

논문 2009-46CI-4-10

IEEE 802.11b/g 무선 메쉬 네트워크를 위한 클러스터 기반 채널 할당 알고리즘

(A Cluster-Based Channel Assignment Algorithm for
IEEE 802.11b/g Wireless Mesh Networks)

차 시 호*, 류 민 우**, 조 국 현***, 조 민 호****

(Si-Ho Cha, Min-Woo Ryu, Kuk-Hyun Cho, and Minho Jo)

요 약

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks, WMNs)는 유비쿼터스 환경 및 무선 브로드밴드 액세스를 제공하기 위한 핵심적인 미래 기술로 대두되고 있다. WMN에서의 전체적인 성능은 채널의 간섭을 최소화함으로써 개선될 수 있다. WMN에서 주로 사용하는 네트워크 인터페이스 기술 중 하나인 IEEE 802.11b/g 스펙은 3 개의 멀티채널을 지원한다. 이러한 멀티채널 WMN에서 효율적인 채널 할당을 위해서는 채널 스캐닝 지연과 채널 의존성 문제를 고려해야 한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11b/g WMN에서의 이러한 문제점들을 해결하기 위해 클러스터 기반의 채널 할당(Cluster-Based Channel Assignment, CB-CA) 알고리즘을 제안한다. CB-CA 알고리즘에서는 클러스터 헤드(Cluster Head, CH) 노드들 간에는 동일 채널을 사용함으로써 채널 스캐닝과 채널 스위칭을 수행하지 않는다. 해당 클러스터 멤버(Cluster Member, CM) 노드들과의 통신에는 CH들 간의 통신 채널에 영향을 미치지 않는 채널을 할당함으로써 멀티채널에서 발생할 수 있는 간섭을 최소화 할 수 있다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 CB-CA 알고리즘이 WMNs의 성능을 향상시킬 수 있음을 입증하였다.

Abstract

Wireless mesh networks (WMNs) are emerging technologies that provide ubiquitous environments and wireless broadband access. The aggregate capacity of WMNs can be improved by minimizing the effect of channel interference. The IEEE 802.11b/g standard which is mainly used for the network interface technology in WMNs provides 3 multiple channels. We must consider the channel scanning delay and the channel dependency problem to effectively assign channels in like these multi-channel WMNs. This paper proposes a cluster-based channel assignment (CB-CA) algorithm for multi-channel WMNs to solve such problems. The CB-CA does not perform the channel scanning and the channel switching through assigning co-channel to the inter-cluster head (CH) links. In the CB-CA, the communication between the CH and cluster member (CM) nodes uses a channel has no effect on channels being used by the inter-CH links. Therefore, the CB-CA can minimize the interference within multi-channel environments. Our simulation results show that CB-CA can improve the performance of WMNs.

Keywords : Wireless Mesh Networks, Channel Assignment, Channel Interference, Clustering, IEEE 802.11b/g.

* 정회원, 청운대학교 멀티미디어학과
(Dept. of Multimedia Science, Chungwoon University)

** 학생회원, *** 정회원, 광운대학교 컴퓨터학과
(Dept. of Computer Science, Kwangwoon University)

**** 정회원, 고려대학교 정보보호전문대학원
(Graduate School of Information Management and Security, Korea University)

※ 본 논문은 2009학년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었음.

