 pseudo-random 시퀀스는 데이터 전송을 위해 채널을 주기적으로 중첩시키는 것을 보장한다. 또한 통신을 자주 하는 노드들 사이에 채널 중첩을 증가시키기 위해 seed 값을 부분적으로 동기화할 수 있다. SSCH는 홉간 pseudo-random 시퀀스를 사용해 채널 동기를 맞추기 때문에 경우에 따라 다음 목적지 노드와 채널 동기가 맞지 않을 수 있으며 이 때문에 각 홉에서 지연시간이 발생한다. 그러므로 SSCH는 멀티 홉 통신에서 매우 큰 지연시간을 가져올 수 있다.

2) 멀티채널 멀티 인터페이스

HMCP(Hybride Multi-Channel Protocol)⁶⁾는 패킷 단위로 채널을 할당하는 방식으로 모든 노드들이 적어도 두 개의 무선 인터페이스를 가지고 있는 것을 가정한다. 모든 노드는 자신의 인터페이스를 두 그룹으로 분류한다. 첫 번째 그룹의 인터페이스는 고정 인터페이스로 고정된 채널을 사용한다. 두 번째 그룹에 있는 인터페이스들은 스위칭 인터페이스로 이 인터페이스는 채널을 고정시키지 않고 패킷 전송을 위해 사용한다. HMCP는 패킷 단위로 채널을 변경하기 때문에 데이터 전송 시점에 발생하는 충돌 횟수는 현저하게 감소하여 네트워크 수율을 증가시킬 수 있다. 하지만 기존 IEEE 802. 11 PHY 기반 인터페이스들은 높은 채널 스위칭 지연시간을 갖고 있기 때문에 패킷 단위로 채널을 변경할 경우 심한 성능 저하를 가져올 수 있다.

HYACINTH⁷⁾은 load-aware한 채널 할당 방안으로써 채널 할당 방안을 두 측면으로 접근하였다. 첫째는 neighbor-interface binding으로써 자신의 인터페이스를 어떤 이웃 노드 인터페이스와 연결할 것인지를 결정하는 과정이며, 이과정은 분산된 환경에 있는 노드 사이에 채널 의존성 문제를 해결하기 위한 것으로 노드의 인터페이스를 DOWN-NIC와 UP-NIC가 분류하여 사용한다. Fig. 2에서와 같이 UP-NIC는 부모 노드의 인터페이스와 DOWN-NIC는 자식 노드의 인터페이스와 연결된다. 두 번째는 interface-channel assignment로써 이웃 노드와 연결된 인터페이스에 어떤 채널을 할당할지를 결정하는 과정이다.

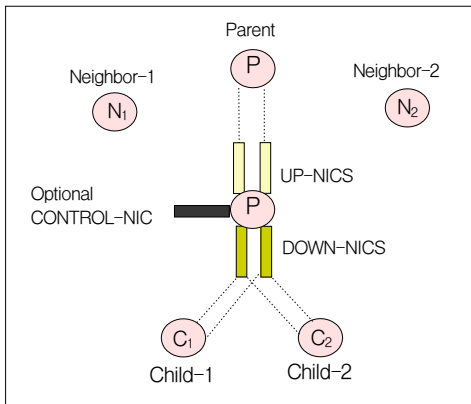


Fig. 2. Neighbor-interface Binding Structure

3. 클러스터 기반 멀티채널 할당 기법(CB-MAS)

가. 군 환경을 고려한 WMN

Fig. 3에서와 같이 군 환경 적용을 위한 WMN 기술은 우선 사단급 이상 제대에 구축되어 있는 유선망을 이용하여(미래 TICN으로 구축) 연대급 이하 특히, 전방지역에 배치되어 있는 중대급 이상에 MR을 설치하고 인접 부대간 WMN를 구축하여 실시간 정보 공유가 가능한 환경을 구축하여 전시를 대비하므로 군에서도 저비용 고효율을 지향할 수 있을 것이다.

이러한 군에서 추구하는 목표는 거리와 관계없이 긴급하고 중요한 정보를 우선적으로 수집하고 전파할 수 있는 체계와 QoS를 보장하는 프로토콜 기법이 필요하다.

