

대규모 무선 메쉬 네트워크의 성능 향상을 위한 최소 간섭 채널 할당 알고리즘

정회원 류민우*, 차시호**^o, 종신회원 조국현*

A Minimum Interference Channel Assignment Algorithm for Performance Improvement of Large-Scale Wireless Mesh Networks

Min-Woo Ryu*, Si-Ho Cha**^o *Regular Members*, Kuk-Hyun Cho* *Lifelong Member*

요약

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network, WMN)는 다중 인터페이스와 다중 채널을 지원함으로써 기존의 무선 네트워크에서 발생하는 여러 문제점을 해결할 수 있는 핵심적인 미래기술로 대두되고 있다. WMN에서 다중 채널의 사용은 무선 네트워크 노드들이 사용하는 대역폭을 본질적으로 증가시켜준다. 그러나 이러한 대역폭을 충분히 사용하기 위해서는 다중 채널 환경에서 발생할 수 있는 채널 간 간섭을 최소화하는 채널 할당 기법이 요구된다. 본 논문에서는 WMN의 성능 향상을 위하여 클러스터링 기반의 최소 간섭 채널 할당(Minimum Interference Channel Assignment, MI-CA) 알고리즘을 제안한다. MI-CA 알고리즘은 클러스터 간의 Inter-Cluster 채널 할당과 클러스터 내부의 Intra-Cluster 채널 할당으로 구성된다. Inter-Cluster 채널 할당에서는 전체 WMN을 위한 베어본 채널을 MST(Minimum Spanning Tree) 기반으로 클러스터 헤더와 보더 노드에 할당하고, Intra-Cluster 채널 할당에서는 클러스터 멤버들 간에 직교채널을 재 할당함으로써 간섭을 최소화 한다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 MI-CA 알고리즘이 채널 간섭을 최소화함으로써 WMNs의 성능을 향상시킬 수 있음을 입증하였다.

Key Words : Wireless Mesh Networks, Channel Assignment, Channel Interference, Clustering

ABSTRACT

Wireless mesh network (WMN) is emerging a future core technology to resolve many problems derived from exist wireless networks by employing multi-interface and multi-channel. Ability to utilize multiple channels in WMNs substantially increases the effective bandwidth available to wireless network nodes. However, minimum interference channel assignment algorithms are required to use the effective bandwidth in multi-channel environments. This paper proposes a cluster-based minimum interference channel assignment (MI-CA) algorithm to improve the performance of WMN. The MI-CA algorithm is consists of Inter-Cluster and Intra-Cluster Intrachannel assignment between clusters and in the internal clusters, respectively. The Inter-Cluster channel assignment assigns a barebone channel to cluster heads and border nodes based on minimum spanning tree (MST) and the Intra-Cluster channel assignment minimizes channel interference by reassigning ortasgonal channels between cluster mespann. Our simheation results show that MI-CA can improve the performance of WMNs by minimizing channel interference.

I. 서론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network, WMN)

※ 이 논문은 2009년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

* 광운대학교 컴퓨터과학과({minu0921, chokh}@kw.ac.kr), ** 청운대학교 멀티미디어학과 (shcha@chungwoon.ac.kr) (°: 교신저자)
논문번호: #KICS2009-08-355, 접수일자: 2009년 10월 7일, 최종논문접수일자: 2009년 10월 8일

는 다중 인터페이스와 다중 채널을 지원함으로써 기존 무선 네트워크에서 발생하는 여러 문제점을 해결할 수 있는 핵심적인 미래기술로 대두되고 있다. 이러한 WMN은 기존의 애드 혹 네트워크 기술을 바탕으로 하고 있으며, 이동성 및 자원의 제약이 없고 자가 구성 및 자가 치료의 특징 때문에 확장 및 유지보수가 쉽다는 장점이 있다. 또한 메쉬 라우터의 호스트 라우터 기능을 통하여 기존의 네트워크 기술인 센서 네트워크, Wi-Fi, WPAN 등의 이 기종 네트워크와 통합하여 수용할 수 있다^[1].

그러나 이와 같은 장점에도 불구하고 WMN은 네트워크의 규모가 증감함에 따라 성능이 감소될 수 있는 문제점이 있다. 성능 감소의 이유는 크게 다음과 같은 두 가지로 나타낼 수 있다. 첫 번째는 메쉬 네트워크의 다중 채널 사용 환경에서 발생하는 문제점으로써, 특히 메쉬 백본에서의 라우터 간 채널 간섭으로 인하여 발생한다. 메쉬 라우터 간 채널 간섭은 전체 네트워크의 지연시간 증가 및 종단 간 처리량 감소라는 결과를 초래하게 된다. 두 번째 이유는 그림 1과 같이 WMN의 계층적인 구조에서 발생하는 문제점으로써, 메쉬 클라이언트에서 발생하는 트래픽이 메쉬 백본으로 집중되면서 메쉬 라우터에서의 병목현상을 초래하게 된다. 따라서 무선 메쉬 네트워크의 규모가 증가 될수록 중간에 거쳐야 하는 릴레이 홉의 길이가 길어지므로 이러한 문제는 더욱 더 심화된다^{[2][4]}. 현재 이러한 문제점을 해결하기 위하여 활발히 연구가 진행되고 있지만, 채널 간섭 문제와 계층적인 문제 해결이라는 두 가지 요구사항이 연구의 초점이 되어오지 않고 둘 중 하나의 문제점에 초점을 맞추어 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 WMN의 두 가지 요구

