

멀티 채널 무선 메쉬 네트워크를 위한 클러스터 기반 채널 할당

차시호*

*청운대학교 멀티미디어학과

e-mail:shcha@chungwoon.ac.kr

Cluster-Based Channel Assignment for Multi-Channel Wireless Mesh Networks

Si-Ho Cha*

*Dept. of Multimedia Science, Chungwoon University

요약

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. 효율적인 채널 할당을 위해서는 채널 스캐닝 지연과 채널 의존성 문제를 고려해야 한다. 본 논문에서는 멀티채널 WMN에서의 이러한 문제점들을 해결하기 위해 클러스터 기반의 채널 할당(Cluster-Based Channel Assignment, CB-CA)을 제안한다. CB-CA에서는 클러스터 헤드 메쉬 라우터(Cluster Head Mesh Router, $CHMR$)들 간에는 동일 채널을 사용함으로써 채널 스캐닝과 채널 스위칭을 수행하지 않는다. 해당 클러스터 멤버 라우터(Cluster Member Mesh Router, CMR)들과의 통신에는 $CHMR$ 들 간의 통신 채널에 영향을 미치지 않는 채널을 할당함으로써 멀티채널에서 발생할 수 있는 간섭을 최소화 할 수 있다.

1. 서론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks, WMNs)는 크게 메쉬 라우터(Mesh Router, MR)와 메쉬 클라이언트(Mesh Cluster, MC), 그리고 메쉬 게이트웨이(Mesh Gateway, MGW)로 구성된다[1]. MR은 전통적인 무선 라우터와 같이 게이트웨이/브리지 기능을 위한 라우팅 기능 이외에 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, MGW는 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 서비스

를 제공할 수 있으며, 비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 또한 MR은 일반적으로 다중의 무선 라디오(NICs)를 가짐으로써 메쉬 네트워킹의 용통성과 성능을 향상시킬 수 있다[2]. WMN은 무선 멀티 홉 환경으로 인해 홉 개수가 증가하거나 각 MR들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생할 확률이 높아진다. 이는 WMN의 전체적인 성능을 급격히 감소시킨다. WMN에서 주로 사용하는 인터페이스 기술인 IEEE 802.11b/g와 IEEE 802.11a 스펙에서는 3개 또는 12개의 멀티채널을 지원한다. 이러한 채널 할당 문제는 네트워크의 연결성 유지와 채널 의존성 문제 해결이라는 두 가지 요구사항을 만족시켜야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 멀티채널 WMN의 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

를 구성하고, 해당 클러스터 멤버 MR(Cluster Member Mesh Router, C_MMR)들의 채널 정보를 채널 데이터로 유지하는 클러스터 헤드(Cluster Head MR, C_HMR)가 선출된다. C_HMR 의 선출 조건은 최대 연결성을 갖는 노드가 된다. C_HMR 들은 인접한 클러스터의 C_HMR 들과 채널 스캐닝 및 채널 스위칭을 수행하지 않고 효율적으로 통신하기 위해 동일 채널을 할당하여 통신하고, 클러스터 내의 C_MMR 들과는 C_HMR 들 간의 통신 채널과 간섭이 발생하지 않는 직교 채널을 할당한다. 또한 해당 C_HMR 은 자신의 클러스터 내의 C_MMR 들과의 통신을 위해 타임 슬롯을 할당한다.

2. 관련연구

Marina[3]는 그리드 기반의 휴리스틱 채널 할당 기법을 제안하여 연결성이 보장되고 간섭이 적은 토폴로지를 찾는 방법을 제안하였다. 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 적합하지가 않다.

Alicherry[4]는 RCL 알고리즘을 제안하였다. RCL 알고리즘은 채널 할당 문제와 라우팅 문제를 함께 해결하기 위한 선형 계획법 계산식을 만들고 이 계산식의 답을 통하여 토폴로지 상에서 채널이 설정된다. 그러나 WMN에서 주로 사용하는 IEEE 802.11 표준에는 적용하기가 쉽지 않다.

Raniwala[5]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.

3. 클러스터 기반 채널 할당

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. $E = \{(v_i, v_j, c_k) | v_i, v_j \in V \wedge c_k \in C\}$ 는 채널 c_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 정의이다.

[표 1] 심볼 표기

심볼	정의
CL_i	클러스터 i
C_HMR_i	클러스터 i 의 C_HMR
C_MMR_i	클러스터 i 의 C_MMR
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

표 2는 CB-CA 알고리즘이다. CB-CA는 두 단계로 이루어진다.

