

# IEEE 802.11 무선 메쉬 네트워크에서의 성능 이상 현상 고려를 위한 트리 기반 채널 할당 프로토콜

(A Tree based Channel  
Assignment Protocol for  
Considering the Performance  
Anomaly in IEEE 802.11 Wireless  
Mesh Networks)

김석형<sup>†</sup>      김동욱<sup>†</sup>  
(Sok-Hyong Kim)      (Dong-Wook Kim)

서영주<sup>\*\*</sup>  
(Young-Joo Suh)

**요약** 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network, WMN)는 무선 링크를 이용한 무선 백본 네트워크를 형성하여 사용자에게 인터넷 서비스를 효율적으로 제공할 수 있는 해결책 중의 하나이다. WMN에서 널리 사용되고 있는 기술은 IEEE 802.11이며, 이는 멀티 채널(multichannel)과 멀티 레이트(multirate)를 제공한다. WMN에서 중요한 이슈 중의 하나는 네트워크 용량(capacity)이며, 이를 높이기 위한 멀티 채널 프로토콜이 절실하다. 하지만, 다른 레이트로 동작하는 무선 링크가 같은 채널에서 동작하면, 높은 레이트(high-rate) 링크의 성능이 낮은 레이트(low-rate)

링크로 인해 저하되는 성능 이상(performance anomaly) 현상이 발생한다. 이러한 문제를 완화하기 위해 본 논문에서는 데이터 레이트를 멀티채널로 분산시키기 위한 트리 기반 채널 할당(Tree-based Channel Assignment, TreeCA) 프로토콜을 제안한다. TreeCA는 인터넷 트래픽을 효율적으로 전달하기 위해 트리 WMN 구조를 기반으로 채널 할당을 수행한다. 부모 노드는 다른 레이트로 연결된 자식 노드를 다른 채널로 분산시켜서, 성능 이상 현상을 완화한다. 시뮬레이션을 통해 TreeCA가 기존 멀티 채널 WMN 프로토콜 보다 향상된 성능을 보임을 관찰하였다.

키워드 : 멀티 채널, 멀티 레이트, 무선 메쉬 네트워크

**Abstract** WMN is one of efficient solutions to provide Internet services for users by forming wireless backbone networks with wireless links. The dominant technology for WMNs is the IEEE 802.11, which provides multi-channel and multi-rate capabilities. One of important issues in WMNs is the network capacity and it is essential to design a multi-channel protocol that leverages the network capacity. However, when wireless links that use different data rates operate on the common channel, the performance of high-rate links is severely degraded by the presence of the low-rate links, which is often referred as performance anomaly. In this paper, we propose a Tree-based Channel Assignment (TreeCA) protocol to mitigate the performance anomaly problem by distributing data rates over multiple channels. TreeCA performs channel assignments based on the tree WMN architecture to accommodate the Internet traffics efficiently. Parent nodes on the tree distribute their child nodes over multiple channels so that the performance anomaly is reduced. Through simulations, we observed that the proposed TreeCA outperforms the existing multi-channel protocols for WMNs.

**Key words** : Multichannel, Multirate, Wireless Mesh Networks

## 1. 서론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network, WMN)는 무선으로 넓은 지역에 걸쳐 사용자에게 인터넷을 제공한다. WMN는 MGW(Mesh GateWay), MR(Mesh Router), MC(Mesh Client)로 구성된다. MGW는 유선 네트워크와 연결되어 MR 및 MC에게 인터넷 경로를 제공한다. MR은 다수의 NIC(Network Interface Card)와 무선 링크를 통해, MC에게 인터넷 서비스를 제공한다 [1]. WMN를 위한 기술 중 IEEE 802.11은 무선 인프라 환경에서 널리 사용되고 있으며 비면허 대역 사용, 자가 구성, 저렴한 장비 및 유연한 확장성을 통해 경제적인 WMN 구축을 가능케 한다. 또한, Tropos[2], Mesh Dynamics[3]와 같은 WiFi기반의 장비 업체들이 활발히 WMN를 구축하고 있다.