사항을 만족시키는 클러스터 기반의 최소 간섭 채널 할당 (Minimum Interference Channel Assignment, MI-CA) 방법을 제안한다. MI-CA에서는 메쉬 라우터 간의 채널 간섭을 최소화하기 위하여 클러스터링을 구성한다. MI-CA의 클러스터링은 기존의 클러스터링 알고리즘인 Max-Min D-Clustering 알고리즘^[5]을 사용하며, 채널 할당은 크게 클러스터 간의 Inter-Cluster 채널 할당과 클러스터 내부의 Intra-Cluster 채널 할당으로 구성된다. 또한 WMN의 계층적인 문제점에서 발생할 수 있는 트래픽 집중현상을 해결하기 위하여 전체 WMN을 위한 베어본 채널을 MST(Minimum Spanning Tree) 기반으로 클러스터 헤더와 보더 노드에 할당하여 트래픽 집중현상을 최소화 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WMN에서의 기존의 연구되었던 채널 할당 알고리즘을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 MI-CA 기법에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 제안된 MI-CA 기법의 성능평가를 통해 타당성을 입증하고 5장에서는 결론 및 향후 과제를 기술한다.

II. 관련 연구

무선 메쉬 네트워크의 규모 확장 시 발생하는 네트워크 성능 저하 문제를 해결하기 위해서는 채널 간의 간섭이 최소화 되어야 하며, 메쉬 라우터 간 연결성이 보장되어야 한다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서 채널 할당에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있다. M. Marina^[6]와 A. P. Subramanian^[7]은 토폴로지 기반의 채널 할당 방법으로서 연결성과 채널 간의 간섭을 동시에 보장하는 것을 목적으로 채널 할당 방법을 제안하였다. 그러나 Marina가 제안한 CLICA 알고리즘은 네트워크의 모든 링크에 균등한 트래픽 부하가 발생한다는 가정을 바탕으로 하고 있지만 실제 구축되는 WMN에서는 트래픽 부하가 다르기 때문에 실제 환경에는 적합하지 않는 단점이 있다. 또한 Subramanian은 이러한 문제를 해결하기 위해서 분산된 그리드 알고리즘을 제시하였다. 이 방법은 최소한의 간섭과 좋은 경로를 찾을 수는 있지만 제한된 인터페이스의 개수에서는 잘 동작하지 않는 문제점이 있다. M. Alicherry^[8]는 이러한 트래픽 반영 채널 할당 문제에 대한 근사 알고리즘인 Joint Routing, Channel Assignment and Link Scheduling(RCL) 알고리즘을 제안하였다. RCL 알고리즘은 채널 할당 문제와 라우팅 문제를 함께

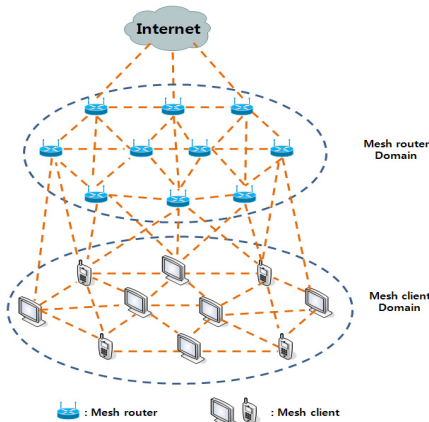


그림 1. 무선 메쉬 네트워크의 구조

해결하기 위한 선형 계획법 계산식을 만들고 이 계산식의 답을 통하여 토폴로지 상에 채널이 설정이 된다. 또한 최적의 채널 할당을 위해 토폴로지 상의 각 흐름에 대한 조정 작업을 한다. 하지만 무선 메쉬 네트워크에서 주로 사용하는 IEEE 802.11 DCF^[9]에서는 적용하기가 쉽지 않다는 단점이 있다. A. Raniwala^[10]는 채널 의존 문제를 해결하기 위하여 채널 할당과 라우팅을 위한 시스템 구조를 제안하였다. 두 개의 인터페이스를 UP-NICs와 DOWN-NICs로 나누어 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 구성하고 간섭 범위 내의 이웃 노드들에 의한 트래픽 부하 값을 이용하여 채널을 동적으로 할당하였다. 하지만 동적으로 채널을 변경하는 과정에서 발생하는 지연시간의 문제는 네트워크 확장의 크기와 비례하기 때문에 광범위한 무선 메쉬 네트워크에는 적합하지 않다. S. A. Makram^[11]은 동적으로 채널을 변경할 때 발생하는 문제를 해결하기 위해서 클러스터링 기반의 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. Makram이 제안한 방법은 Highest Connectivity Cluster(HCC) 알고리즘을 적용하여 노드간의 연결성을 높였으며, 클러스터 헤드 간의 클러스터 헤드를 선출하여 채널 관리의 복잡성을 줄였다. 하지만 특정 노드의 트래픽 부하 현상과 다수의 인터페이스를 사용해야 한다는 문제점이 있다.