[표 2] 클러스터 기반 채널 할당(CB-CA) 알고리즘

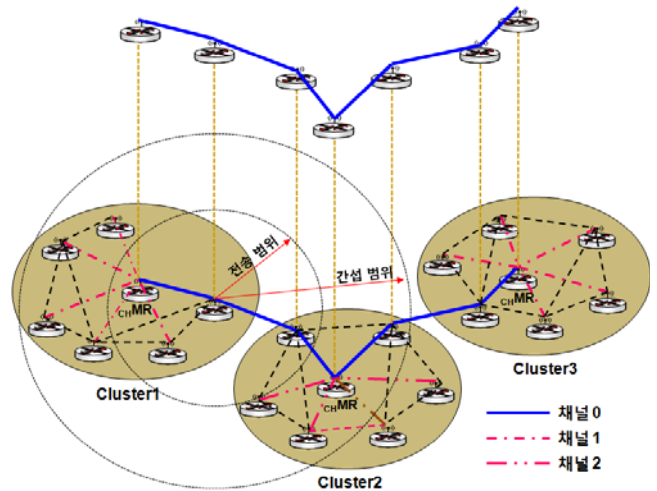
```

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

첫 번째 단계에서는 통신 범위에 존재하는 노드들 간에 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 C_HMR 로 선정하게 된다. 이러한 클러스터링이 메쉬 네트워크 전반에서 이루어진다. 클러스터링이 완료

되면 각 클러스터의 $CHMR$ 들은 자신들의 디폴트 채널을 다른 클러스터의 $CHMR$ 들과의 통신에 정적인 할당을 수행함으로써 채널 스캐닝과 채널 스위칭이 발생하지 않게 된다. 이때 각 클러스터간의 통신 거리가 먼 경우에는 에지 메쉬 라우터(EMR)를 $CHMR$ 들의 통신에 포함시킨다. 각 클러스터 내에서는 $CHMR$ 들과의 통신에 사용되는 채널과 간섭이 발생하지 않으며 인접 클러스터에서의 통신 채널과도 간섭이 발생하지 않는 채널을 선정하여 내부 $CMMR$ 과 $CHMR$ 간의 통신 채널로 사용한다. 이를 위해 $CHMR$ 은 자신의 클러스터 내의 $CMMR$ 들의 통신 충돌을 방지하기 위하여 시간 슬롯을 각 $CMMR$ 들에 할당하고, 각 $CMMR$ 은 자신의 타임 슬롯 시간에 데이터를 $CHMR$ 로 전달하게 된다.

그림 1에서 각 클러스터 내의 가는 점선은 물리적으로 통신이 가능한 링크이다. CB-CA에서 특정 클러스터 내의 모든 $CMMR$ 은 이웃 노드들과의 물리적인 통신 가능 링크가 존재한다고 하더라도 자신이 속한 클러스터의 $CHMR$ 과의 통신만 수행하게 된다. 이때, 클러스터 1번의 $CHMR$ 들과 $CMMR$ 들의 통신을 위해 사용하던 채널을 1에서 2로 변경하게 되면 클러스터 1과의 간섭 범위에 있는 클러스터 2에 속한 $CHMR$ 들과 $CMMR$ 들의 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 해결하여 효율적인 데이터 전달을 가능하게 한다. 즉, 연속적인 채널 스위칭이나 채널 스캐닝으로 인한 성능 지연의 영향이 줄어들기 때문에 결과적으로 전체적인 네트워크 성능이 향상된다.



[그림 1] 클러스터 기반 채널 할당(CB-CA)

4. 결론

본 논문에서는 멀티채널 WMN을 위한 채널 의존성 문제와 채널 스캐닝 지연시간을 해결하기 위한 클러스터 기반의 채널 할당 방식(CB-CA)을 제안하였다. CB-CA 방식은 클러스터 헤드들간의 공유 채널 할당으로 채널 스캐닝과 채널 스위칭이 발생하지 않으며, 클러스터 내에서는 클러스터 헤드와 클러스터 멤버간의 통신을 위해 클러스터 헤드들간에 사용된 채널과 간섭이 발생하지 않으면서 이웃 클러스터들과도 간섭이 발생하지 않는 채널을 사용하여 메시지를 전송할 수 있기 때문에 전체적인 멀티채널 WMN의 성능을 향상시킬 수 있다. 향후에는 본 논문에서 제안한 CB-CA 방법에 대한 다양한 성능평가를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] E. Hossain, K. K. Leung, "Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols", Springer Media, 2008.
- [2] I. F. Akyildiz, X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", IEEE Radio Communications, pp.S23-S30, Sep. 2005.
- [3] M. Marina, S. Das, "A topology control approach for Utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks", IEEE Broadnets, 2005.
- [4] M. Alicherry, R. Bhatia, L. Li, "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks", ACM MobiCom, 2005.
- [5] A. Raniwala, T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Network", IEEE Infocom, 2005.