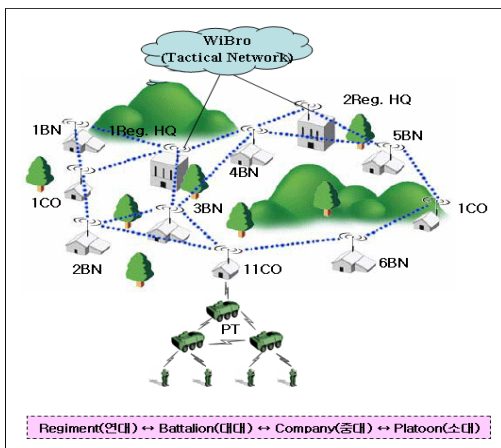


Fig. 3. Adaptive Tactical WMN Overview

나. CB-MAS

본 방식은 CGSR(Cluster-head Gateway Switch Routing)^[10]을 기본으로 문제점을 발전시킨 채널 할당 방식 알고리즘으로 각 노드는 각각 클러스터 중심인 클러스터 헤드, 타 클러스터와의 중계를 담당하는 게이트웨이, 클러스터에 속하는 일반 노드로 구성되며, 일반 노드 중에서 규칙을 결정한다. 그래서 여러 노드들이 자율적으로 클러스터를 형성하고, 분할된 클러스터마다 가장 간섭이 적은 채널을 선택해서 할당을 하는 단순한 알고리즘으로 적절한 동적 채널 할당이 가능하다. Fig. 4는 본 방식을 이용한 클러스터 링크와 멀티채널 할당에 대해 나타내고 있다.

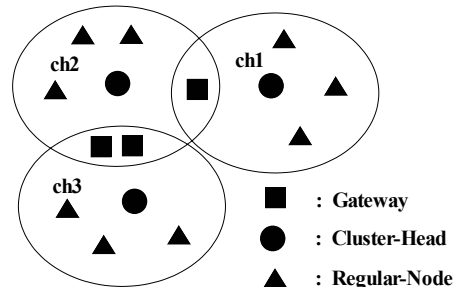


Fig. 4. Clustering link and Multi-channel Assignment

Table 1. CB-MAS Algorithm

Pseudo Code : Algorithm

1. While Cluster \neq 0 do
2. if N-node_u > N-node_v then
3. set u to CH _{i} and Cluster _{u} to N-ID _{i}
4. else
5. set v to CH _{i} and Cluster _{v} to N-ID _{i}
6. end if
7. Assign {CH _{i} , N-ID _{i} } to Cluster _{i}
8. end while
9. if DCh \neq Ch then
10. Assign the default channel to all N-ID _{i}
11. if CH _{j} \neq NCH then
12. Assign the default channel to EC
13. end if
14. end if

N-node : Neighbor Node

CH : Cluster Head

N-ID : Node-ID

DCh : Default Channel

EC : Edge Cluster

NCH : Neighbor CH

Table 1은 제안하는 CB-MAS 알고리즘을 기술한 것이다. CB-MAS는 클러스터 기반 알고리즘, 클러스터들 간의 채널 할당과 각 클러스터 내에서의 채널 할당을 수행한다.

1) 클러스터 기반 알고리즘

본 방식에서는 각 노드가 클러스터 링크용 테이블을 가지고 있으며, 인접 노드에 자신의 노드 정보를 Hello 패킷에 실어 일정 간격으로 송신하는 것으로 인접 노드 정보를 획득하고 자신의 노드의 규칙을 결정한다. 노드의 규칙은 LCC(Least Cluster Change)에 의해 결정되고, 규칙 변경은 테이블내의 Cluster-Head (CH) 수가 변화될 때에 행해진다. CH의 선출지표로서는 Fig. 5와 같이 인접 노드가 제일 많은 노드를 CH로 선출하며, Highest-Connectivity와 인접 노드 수가 같은 경우에는 노드 ID가 작은 경우에 선출되는 Lowest-ID를 Cluster-Head로 선출한다.

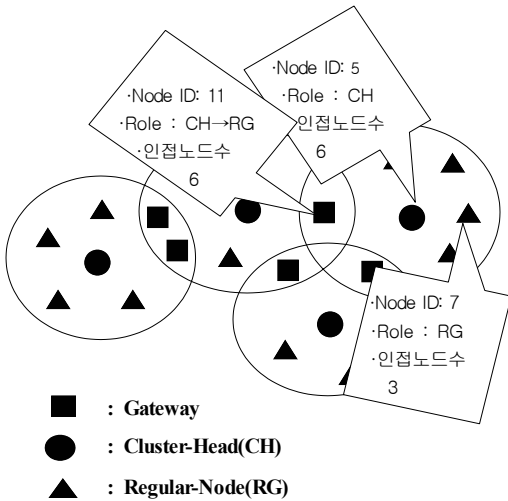


Fig. 5. Cluster-Head election Algorithm

Cluster-Head(CH) 이외의 규칙은 테이블내의 CH수 (소속하는 클러스터 수)에 의해 결정한다. CH수에 변화가 있을 경우는 Fig. 6과 같이 4가지의 역할 변경이 있다.