앞서 언급된 관련 연구들은 주로 WMN의 규모 확장성에 따른 채널 간섭과 트래픽 집중 현상 문제에 대해서는 고려하지 않고 연구를 진행하였기 때문에 실제 네트워크 구축 시에는 많은 문제점이 발생한다. 따라서 WMN의 규모 확장 시 발생할 수 있는 채널 간의 간섭 문제와 트래픽 집중 현상을 해결하기 위한 연구가 필요하다.

III. MI-CA

일반적인 무선 메쉬 네트워크는 비방향성 그래프 $G=(V, E, K)$ 로 나타낼 수 있다. 여기에서 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 는 그래프에서의 노드들의 집합으로 본 논문에서는 메쉬 라우터로 나타낸다. $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ 는 이용 가능한 채널의 집합을 나타낸다. 또한 $E = \{(i, j, k) \mid i, j \in N \wedge k \in K\}$ 는 채널 k 에서의 메쉬 라우터 i 와 j 에 무선으로 연결된 링크의 집합을 나타낸다. 여기서 N 은 이웃 노드들의 집합을 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 MI-CA 기법은 기존에 연구되었던 중앙집중식 채널

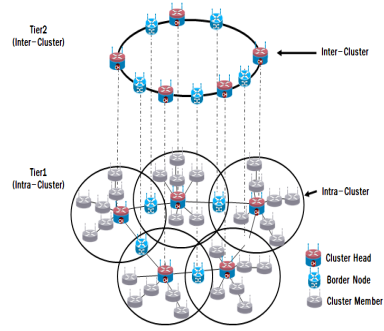


그림 2. MI-CA의 개념적 구성도

할당 기법과 분산 채널 할당 기법의 문제점에서 나타나는 무선 메쉬 네트워크 규모 확장 시 발생하는 채널 간의 간섭과 노드 간의 간섭영역을 최소화 하여 무선 메쉬 네트워크의 전체 성능을 향상 시키는 기법이다. MI-CA는 그림 2와 같이 Inter-Cluster 채널 할당 기법과 Intra-Cluster 채널 할당 기법으로 이루어져 있으며, 모든 노드는 2개의 인터페이스를 가지고 있다고 가정한다.

표 1은 본 논문에서 제안한 MI-CA 알고리즘을 기술하기 위한 심볼들을 정의한 것이다.

표 1. 심볼 표기

심볼	정의
CH	클러스터 헤드
CM	클러스터 멤버 노드
$N(b)$	보더 노드
N	클러스터에 속해 있는 이웃 노드
I_c	간섭범위
K	이용 가능한 채널들의 집합
k	이용 가능한 채널
KC	클러스터 i 의 이용 가능한 채널들의 집합
R	재사용 채널들의 집합
r	재사용 채널
KB	베어본 채널들의 집합
B	대역폭
SP	메쉬 라우터 간 최소 거리

3.1 Intra-Cluster 채널 할당

그림 3은 본 논문에서 제안하는 MI-CA 기법의 Intra-Cluster 채널 할당 방법을 나타낸 것이다. 그림 3에서 나타낸 것처럼 Intra-Cluster 채널 할당은 클러스터 헤드(CH)와의 채널 설정과 클러스터 멤버(CM)간의 채널 설정으로 구성된다.