· 본 연구는 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(No. R01-2007-000-20154-0)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(IITA-2009-C1090-0902-0045)

· 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 'IEEE 802.11 무선 메쉬 네트워크에서의 데이터 레이트 분산을 위한 트리 기반 채널 할당'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 비회원 : POSTECH 컴퓨터공학과  
shkimm@postech.ac.kr  
shkim80@postech.ac.kr

\*\* 종신회원 : POSTECH 컴퓨터공학과 교수  
yjsuh@postech.ac.kr  
논문접수 : 2009년 8월 13일  
심사완료 : 2009년 11월 24일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.  
정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 16권 제3호(2010.3)

WMN의 주요 이슈는 네트워크 용량 (capacity)이다. 멀티 채널 WMN에서는 MR이 IEEE 802.11[4]과 같은 다수의 NIC을 사용하여 멀티 채널 상으로 동시 전송을 할 수 있다. 물리적으로 인접한 두 개 이상의 MR은 NIC을 사용하여 무선 링크를 만들 수 있다. 즉, MR 개수가 증가함에 따라 무선 링크개수는 기하급수적으로 증가한다. 하지만, IEEE 802.11에 정의된 채널 개수는 제한적이므로 무선 링크들은 채널을 공유해야 한다. 이를 해결하기 위해 다양한 WMN기반의 멀티 채널 프로토콜이 제안되었다[5-10].

또한, IEEE 802.11은 채널 환경에 따라 다양한 데이터 레이트(data rate)를 제공한다. 예를 들어, 802.11a는 6Mbps에서 54Mbps를 지원한다. WMN 링크들은 동일 채널에서 다른 레이트를 사용할 가능성이 많다. 하지만, [11]의 결과에 따르면, 높은 레이트 링크의 성능은 낮은 레이트 링크에 의해 심각하게 저하된다. 이러한 성능 이상(performance anomaly) 현상을 해결하기 위해 다양한 접근 방법이 제안되었다[12-15].

따라서, 본 논문에서는 IEEE 802.11기반 WMN에서 성능 이상 문제를 멀티 채널로 해결하기 위해 트리 기반 채널 할당(Tree-based Channel Assignment, TreeCA)을 제안한다. WMN의 트래픽은 대부분 인터넷에 접근하는 트래픽이다 [1,5]. 따라서, TreeCA는 이를 반영하기 위해 MGW를 최상위 노드로 하는 트리를 기반으로 채널을 할당한다. 트리 형성시 각 노드는 EPD(Estimated Path Delay) 메트릭을 사용하여 MGW까지의 낮은 지연 시간을 제공하는 경로를 선택한다. 또한, 부모 노드는 분산 알고리즘 (Distribution Algorithm, DA)을 사용하여 자신과 자식 노드 사이의 링크를 다른 채널로 분산시킨다. 이는 낮은 레이트 링크와 높은 레이트 링크를 분리시켜 성능 이상을 완화할 수 있다. NS-2를 통해 TreeCA가 기존 채널 할당 프로토콜에 비해 나음을 확인하였다.

논문 구성은 2장에서 관련 연구를 살펴보고, 3장에서 성능 이상 현상을 관찰한다. 4장에서 TreeCA를 설명하고, 5장에서 성능을 평가한 후, 6장에서 결론 맺는다..

## 2. 관련 연구

WMN을 위해 다양한 멀티 채널 프로토콜이 제안되었다. 이들은 분산 방식 [5-7]과 중앙 집중 방식[8-10]으로 나눌 수 있다. 분산 방식에서는 각 노드가 이웃 노드와 채널 정보를 주기적으로 교환하여 자신의 NIC에 채널을 할당한다. 예로, Hyacinth[5]는 트리 기반으로 노드가 두 개의 NIC을 사용한다. MGW가 트리의 최상위 노드이며, 각 노드는 하나의 NIC를 부모 노드, 다른 하나의 NIC는 다수의 자식 노드와 통신하기 위해 사용한다. 노드가 홉 개수로 부모를 선정한다. ICA(Ident-

tical Channel Assignment)[6]에서는 노드가 가용한 각 NIC에 정적으로 채널을 할당하고, 라우팅 메트릭으로 WCETT를 사용한다. 반면 중앙 집중 방식은 하나의 중앙 노드가 모든 노드로부터 채널 및 트래픽 정보를 수집하여 최적화된 알고리즘을 통해 채널을 할당한다.

한편, 멀티 레이트 환경에서 성능 이상 문제를 해결하기 위해 i) 낮은 레이트 링크 상으로 전송되는 프레임 수의 조절, ii) 채널 접근시 사용되는 MAC 파라미터 조절[12], iii) 높은 레이트 링크 상으로 연속적인 프레임 전송 등의 방법이 제시되었다. 하지만, 이들은 기존 IEEE 802.11 표준을 수정해야 한다.