접수일자: 2009년5월29일, 수정완료일: 2009년7월3일

I. 서론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks, WMNs)는 그림 1에서 보인 것과 같이 크게 메쉬 라우터(Mesh Router, MR) 도메인과 메쉬 클라이언트(Mesh Client, MC) 도메인으로 구성된다. 일반적으로 MR 도메인은 메쉬 라우터(MR)와 메쉬 게이트웨이(Mesh Gateway, MG)로 구성되며 MG를 통해 유선 인터넷과 연결된다^[1]. MC 도메인으로는 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks) 뿐만 아니라 WiMAX 및 Wi-Fi와 같은 무선 이동 네트워크, 그리고 펌토셀(Femtocell) 및 6LoWPAN과 같은 네트워크로 구성될 수 있다. MR은 전통적인 무선 라우터와 같이 게이트웨이/브리지 기능을 위한 라우팅 기능외에 메쉬 네트워킹을 지원하기 위한 부가적인 라우팅 기능을 포함한다. MR은 MC를 위한 메쉬 백본을 구성하며, 이러한 메쉬 백본은 MR이 무선 링크로만 연결된다는 것을 제외하고는 고정 라우터와 거의 유사하게 동작한다. 또한, MC는 인터넷 접속을 위해 MR의 무선 백본 네트워크를 통해 유선 네트워크로 연결되며, MG는 유선 인터넷과 유선 링크를 통해 WMN과 유선 인터넷을 이어주는 가교 역할을 수행한다. 이러한 WMN의 MR은 무선 멀티 홉 통신을 통해 적은 전송 파워로 광범위한 네트워크 커버리지 서비스를 제공할 수 있으며, 비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 따라서 WMN은 유비쿼터스 네트워크를 위한 핵심적인 기능을 제공할 것이다. 이러한 유비쿼터스 환경을 위한 브로드밴드 액세스를 제공하기 위하여 WMN의 MR들은 일반적으로 다중의 무선 라디오

(NICs)를 가짐으로써 메쉬 네트워킹의 융통성과 성능을 향상시킬 수 있다^[2~3].

일반적으로 WMN은 무선 멀티 홉 (Hop) 환경으로 인해 홉 개수가 증가하거나 각 MR들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생할 확률이 높아진다^[4]. 이로 인해, WMN의 전체적인 네트워크 성능이 급격히 감소한다. WMN에서 주로 사용하는 네트워크 인터페이스 기술로는 IEEE 802.11b/g와 IEEE 802.11a 스펙이 있다. IEEE 802.11b/g에서는 2.4 GHz의 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 주파수 대역에서 3개의 비중첩 채널을 지원하며, IEEE 802.11a에서는 5 GHz 주파수 밴드에서 12개의 비중첩 UNII(Unlicensed National Information Infrastructure) 채널을 지원한다^[5]. 본 논문에서는 3개의 비중첩 멀티채널을 지원하는 IEEE 802.11b/g 기반으로 구성된 WMN을 위한 채널 할당 방법에 대하여 연구한다. 이러한 비중첩 멀티채널 WMN에서의 채널 할당 문제는 네트워크의 연결성 유지와 채널 의존성 문제 해결이라는 두 가지 요구사항을 만족시켜야 한다^[6].

이를 위해 본 논문에서는 멀티채널 WMNs의 채널 의존성 문제를 최소화하는 클러스터 기반 채널 할당(Cluster-Based Channel Assignment, CB-CA) 방법을 제안한다. CB-CA에서 각 MR들은 물리적인 통신 가능 거리에 존재하는 이웃 MR들과 클러스터(cluster)를 구성하고, 해당 클러스터 멤버(CM)인 MR들의 채널 정보를 채널 데이터로 유지하는 클러스터 헤드(CH)가 선출된다. CH의 선출 조건은 최대 연결성을 갖는 노드가 된다. CH들은 인접한 클러스터의 CH들과 채널 스캐닝 및 채널 스위칭을 수행하지 않고 효율적으로 통신하기 위해 동일 채널을 할당하여 통신하고, 클러스터 내의 CM들과는 CH들 간의 통신 채널과 간섭이 발생하지 않는 직교 채널을 할당한다. 또한 해당 CH는 자신의 클러스터 내의 CM들과의 통신을 위해 타임 슬롯을 할당한다. 각 CM들은 보내야 할 데이터가 존재하는 경우 자신에게 할당된 시간 동안 데이터를 전송하게 된다.

본 논문의 II장에서는 WMN에서의 채널 할당과 관련된 기존 연구들을 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안한 CB-CA 기법에 대하여 설명한다. 그리고 IV장에서는 제안된 CB-CA 기법의 성능평가를 통해 타당성을 입증하고 V장에서 결론 및 향후 과제를 기술한다.