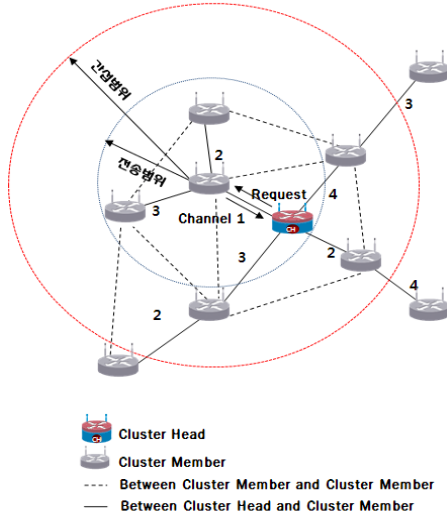


그림 3. Intra-Cluster 채널 할당

최소 클러스터 그룹 내의 모든 노드는 자신의 디폴트 인터페이스를 통하여 클러스터 헤드와 디폴트 채널인 DCM(Default Channel)을 설정한다. 클러스터 헤드는 자신과의 1-hop 거리의 이웃 노드를 통하여 노드의 ID와 위치 정보, 그리고 2-hop 노드의 위치 정보를 받아서 채널 리스트에 저장하고 채널을 할당한다. 표 2에서 보인 Intra-Cluster 알고리즘의 1행부터 4행까지는 클러스터 헤드가 자신과의 1-hop 노드에게 채널을 할당하는 것을 나타내고 있다. 만약 DCM이 아닌 다른 채널을 사용하고 있을 경우, 클러스터 헤드는 채널 정보를 채널 리스트에 저장하고 다른 노드의 채널 요청을 받는다. 이후 클러스터 헤드는 자신과 연결된 1-hop 노드의 채널이 모두 설정되었음을 자신의 채널 리스트를 통하여 확인하고 2-hop 노드의 채널을 설정한다. 이때 클러스터 헤드는 1-hop 노드에 이웃해 있는 2-hop 노드의 개수를 확인하고 2개 이상인 노드부터 채널을 할당한다. 최초 1-hop 노드에게 채널을 할당하고, 이후 사용했던 채널을 재사용하기 위해서는 1-hop 노드와 이웃해 있는 노드의 채널이 겹치지 않도록 할당해야 한다.

따라서 이웃 노드의 수가 2개 이상 노드에게 먼저 채널을 할당하는 것이 중첩되는 채널 발생 확률을 줄일 수 있다. 따라서 클러스터 헤드는 최초 DCM을 통하여 얻은 위치정보를 통하여 2개의 이상의 노드로부터 채널을 먼저 할당한다. 표 2는 본 논문에서 제안한 MI-CA의 Intra-Cluster 알고리즘을 보인 것이다.

표 2. Intra-Cluster 채널 할당 알고리즘

```

PROCEDURE INTRA-CLUSTER
1.  $\exists N_i$  Send Data to  $CH_i$ 
2. while  $\exists CM_i \in 1H$  from  $CH_i$  do
3.   if  $CMK \cap CHK = DCM$  then
4.     Assign  $k_i, k_i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ 
5.   else
6.     Assign  $\forall k_i, k_i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ 
7.   end if
8. end while
9. While  $\exists CM_i \in 2H$  from  $CH_i$  do
10.  if  $CMK \cap CHK = DCM$  then
11.    if  $R \cap KC_i = \emptyset$  then
12.      Assign  $r_i, r_i \in \{R\}$ 
13.    else
14.      Check  $I_c$  of  $CM_i$  and Assign  $\forall KR_i$ 
15.    end if
16.  end if
17. end while
18. While  $\exists CM$  do
19.  for  $\exists CM_i$  Send Hello MSG to  $N_i$ 
20.  if  $CM_i K \neq CM_j K$  then
21.    Assign  $k_i, k_i = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ 
22.  else Change  $k_j = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ 
23.    if  $k_j \cap K = \emptyset$  then
24.      Change Interface
25.    end if
26.  end if
27. end for
28. end While
    
```

간접 영역은 $i = TR \times 2$ 로 나타낼 수 있으며, TR은 노드의 전송 범위를 나타낸다. i 의 값과 채널 리스트에 있는 노드의 위치 값을 비교하여 겹치지 않는 재사용 채널을 사용한다. 클러스터 헤드의 채널 설정 후 클러스터 헤드를 제외한 그룹 내의 모든 노드는 자신의 나머지 인터페이스들(free interfaces)을 통하여 채널을 설정한다. 표 2의 9행부터 17행은 클러스터 헤드와의 2-hop 거리 노드의 재사용 채널 할당을 나타낸 것이다. 클러스터 헤드의 1-hop 노드에 이웃해 있는 노드가 2개 이상일 경우 클러스터 헤드에서는 자신의 채널 리스트에 저장되어 있는 노드 위치 정보 값을 통해 두 노드가 간접영역에 속해 있는지 확인한다. 18행부터 25행은 클러스터 멤버간의 채널 설정을 나타낸 것이다. 이때 이웃한 두 노드 간에 동일 채널 사용을 방지하기 위하여 주기적으로 각 노드는 자신의 채널 정보를 Hello 메시지를 통하여 교환함으로써 채널을 동적으로 변경한다. 만약 이웃한 노드 간에 동일하지 않은 채널을 사용 할 수 없을 경우에는 디폴트 인터페이스로의 채널 변경을 통하여 채널을

재설정 한다.

3.2 Inter-Cluster 채널 할당 기법

Inter-Cluster 채널 할당 기법은 클러스터 헤드의 대역폭 값을 통하여 게이트웨이에서 채널을 할당하는 중앙 집중식 채널 할당 방법이다. 본 논문의 2장의 관련 연구에서 중앙 집중식 채널 할당의 문제점에 대해서 기술하였다. 따라서 본 논문의 Inter-Cluster 채널 할당 방안에서는 기존의 중앙 집중식 채널 할당의 문제점인 네트워크 확장 시 중첩되는 채널 발생 문제를 보더 노드(border node)의 채널 변경 방법을 통하여 해결하였다. 그리고 클러스터 헤드에 트래픽이 집중 되는 문제를 해결하기 위해서 베어본(barebone) 채널을 사용하였다. 본 논문에서의 베어본 채널은 대역폭의 크기가 가장 큰 클러스터 헤드 간의 연결된 링크를 의미한다. 이와 같은 베어본 채널의 개수는 겹치지 않은 채널의 사용과 최대의 대역폭을 사용하기 위해 2개로 제한하였다. 또한 무선 메시 네트워크에서의 멀티 홉 통신의 특성을 살리기 위해 베어본 채널에 속한 노드를 제외한 모든 노드의 연결을 설정하였다. 표 3은 Inter-Cluster 채널 할당 알고리즘을 보인 것이다.