- ① 다른 Cluster-Head에 지표로서 경우
- ② Cluster-Head 수가 0이 되었을 경우
- ③ Cluster-Head가 1이 되었을 경우
- ④ Cluster-Head가 복수로 되었을 경우

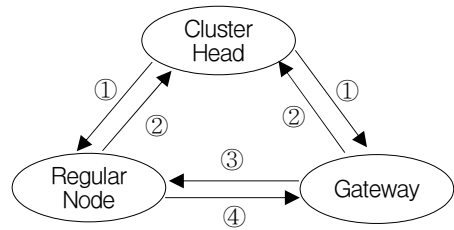


Fig. 6. The functions by the number of Cluster-Head

2) 채널 할당 알고리즘

본 방식에서는 각 CH가 테이블 정보 관리와 채널 할당을 담당한다. 일정간격 마다 테이블 정보를 실은 hello의 패킷을 송신하여, Gateway를 통해서 인접하는 클러스터의 CH에 도달한다.

이 동작에서 주위 클러스터의 채널 정보를 변경하여 그 정보를 기초로 가장 간섭이 적은 채널의 선정 및 클러스터에의 채널 할당을 행한다. Table 2는 교환하는 테이블 정보이다. Hop 수에 의해 N 홉까지 송신하여 테이블 정보를 송신할 때에 Hop 수를 1씩 감소하여 송신한다. 여기서는 디폴트값을 2홉으로 했다.

Table 2. Used Channel Assignment Information

Cluster ID	Cluster ID
User Channel	Used Cluster Channel
Hop	TTL of Table Information

4. 성능평가

본 절에서는 제안 알고리즘을 이용하여 배치방법에 따른 제안방식의 처리량(Throughput) 및 공정성(Fairness Index)을 NS-2를 이용하여 평가했다.

가. 클러스터 링크에 대한 평가

클러스터링 알고리즘에 의한 노드의 규칙 결정에 의해서는 클러스터가 모든 노드를 커버할 수 없고, 통신이 불가능한 노드가 발생하는 경우를 생각할 수 있다. 그 때문에 클러스터 링크의 커버율의 평균치를 50m 간격으로 5×5 Grid 배치와 랜덤 배치의 2가지의 토폴로지를 이용하여 평가를 실시했다. 시뮬레이션 영역은 200m×200m, 각 노드의 통신반경을 90m로하고, 노드 수는 25개로 20번씩 시험을 실시했다. 결과로부

터 2가지 모두 평균 커버율이 100%로 되어 클러스터링 알고리즘은 비정상 노드와 같은 통신이 불가능한 노드는 발견되지 않았다.

나. 통신성능에 대한 평가

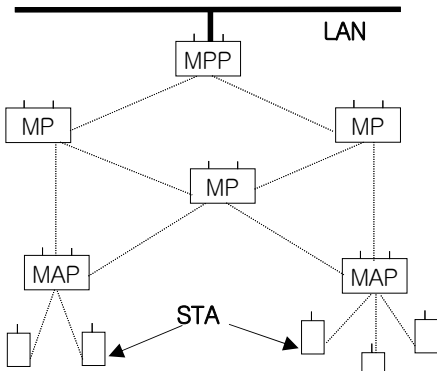
성능 확인을 위해 처리량과 공평성을 측정 하였다. 공평성은 식 (1)에 의해 평가 하였다.

$$F = \frac{(\sum x_i)^2}{n(\sum x_i^2)} \quad (1)$$

여기서 x_i 는 각 통신노드의 처리량이고, 1에 가까울 수록 공평성이 높다.

시뮬레이션은 200m×200m의 영역에 있어서 50m 간격으로 5×5 Grid 배치와 랜덤 배치의 2가지의 토폴로지로 4개의 채널을 준비하여 제안방식을 이용한 경우와 클러스터 기반을 이용하지 않은 기존방식들에 대하여 평가를 실시하였다.