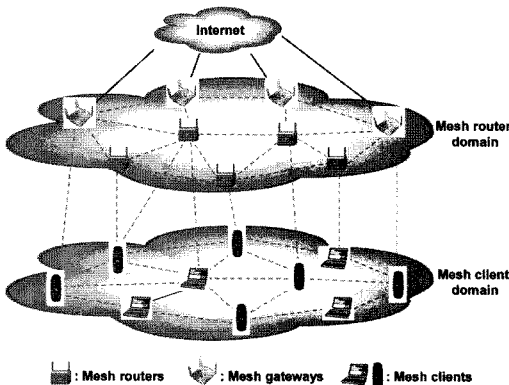


그림 1. WMN의 구조^[1]
Fig. 1. The architecture of a WMN.

II. 관련 연구

WMNs에 대한 기대가 점점 더 커짐으로써 멀티채널 WMNs에서의 채널 할당에 대하여 다양한 연구들이 진행되고 있다.

Marina^[7]는 그리드 기반의 휴리스틱 채널 할당 기법을 제안하여 연결성이 보장되고 간섭이 적은 토폴로지를 찾는 방법을 제안하였다. Marina가 제안한 CLICA라고 불리는 토폴로지 기반 채널 할당 방식은 네트워크의 모든 링크에 균등한 트래픽 부하가 발생한다는 가정을 바탕으로 하고 있지만 실제 구축되는 WMN에서는 트래픽 부하가 다르기 때문에 실제 환경에는 적합하지 않다는 문제점이 있다. 이러한 토폴로지 기반 채널 할당 기법은 모든 노드에게 최적의 채널을 할당하여 채널 간 간섭을 최소화 하는 동시에 연결성이 보장되도록 토폴로지를 형성하는 것이 목적이다. 연결성을 높이기 위해 네트워크 전체에서 사용하는 채널의 개수를 최소화 하면 모든 노드의 채널 간 간섭이 증가하게 되고 반대로 간섭을 최소화하기 위해 채널의 개수를 최대화 하면 연결성이 감소하게 된다. 따라서 토폴로지 기반의 채널 할당 방법은 노드간의 연결성과 채널 간의 간섭의 균형을 유지할 수 있어야 한다.

Alicherry^[8]는 트래픽 반영 채널 할당 문제에 대한 근사 알고리즘인 RCL을 제안하였다. RCL 알고리즘은 채널 할당 문제와 라우팅 문제를 함께 해결하기 위한 선형 계획법 계산식을 만들고 이 계산식의 답을 통하여 토폴로지 상에서 채널이 설정된다. 그러나 Alicherry가 제안한 알고리즘은 WMN에서 주로 사용하는 IEEE 802.11 DCF^[9] 표준에는 적용하기가 쉽지 않다는 문제점이 있다. 이러한 트래픽 인식 채널 할당 기법은 네트워크의 각 링크에 부과되는 트래픽의 부하에 따라 채널의 대역폭을 할당하는 것을 말한다. 하지만 네트워크에서 발생하는 트래픽의 양과 토폴로지 정보에 따라 최적의 채널 할당은 NP-hard의 영역에 속한다.

Raniwala^[10]는 채널 의존 문제를 해결하기 위하여 두 개의 인터페이스를 UP과 DOWN으로 나누어 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 구성하고 간섭 범위 내의 이웃 노드들에 의한 트래픽 부하 값을 이용하여 채널을 동적으로 할당하는 방법을 제안하였다. 그러나 동적으로 채널을 변경하는 과정에서 발생하는 지연시간의 문제는 네트워크 확장의 크기와 비례하기 때문에 광범위한 WMN에는 적합하지 않다.

Makram^[11]은 동적으로 채널을 변경할 때 발생하는 문제를 해결하기 위해서 클러스터링 기반의 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. Makram의 제안 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.

또한 앞에서 언급한 관련 연구들은 주로 제한적이지 않은 많은 수의 비중첩 채널을 전제로 연구를 진행하였기 때문에 비교적 비중첩 채널이 3개로 제한된 IEEE 802.11b/g로 구성된 WMN에는 적합하지 않기 때문에 이를 해결하기 위한 연구가 필요하다.