최초 클러스터 헤드는 Non-Default 인터페이스를 통하여 Default_CH 채널로 게이트웨이와 연결을 설정한다. 이때 각 클러스터 헤드는 자신의 ID와 대역폭 값을 게이트웨이로 전송한다. 게이트웨이에서는 각각의 클러스터 헤드의 ID와 대역폭 값을 자신의 채널 리스트에 저장하고 대역폭을 기준으로 하여 최소 비용 신장트리(MST, Minimum Spanning Tree)^[12]를 이용하여 베어본 채널을 설정한다. Inter-Cluster 알고리즘의 2행부터 8행까지는 베어본 채널 할당과정을 나타낸 것이다.

표 3. Inter-Cluster 채널 할당 알고리즘

<p>PROCEDURE INTER-CLUSTER</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $\exists CH_i$ Send Data to GW 2. Se $MST_t (ID, B)$ 3. if $CH_i B = CH_j B$ and $SP_i > SP_j$ then 4. Assign KB_i to CH_i 6. end if 7. if $CHKB_i = CHKB_j$ then 8. for $N(b)$ check $Ic(CH_i, CH_j)$ 9. if $CHKB_i \cap CHKB_j = 1$ then 10. Change $CHKB_j = 2$ 11. end if 12. end for 13. end if

3.3 보더 노드 채널 변경

채널 변경은 사용 가능한 채널을 인터페이스에 적절히 분배하여 채널을 효율적으로 사용하게 하는 것이다. 이를 위해 기존의 IEEE 802.11 기반의 멀티채널 MAC 프로토콜에 관한 연구가 활발히 진행되었다^{[13][15]}. 채널 변경은 각각의 노드가 서로 다른 채널의 인터페이스를 가지고 있고, 두 노드가 통신할 때 한가지의 채널을 결정하는 방식이다. 본 절에서는 이러한 채널 변경을 통하여 Inter-Cluster 채널 할당 기법에서의 보더 노드 채널 변경과정을 설명한다. 그림 4는 채널 변경과정을 나타낸 것이다.

채널 변경을 판단하기 위해서는 노드의 채널 정보가 필요하며, 이 채널 정보는 헬로우 메시지를 통하여 얻는다. 따라서 헬로우 메시지는 채널 변경 이전에 전송된다. 그 이유는 Hello 메시지를 통하여 보더 노드와 인접한 클러스터 헤드의 채널 사용 정보를 알리고 이후 보더 노드에서는 채널을 변경할 것인지를 판단한다. 만약 인접한 두 클러스터 헤드의 채널 정보가 같다면 보더 노드는 클러스터 헤드와 보더 노드 사이의 중첩되지 않은 채널을 할당하기 위해 채널 변경을 시작한다. 초기에 각각의 클러스터 헤드와 보더 노드는 Non-Default 인터페이스를 통하여 연결되어 있다. 이후 클러스터 헤드 A에서 보더 노드 B로 데이터를 전송할 때 보더 노드는 데이터 전송 이전의 헬로우 메시지를 통하여 인접한 두 클러스터 헤드가 같은 채널을 사용하는지를 확인한다. 만약 채널의 정보가 같다면, 보더 노드 B는 디폴트 인터페이스를 통하여 Intra-Cluster 연결을 시작한다. Intra-Cluster 연결을 통하여 데이터를 전송을 받은 클러스터 헤드 C는 다시 Non-Default 인터페이스를 통하여 클러스터 헤드 D에게 데이터를 전송한다. 이와 같은 방식으로 보더 노드에서는 디폴트 인터페이스 채널과 Non-Default 인터페이스 채널로 변경하며 겹치지 않은 채널을 사용한다.