시뮬레이션 환경은 Fig. 7과 같이 배치되어져 있는 노드로부터 MPP와 MAP를 랜덤으로 선출하여, MAP로부터 MPP에의 1~5세션으로 송신하는 형태로 실시하였다. 또 송출 트래픽은 FTP를 이용하였으며, 각 노드의 통신반경을 90m로 했다.



- MPP(Mesh Portal Point) : Mesh + Gateway
- MAP(Mesh Access Point) : Mesh + Access Point
- MP(Mesh Point) : Only Mesh
- STA(Station)

Fig. 7. Simulation Environment

먼저, 5×5 Grid 배치에 따른 공정성과 처리량에 대한 평가 결과를 Fig. 8, 9에 나타냈다.

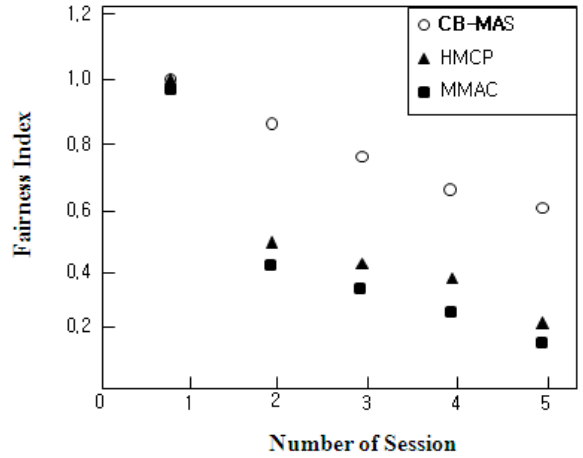


Fig. 8. Fairness Index(5×5 Grid)

결과로부터 제안방식은 5×5 Grid 배치의 경우 처리량과 공평성에 있어서 클러스터 기반을 사용하지 않은 기존방식들보다 현저하게 개선이 되었으며, 제안방식은 처리량과 불공평 간격의 개선에 유효하다는 것을 확인하였다.

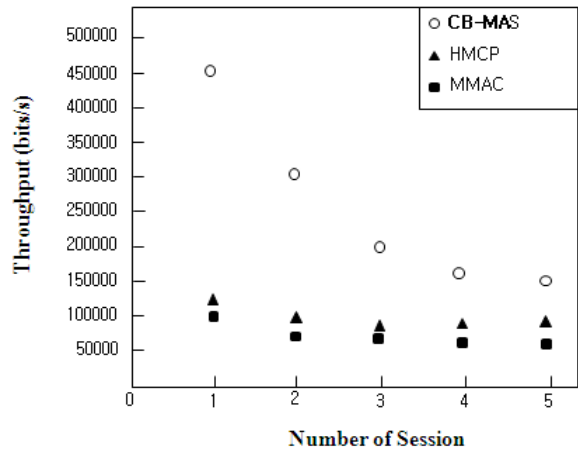


Fig. 9. Throughput(5×5 Grid)

랜덤 배치에 따른 공정성과 처리량 평가 결과를 Fig. 10, 11에 각각 나타냈다. 제안방식은 5×5 Grid 배치와 마찬가지로 랜덤 배치에서도 처리량과 공평성에 있어서 클러스터 기반을 사용하지 않은 기존방식들에 비해 현저하게 개선이 되었으며, 랜덤배치에서도 제안방식은 처리량과 불공평 간격의 개선에 유효하다는 것을 확인하였다.

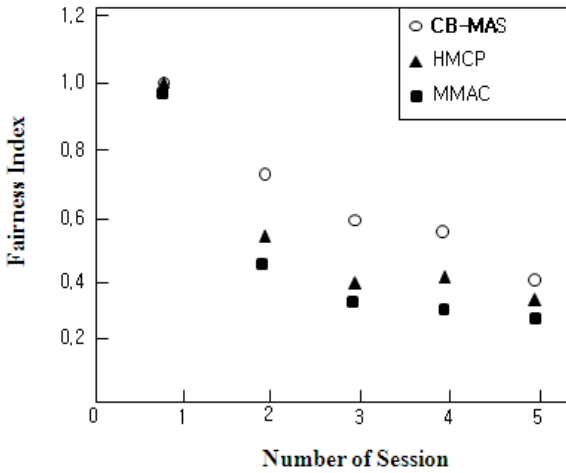


Fig. 10. Fairness Index(Random Disposition)