III. CB-CA

본 논문에서 고려되는 WMN은 $G(V, E, C)$ 그래프로 이루어진다. 여기에서 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 은 노드들의 집합이며, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 은 사용가능한 채널들의 집합이다. $E = \{(v_i, v_j, \alpha_k) | v_i, v_j \in V \wedge \alpha_k \in C\}$ 는 채널 α_k 상에서 노드 v_i 와 이의 이웃 노드 v_j 간의 가상 무선 링크의 집합이다.

표 1은 본 논문에서 제안한 CB-CA를 기술하기 위한 심볼들에 대한 정의이며, 표 2는 CB-CA 알고리즘을 기술한 것이다. CB-CA는 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 통신 범위에 존재하는 노드들 간

표 1. 심볼 표기
Table 1. The definition of symbols.

심볼	정의
CL_i	클러스터 i
CH_i	클러스터 i 의 CH
CM_i	클러스터 i 의 CM
C	사용가능한 채널의 집합
CCL_i	클러스터 i 에 할당된 채널의 집합
NCL_i	클러스터 i 의 이웃 클러스터의 집합
ECL_i	클러스터 i 의 에지 노드 집합
N_v	노드 v 의 통신 범위 내의 이웃 노드 집합
L_v	노드 v 의 이웃 노드에 대한 무선 링크 집합
c_i	C 의 하나의 채널
C_v	노드 v 에 할당된 채널 집합
c_{vD}	노드 v 에 할당된 디폴트 채널
C_{CH}	CH에 할당된 채널 집합
c_{CHD}	CH에 할당된 디폴트 채널

에 클러스터를 구성하고 두 번째 단계에서는 클러스터들 간의 채널 할당과 각 클러스터 내에서의 채널 할당을 수행한다.

클러스터링 단계에서 통신 범위내의 MR들은 자신의 통신 링크의 개수를 브로드캐스트함으로써 가장 많은 통신 링크를 가진 노드를 CH로 선정하게 된다. 이러한 클러스터링이 메쉬 네트워크 전반에서 이루어진다. 클러스터링이 완료되면 각 클러스터의 CH들은 자신들의 디폴트 채널을 다른 클러스터의 CH들과의 통신에 정적인 할당을 수행함으로써 채널 스캐닝과 채널 스위칭이 발생하지 않게 된다. 이때 각 클러스터간의 통신 거리가 먼 경우에는 에지 라우터(EG)를 CH들의 통신에 포함시킨다. 각 클러스터 내에서는 CH들과의 통신에 사용되는 채널과 간섭이 발생하지 않으며 인접 클러스터에서의 통신 채널과도 간섭이 발생하지 않는 채널을 선정하여 내부 CM들과 CH간의 통신 채널로 사용한다. 이를 위해 CH들은 자신들의 클러스터 내의 CM들의 통신 충돌을 방지하기 위하여 시간 슬롯을 각 CM들에 할당하고, 전송할 데이터가 있는 각 CM은 자신의 타임 슬롯 시간에 데이터를 CH로 전달하게 된다.

멀티채널 환경에서 각 노드들이 동적으로 채널 스위

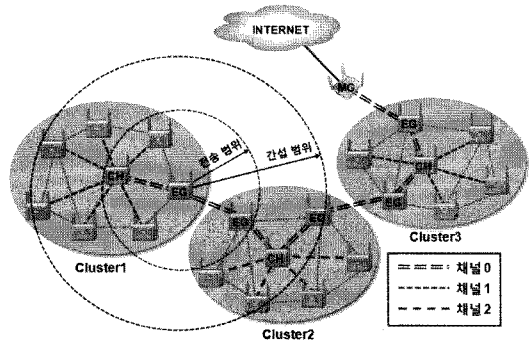


그림 2. 클러스터 기반 채널 할당
Fig. 2. Channel assignment based on clusters.