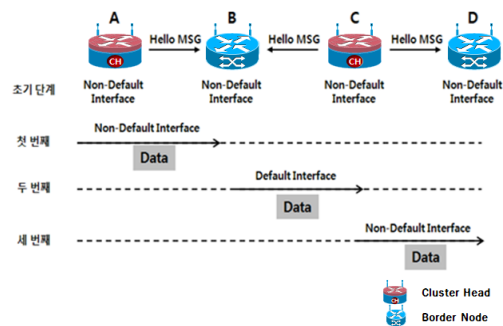


그림 4. 채널 변경 과정

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 MI-CA의 성능을 평가하기 위하여 ns-2 시뮬레이터^{[16],[17]}를 이용하여 초기 채널 할당 방식인 CLICA 모델 및 클러스터링 기반의 채널 할당 방식인 CCA 모델과의 성능을 비교하였다. 성능 평가의 특징으로 네트워크에서의 채널 간섭, 지연 시간, 전체 처리량 그리고 노드 수 변화에 따른 패킷 손실률을 실험하였다. 실험은 총 120초 동안 진행되며 전체 노드의 개수는 20개 씩 총 100개 까지 증가시켰다. 채널의 개수는 IEEE 802.11a에서 사용되는 채널의 개수인 12개를 사용하였으며, 채널 간섭도의 평가는 0부터 1까지의 범위를 정하여 1에 가까울수록 채널 간의 간섭이 높은 것으로 나타내었다. 또한 실험의 정확한 결과 값을 위하여 모든 실험은 각각 5번씩 수행하여 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 평균값을 사용하였다.

표 4. 시뮬레이션 파라미터 값

파라미터	값
시뮬레이션 공간	1000m X 1000m
노드의 수	20개씩 증가(총 100개)
데이터 크기	1000 byte
MAC 프로토콜	IEEE 802.11a
트래픽 타입	CBR(Constant Bit Rate)
전송범위	250m
시뮬레이션 시간	120s
최대 전송률	24Mbps

그림 5는 WMN에서 사용되는 채널의 개수에 따른 네트워크 간섭을 나타낸 것이다. 중앙 집중식 채널 할당 방식인 CLICA 기법은 초기 할당된 채널을 이용하기 때문에 가장 높은 간섭 정도를 나타내고 있다. 반면에 초기 채널을 할당하고, 그 이후의 노드와의 채널 설정 시 재사용 채널을 사용하는 CCA 기법과 본 논문에서 제안하는 MI-CA는 간섭 정도의 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 중앙 집중식 채널 할당 방식에서 나타나는 채널 의존도 문제로 인하여 CLICA 기법은 채널 숫자가 증가할수록 간섭이 심해지는 것을 확인할 수 있다. 반면에 분산 채널 할당 방식과 중앙 집중식 채널 할당 방식을 모두 사용하는 MI-CA와 CCA 기법은 채널의 숫자가 증가할수록 간섭 또한 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

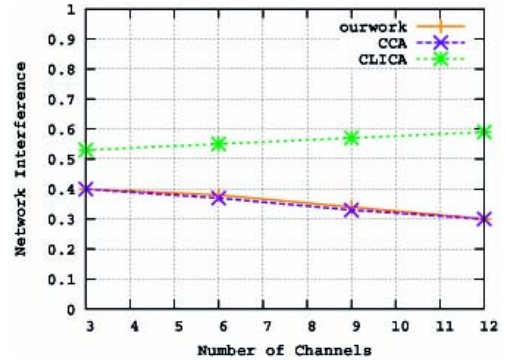


그림 5. 채널의 개수에 따른 간섭율

그림 6은 WMN을 구성하는 노드 수에 따른 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. 전체적으로 노드의 개수가 증가함에 따라 처리량이 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 중앙 집중 채널 할당 방식의 CLICA는 노드 수 증가에 따른 큰 차이가 없지만 가장 낮은 처리량을 나타내고 있다. 반면에 클러스터 기반의 채널 할당 방식인 CCA 기법과 MI-CA는 노드 20개까지의 구간에서는 큰 차이가 없지만 그 이후부터는 다소 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 20개까지 처리량의 차이가 크지 않은 것은 클러스터 헤드로 집중되는 트래픽의 양이 적기 때문이다. 하지만 20개 이후부터는 클러스터 헤드로 집중되는 트래픽의 양이 증가함으로써 동일한 대역폭의 채널을 할당하는 CCA 기법은 급격하게 처리량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 배어본 채널을 사용하여 특정 채널의 대역폭을 최대로 사용하는 MI-CA 기법은 상대적으로 높은 처리량을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히 노드의 수가 60에서 80개에서 급격하게 처리량이 감소하는 것을 확인할 수 있는데 이것은 클러스터 헤드에 집중되는 트래