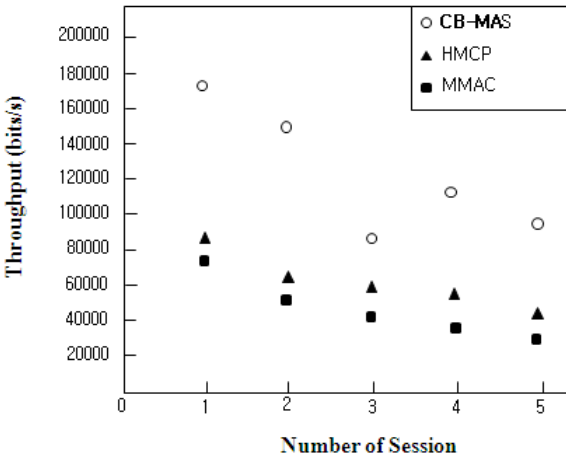


Fig. 11. Throughput(Random Disposition)

5. 결론

본 논문에서는 WMN에서 무선 멀티 홉 환경에서 홉 개수의 증가나 각 MR들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생하여 성능이 저하하거나, 패킷 지연시간에 의해 성능이 급격히 떨어지게 되는 문제에 대하여 클러스터링 이용한 채널 할당 방식을 제안하였다.

본 방식은 여러 노드들이 클러스터를 형성하고, 형성된 클러스터 마다 가장 간섭이 적은 채널을 선택해서 할당을 하는 것으로 제안방식에 대한 성능평가를

위해 공정성과 처리량에 대해 5x5 Grid 배치와 랜덤 배치의 토폴로지를 이용하여 시행한 결과 두 환경 모두 처리량과 공정성에 있어서 클러스터 기반을 사용하지 않은 기존방식들에 비해 현저하게 개선이 되었으며, 제안방식은 처리량과 불공평 간격의 개선에 유효하다는 것을 확인되었으며, 적절한 채널 할당을 행하는 것이 가능하고, 노드간의 통신간섭이 완화되었다.

향후 연구과제로 이론적 해석을 통한 제안 알고리즘 평가결과를 검증할 예정이다.

References

- [1] Lan F. Akyildiz, Georgia Institute of Technology, Xudong Wang, Kiyon, INC “A Survey on Wireless Mesh Network”, IEEE Radio Communication, pp. 23 ~30, Sep. 2005.
- [2] L. Chen and W. B. Heinzelman, “QoS-aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks”, IEEE Journal on Selected Area in Communications(JSAC '05), Vol. 23, pp. 561~572, Mar. 2005.
- [3] N. Jun, S. R. Das and A. Nasipuri, “A Multichannel MAC Protocol with Receiver Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks”, In Proc. of IEEE ICCCN, Oct. 2001.
- [4] J. So and N. H. Vaidya, “Multi-Channel MAC for Ad hoc Networks : Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using a Single Transceiver”, In Proc. of ACM MOBIHOC, May 2004.
- [5] P. Bahl, R. Chandra and J. Dunagan, “SSCH : Slotted Seeded Channel Hopping for Capacity Improvement in IEEE 802. 11 Ad hoc Wireless Networks”, in Proc. of ACM MOBIHOC, May 2004.
- [6] P. Kyasanur and N. Vaidya, “Routing and Interface Assignment in Multi-channel Multi-interface Wireless Networks”, In Proc. of IEEE WCNC, Mar. 2005.
- [7] A. Raniwala and T. Chiueh, “Architecture and Algorithms for an IEEE 802. 11-based Multi-channel Wireless Mesh Networks”, In Proc. of IEEE INFOCOM, Mar. 2005.
- [8] K. Ramachandran, E. Belding, K. Almeroth and M. Buddhikot, “Interference-aware Channel Assignment

- in Multi-radio Wireless Mesh Networks”, In Proc. of IEEE INFOCOM, Apr. 2006.
- [9] A. Adya, p. Bahl, J. Padhye, A. Wolman and L. Zhou, “A Multi-radio Unification Protocol for IEEE 802. 11 Wireless Networks”, In Proc. of IEEE BROADNETS, Oct. 2004.
- [10] C. C. Chiang, H. K. Ku, W. Liu and M. Gerla, “Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel”, IEEE Singapore International Conference on Networks, SICON '97.