칭을 수행할 경우 채널 의존성 문제가 발생한다. 이는 노드 A가 사용하던 채널을 변경할 경우 노드 A와 연결을 유지하고 있던 다른 이웃 노드 B도 노드 A와 연결을 유지하기 위하여 채널을 변경해야 하며, 이러한 채널 변경이 네트워크 내에서 연속적으로 전파된다는 것이다^[1-3, 12].

그림 2에서 각 클러스터 내의 가는 점선은 물리적으로 통신이 가능한 링크이다. CB-CA에서 특정 클러스터 내의 모든 CM은 이웃 노드들과의 물리적인 통신 가능 링크가 존재한다고 하더라도 자신이 속한 클러스터의 CH와의 통신만 수행하게 된다. 이때, 클러스터 1번의 CH와 CM들의 통신을 위해 사용하던 채널을 1에서 2로 변경하게 되면 클러스터 1과의 간섭 범위에 있는 클러스터 2에 속한 CH와 CM들의 내부 통신 채널만 서로 간섭하지 않는 채널로 변경시켜 주면 되기 때문에 채널 의존성의 문제를 특정 클러스터로 한정할 수 있다. 즉, 채널 변경이 일어나는 클러스터인 클러스터 2에서만 현재 사용 중이던 채널 2를 채널 1이나 3으로만 변경시켜주면 되기 때문에 채널 의존성 문제를 해결할 수 있다.

따라서 클러스터링 기법을 채널 할당에 활용함으로써 채널 스캐닝 및 채널 스위칭에 의한 지연시간을 대폭 줄일 수 있으며 채널들 간의 간섭으로 인한 성능 저하 문제를 해결함으로써 효율적인 데이터 전달이 가능하다. 즉, 연속적인 채널 스위칭이나 채널 스캐닝으로 인한 성능 지연의 영향이 줄어들기 때문에 결과적으로 전체적인 네트워크 성능이 향상된다.

표 2. CB-CA 알고리즘
Table 2. The algorithm of CB-CA.

1. while $\exists N_i$ do
2. if $L_u > L_v$ then
3. Set u to CH_i and N_u to CM_i
4. else
5. Set v to CH_i and N_v to CM_i
6. end if
7. Assign $\{CH_i, \forall CM_i\}$ to CL_i
8. end while
9. if $c_{CHD} \in \forall C_{CH}$ then
10. Assign the default channel to all CM_i of NCL_i
11. if $CH_j \notin N_{CH_i}$ then
12. Assign the default channel to ECL_i
13. end if
14. end if
15. while $\exists C_i$ do
16. if $(CM_i \in C_i) \& \exists (C_i \neq c_{CHD} \notin NCL_i)$ then
17. Assign c_i to $\forall CM_i$
18. end if
19. CH_i assign a time slot to CM_i
20. end while

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 CB-CA의 성능을 평가하기 위하여 NS-2를 이용하여 초기 채널 할당 방식인 Marina가 제안한 CLICA 모델^[7]과 비교하였다. 성능 평가의 특징으로 네트워크의 전체 처리량, 지연 시간, 그리고 채널 간섭도를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 실험은 120 초 동안 지속되며 전체 노드의 숫자는 100개로 제한하였다. 채널의 개수는 IEEE 802.11b/g에서 사용되는 채널의 개수를 사용하였으며 채널 간섭정도의 평가는 0 부터 1까지의 범위를 정하여 1에 가까울수록 간섭이 높은 것으로 나타내었다. 또한 실험의 정확한 결과 값을 위하여 모든 실험은 각각 3 번씩 수행하여 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 평균값을 사용하였다.