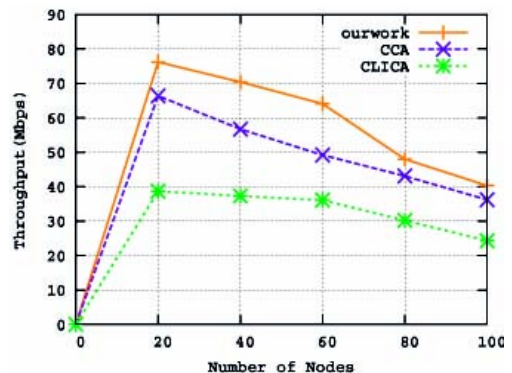


그림 6. 노드 수에 따른 처리율

픽의 양이 늘어남에 따라 일시적으로 지연이 발생하여 나타나는 현상으로 확인할 수 있다. 이후 80개에서 100개에서는 다시 처리량 감소폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 노드 수 변화에 따른 패킷 손실률을 보여주고 있다. 노드의 개수가 20개까지는 큰 차이가 없지만 20개 이후부터 CLICA 기법의 패킷 손실률이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 중앙 집중식 채널 할당 방식에서 나타나는 문제점인 제한된 채널의 개수를 모두 다 사용함으로써 나타나는 대역폭 감소로 확인할 수 있다. 반면에 CCA 기법과 제안 기법은 전체적으로 큰 차이가 없지만 노드의 개수가 40개 이후부터 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 노드의 수가 60에서 100개에서 큰 차이를 확인할 수 있는데 이것은 앞에서 설명한 최대 대역폭 채널 사용 유무에 따른 현상으로 확인할 수 있다.

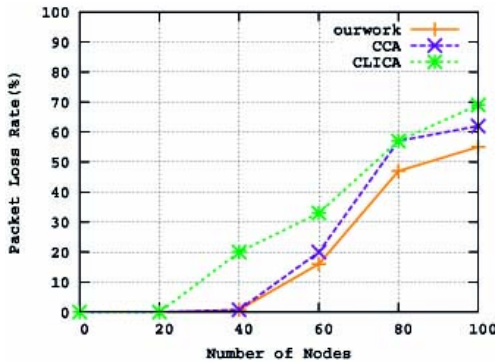


그림 7. 노드 수에 따른 패킷 손실률

그림 8은 WMN의 노드 수 변화에 따른 중단간 지연 시간을 나타낸 것이다. CCA기법이 가장 낮은 지연 시간을 나타내고 있으며 제안 기법은 노드의 개수가 0개에서 20개 구간에서 가장 높은 지연 시간을 나타내고 있다. 하지만 40개 이후부터 CLICA 기법의 지연 시간이 가장 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 클러스터링 기반의 채널 할당 방식인 제안 기법과 CCA 기법을 비교하였을 때 제안 기법이 CCA기법 보다 상대적으로 더 높은 지연 시간이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 클러스터 헤드와 보더 노드 간의 채널 간섭을 최소화하기 위한 채널 변경 때문에 발생하는 지연 시간으로 추정할 수 있다. 따라서 어느 정도의 성능 저하는 감수할 수밖에 없다. 그러나 100개까지의 지연시간 증가폭

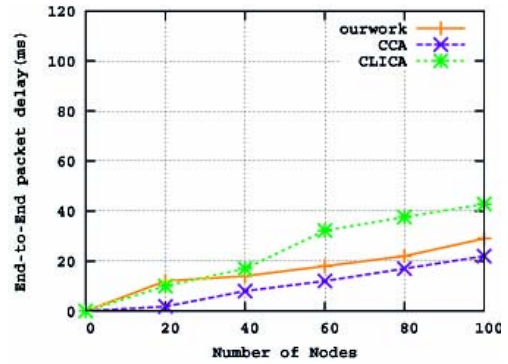


그림 8. 노드 수에 따른 중단 간 지연

을 고려하였을 경우 CCA 기법과 CLICA 기법의 지연 시간의 증가폭이 제안 기법의 지연 시간 증가폭 보다 더 크다는 것을 알 수 있다.

V. 분 석

본 절에서는 시뮬레이션 검증결과를 바탕으로 기존의 제시된 채널 할당 기법과 MI-CA를 비교 분석한다. 표 5는 기존의 제안된 채널 할당기법들과 MI-CA를 비교한 것이다. 중앙집중식 채널 할당 방법인 CLICA 기법은 클러스터링 기반의 CCA 및 MI-CA와 비교하였을 때 전체적으로 성능이 낮은 것을 알 수 있다. 이것은 중앙 집중식 채널 할당 방법의 근본적인 한계점인 노드의 숫자에 따른 제한된 채널 개수 때문이다. 따라서 대규모 무선 메시 네트워크에는 적합하지 않다. 또한 클러스터링 기반의 CCA기법은 MI-CA와 비교하였을 때 지연시간에서 더 높은 성능을 보이고 있다. 하지만 CCA 기법은 지연시간이 낮은 반면에 클러스터 헤드에 트래픽이 집중되어 패킷 손실 및 처리량이 감소하는 문제점이 나타나는 반면, 본 논문에서 제안하는 MI-CA은 이러한 문제를 해결하기 위하여 클러스터 헤드 간의 통신에서의 채널 변경 방법을 제시하였다. 따라서 높은 처리량 및 적은 패킷 손실을 위해서는 채널 변경으로 인한 지연시간 증가의 문제점은 어느 정도 감소해야만 한다.