그림 3은 채널의 개수 변화에 따른 간섭 정도를 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 채널의 개수가 증가함에 따라 간섭도가 낮아짐을 보여준다. 또한 기존 중앙 집중식 채널 할당 방식인 CLICA와 비교하였을 때 CB-CA가

표 3. 시뮬레이션 파라미터
Table 3. Simulation parameters

파라미터	변수 값
토폴로지 사이즈	1000m * 1000m
전송 범위	250m
트래픽 타입	CBR
MAC 프로토콜	802.11 b/g
노드 수	100개
Packet Size	1000byte
대역폭	24 Mbps
시뮬레이션 시간	120초

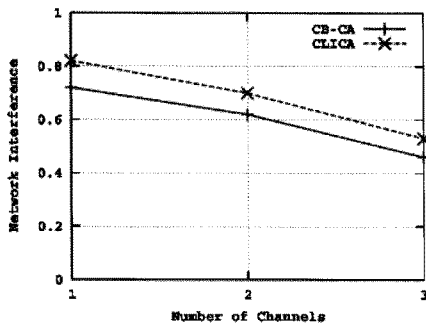


그림 3. 채널 수 변화에 따른 간섭
Fig. 3. The interference ratio by the number of channels.

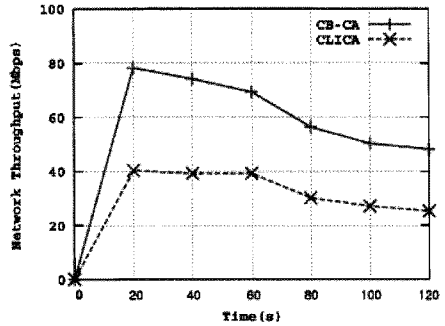


그림 4. 네트워크 처리량
Fig. 4. Network throughput.

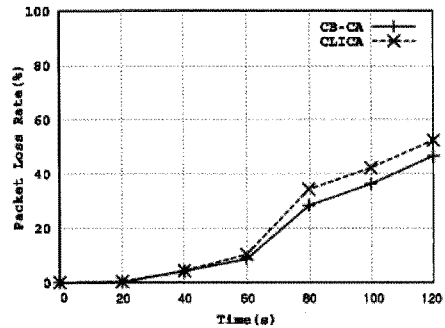


그림 5. 패킷 손실률
Fig. 5. Packet loss ratio.

보다 더 낮은 채널 간섭을 제공함을 나타낸다.

그림 4는 시간의 변화에 따른 네트워크 처리량을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 시간이 늘어남에 따라 네트워크의 전체 성능이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 CLICA와 비교하였을 때 본 논문에서 제안하는 CB-CA 기법을 적용한 네트워크 모델의 처리량은 성능 감소치가 CLICA 보다 낮다는 것을 확인 할 수 있다. 특히 60 초에서 80 초 구간에서 급격한 성능 감소를 나타내고 있는 데 이것은 CH와 EG들 사이에서의 간섭으로 인한 지연 시간 증가로 추정할 수 있다.

그림 5는 시간에 따른 패킷 손실률을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 60 초 구간 이후 패킷 손실률이 급격하게 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 이것도 또한 CH와 EG간의 동일 채널을 사용함으로써 발생하는 것으로 인접 클러스터와의 연결을 위해서는 어느 정도 감수해야만 한다. 그림에도 CB-CA는 기존에 Marina에 의해 제안된 CLICA 보다는 더 낮은 패킷 손실률을 제공한다.