표 5. 비교 분석

항목	MI-CA	CCA	CLICA
채널 간 간섭	유사	유사	높음
처리량	높음	중간	낮음
패킷 손실률	적음	중간	많음
지연시간	중간	낮음	높음

VI. 결 론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크 확장 시 나타나는 성능 감소 문제를 해결하기 위해서 클러스터 기반의 최소 간섭 채널 할당 알고리즘을 제시하였다. 무선 메쉬 네트워크에서 채널 할당 기법을 기존의 중앙 집중 채널 할당 방식 및 분산 채널 할당 방식이 아닌 클러스터 기반의 채널 할당 방식으로 주어진 채널의 숫자를 최대한 이용하였다. 또한 클러스터 헤드에서 발생하는 병목 현상을 베어본 채널을 사용함으로써 문제를 완화하였다. 본 연구의 타당성을 증명하기 위하여 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 채널 수 변경에 따른 간섭, 네트워크 처리량, 네트워크 지연시간, 데이터 패킷 손실률의 문제를 기존의 채널 할당 방식과 비교하였으며 더 높은 성능을 증명하였다. 하지만 노드 숫자의 증가에 따른 네트워크 성능의 감소 문제는 여전히 남아있다. 이것은 노드의 숫자가 증가함에 따른 처리량의 한계점으로 이것을 해결하기 위해서는 효율적인 라우팅 정책과 특정 기준에 따른 차등 서비스가 이루어져야 한다. 따라서 향후 과제로 본 논문에서 클러스터 헤드와 보더 노드 사이에서의 채널 변경의 지연시간을 줄일 수 있는 효율적인 라우팅 정책을 고려하는 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 또한 데이터 패킷의 크기에 따른 효율적인 채널 이용 방안을 모색하여 개선할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Huang, L.-C. Wang, and C.-J. Chang, "Chapter 2: Architectures and Deployment Strategies for Wireless Mesh Networks", in *Wireless Mesh Networks*, Springer US, 2008.
- [2] Timo Vanhatupa, Marko Hannikainen, Timo D. Hamalainen, "Performance model for IEEE 802.11s wireless mesh network deployment design", Elsevier *Computer Networks*, 2007.
- [3] BelAir Networks, "Capacity of Wireless Mesh Networks", BelAir Networks, 2006.
- [4] P. Gupta and P. R. Kumar, "The Capacity of Wireless Networks", *IEEE Transactions on Information Theory*, 2000.
- [5] A. Amis, R. Prokash, T. Vuong, and D. T. Huynh, "Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks", *Proceedings of IEEE Infocom*, 2000.
- [6] M. Marina, S. Das, "A topology control approach for Utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks", in *IEEE Broadnets*, 2005.
- [7] A. P. Subramanian, H. Gupta, and S. R. Das, "Minimum Interference Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks", in *mesh, and Ad Hoc Communications and Networks (SECPM2007)*, 2007.
- [8] M. Alicherry, R. Bhatia, and L. Li, "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks", in *ACM MobiCom*, 2005.
- [9] IEEE Std. 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications", 1999.
- [10] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network", *IEEE Infocom*, 2005.
- [11] Sadeq Ali Makram, Mesut Gunes, "Distributed Channel Assignment for Multi-Radio Wireless Mesh Networks", *IEEE Computers and Communications*, 2008.
- [12] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein, "Introduction to Algorithms (2nd Edition)", MIT Press, 2001.
- [13] A. Nasipuri, J. Zhuang, and S.R. Das, "A Multichannel CSMA MAC Protocol for Multihop Wireless Networks", in *WCNC*, 1999.
- [14] A. Nasipuri and S.R. Das, "Multichannel CSMA with Signal Powerbased Channel Selection for Multihop Wireless Networks", in *VTC*, 2000.
- [15] N. Jain, S. Das, and A. Nasipuri, "A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks", in *IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (IC3N)*, 2001.
- [16] "The ns-2 network simulator", [Online] Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [17] "ns-2 modifications", [Online] Available:

<http://www-i4.informatik.rwth-aachen.de/mcg/projects>.

류 민 우 (Min-Woo Ryu)

정회원



2007년 여주대학 인터넷응용학과 전문학사

2009년 광운대학교 컴퓨터과학과 공학석사

2009년~현재 광운대학교 컴퓨터과학과 박사과정

<관심분야> 무선 메쉬 네트워크

크, 네트워크 관리, 센서 네트워크, 무선 Ad-Hoc 네트워크

차 시 호 (Si-Ho Cha)

정회원



1995년 순천대학교 전자계산학과 이학사

1997년 광운대학교 전자계산학과 이학석사

1997년~2000년 대우통신 종합연구소 선임연구원

2004년 광운대학교 컴퓨터과학과 공학박사

2009년~현재 청운대학교 멀티미디어학과 교수

<관심분야> 무선 센서 네트워크, 무선 메쉬 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, U-Healthcare

조 국 현 (Kuk-Hyun Cho)

중신회원



1977년 한양대학교 전자공학과 공학사

1981년 일본 Tohoku Univ. 공학석사

1984년 일본 Tohoku Univ. 공학박사

1984년~현재 광운대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 네트워크 관리, 분산처리, 정보통신의 표준화, WMN 등