V. 결 론

본 논문에서는 3개의 멀티채널을 갖는 IEEE 802.11b/g 기반의 WMN에서 채널 할당 시 발생하는 채널 의존성 문제와 채널 스캐닝 지연시간을 해결하기 위한 클러스터 기반 채널 할당 방법(CB-CA)을 제안하였다. CB-CA 방식은 클러스터 헤드들 간의 공유 채널 할당으로 채널 스캐닝과 채널 스위칭이 발생하지 않으며, 클러스터 내에서는 클러스터 헤드와 클러스터 멤버간의 통신을 위해 클러스터 헤드들 간에 사용된 채널과 간섭이 발생하지 않는 채널을 사용한다. 또한 이웃 클러스터들과도 간섭이 발생하지 않는 채널을 사용하여 메시지를 전송할 수 있기 때문에 전체적인 멀티채널 WMN의 성능을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 CB-CA가 기존의 CLICA 보다 더 우수한 네트워크 처리량과 더 낮은 패킷 손실률, 그리고 더 낮은 간섭도를 갖는다. 그러나 CB-CA가 가진 인접 클러스터와의 통신에서의 동일 채널에 의한 문제는 해결해야 할 과제이다. 따라서 향후 연구에서는 CH와 EG들 간의 효율적인 채널 할당 기법에 대한 연구를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E. Hossain, K. K. Leung, "Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols", Springer Media, 2008.
- [2] Y. Zhang, J. Luo, H. Hu, "Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards", Auerbach Publication, 2007.
- [3] I. F. Akyildiz, X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", IEEE Radio Communications, pp.S23-S30, Sep. 2005.
- [4] S. Xu, T. Saadavi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop ad hoc networks?", IEEE Communications Magazine, pp.130-137, Jun. 2001.
- [5] 802.11g-WP104-R, "WHITE PAPER, IEEE 802.11g: The New Mainstream Wireless LAN Standard", Broadcom Corporation, 2003.
<http://www.54g.org/pdf/802.11g-WP104-RDS1.pdf>
- [6] C. Liu, Z. Liu, et al, "A Clustering-Based Channel Assignment Algorithm and Routing Metric for Multi-channel Wireless Mesh Networks", Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 4742, pp.832-843, Aug. 2007.
- [7] M. Marina, S. Das, "A topology control approach for Utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks", IEEE International Conference on Broadband Networks (BroadNets), pp.381-390, Oct. 2005.
- [8] M. Alicherry, R. Bhatia, L. E. Li, "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 24, No. 11, pp.1960-1971, Nov. 2006.
- [9] IEEE Std. 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 1999.
- [10] A. Raniwala, T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network", IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), pp.2223-2234, Mar. 2005.
- [11] S. A. Makram, M. Gunes, "Distributed Channel Assignment for Multi-Radio Wireless Mesh Networks", IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), pp.272-277, July 2008.
- [12] 김석형, 서영주, "멀티채널 무선 메쉬 네트워크에서의 채널 그룹을 이용한 거리 기반 채널 할당", 한국통신학회논문지, 제33권, 제2호, pp.1050-1057, 2008년 12월.

저 자 소 개



차 시 호(정회원)
 1995년 순천대학교 전자계산학과
 학사 졸업
 1997년 광운대학교 전자계산학과
 석사 졸업
 2004년 광운대학교 컴퓨터과학과
 박사 졸업

1997년~2000년 대우통신(주) 종합연구소
 선임연구원

2009년~현재 청운대학교 멀티미디어학과 교수
 <주관심분야 : 네트워크 관리, 무선 메쉬 네트워크,
 무선 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅>



류 민 우(학생회원)
 2007년 여주대학 인터넷응용학과
 전문학사 졸업
 2007년~현재 광운대학교 대학원
 컴퓨터과학과 석사과정
 <주관심분야 : 네트워크 관리, 무
 선 메쉬 네트워크, 유비쿼터스 센
 서 네트워크>



조 국 현(정회원)
 1977년 한양대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1981년 일본 Tohoku University
 석사 졸업
 1984년 일본 Tohoku University
 박사 졸업

1984년~현재 광운대학교 컴퓨터공학부 교수
 개방형컴퓨터통신연구회(OSIA) 회장 역
 임

<주관심분야 : 네트워크 관리, 유비쿼터스 센서
 네트워크, 분산처리, 정보통신 분야 표준화>



조 민 호(정회원)-교신저자
 1984년 조선대학교 산업공학과
 학사 졸업
 1994년 미국 Lehigh University
 산업시스템공학과 박사
 졸업
 1994년~1997년 삼성전자 LCD
 Division 선임연구원

2008년~현재 고려대학교 정보보호전문대학원
 연구부교수

2009년~현재 Editor of IEEE Network

2007년~현재 Founding Editor-in-Chief of KSII
 Transactions on Internet & Information
 Systems

2007년~현재 Editor of Wireless
 Communications and Mobile
 Computing (Wiley & Sons)

2008년~현재 Editor of Security and
 Communication Networks
 (Wiley & Sons)

<주관심분야 : 무선 센서 네트워크, 무선 메쉬 네
 트워크, 네트워크 보안, 소프트웨어시스템공학,
 RFID, MIMO Network Optimization>