본 논문의 초점은 성능 이상 문제를 멀티 채널로 해결하는 것이다. DR-CA[13]는 각 채널에 할당된 링크의 레이트 합이 거의 동일하도록 분산시킨다. MRMC [14]는 AP가 각 레이트마다 하나의 NIC을 장착하고, 각 NIC은 다른 채널로 할당된다. 그 후, WLAN의 노드들은 자신과 AP사이의 링크의 레이트에 맞는 NIC에 연결된다. 하지만, DR-CA와 MRMC는 단일 홉 네트워크를 가정했다. RB-CA[15]는 IEEE 802.11b를 가정하여 트리 기반 WMN를 형성한다. 채널 할당은 rate-hop 메트릭을 통해 성능 이상 현상을 완화한다.

## 3. 문제 정의

본 장에서는 멀티 레이트 WMN에서의 성능 이상 현상을 관찰하고, 이를 완화하기 위한 멀티 채널 방법의 필요성을 제기한다. 그림 1은 WMN의 한 예이며, 하나의 NIC을 가진 6개 노드가 동일 채널을 사용한다. 각 링크는 데이터 레이트와 플로우 방향을 가진다.

이러한 토폴로지 그림 1의 성능을 NS-2로 관찰해 보자. 총 3개의 포화된(saturated) UDP 플로우가 노드 A, C, E에서 노드 B, D, F쪽으로 10초, 20초, 30초에 각각 생성되었다. 그림 2는 시간에 따른 성능이다. 먼저, 노드 A가 A-B 링크(54Mbps)로 전송하는 동안에는 20초까지 약 18Mbps가 유지된다. 그 후, 노드 C가 C-D 링크(24Mbps)로 전송하면, 전체 성능이 15Mbps로 떨어진다. 노드 E가 링크 E-F (6Mbps)로 전송하면 성능이 더욱 저하된다. 이를 완화하기 위한 멀티 채널 방법은 기존 802.11을 수정하지 않는 중요한 접근 방법이다.

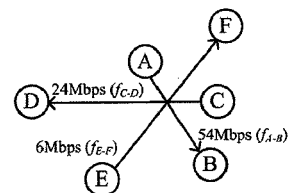


그림 1 멀티 레이트 WMN 예제 토폴로지

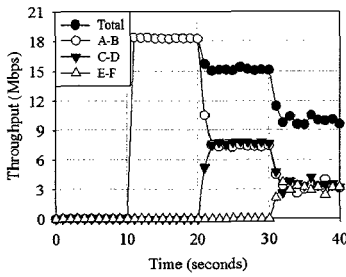


그림 2 네트워크 성능 관찰(그림 1 토폴로지)

#### 4. 트리 기반 채널 할당 프로토콜

본 장에서는 TreeCA을 설명한다. 각 노드가 최소한 두 개 이상의 NIC을 가진다고 가정한다. 하나의 NIC(부모 NIC)은 부모 노드와 통신하기 위해, 나머지 다수의 NIC(자식 NIC)들은 자식 노드와 통신하기 위해 사용한다.

##### 4.1 트리 구성 과정

TreeCA는 트리에 있는 노드가 인터넷 경로를 모르는 노드에게 인터넷 경로를 알리기 위해 주기적으로 TA(Tree Advertisement) 메시지를 모든 채널 상으로 브로드캐스트한다. 이러한 TA는 물리적으로 인접한 1-홉 내의 이웃에게 전달된다. TA는 TA의 송신자 주소, 인터넷 경로를 알고 있는지 여부, 각 자식 NIC의 채널 번호, 그리고 MGW까지의 EPD(Estimated Path Delay) 매트릭(4.2절 참조)이 포함된다.

노드 X가 트리 멤버로써 인터넷 경로를 안다면, 노드 X는 TA를 전송한다. 이를 받은 새로운 노드 Y는 1) 인터넷 경로를 모르거나, 2) 이전 부모 노드 Z보다 X를 통한 인터넷 경로가 EPD에 기반하여 더 좋다고 판단되면 노드 X에게 JOIN 메시지를 보낸다. JOIN은 노드Y의 주소와 노드Y의 자식 노드 주소를 포함한다. 노드 X는 JOIN에 포함된 주소들을 라우팅 테이블에 넣고, ACK 메시지로 응답한다. 이때, 노드 X는 받은 JOIN을 부모 노드에게 전달하고, 노드 X에서 MGW까지의 모든 부모 노드가 노드 Y와 노드 Y의 자식 노드를 라우팅 테이블에 추가한다. 노드 Y가 이전 부모 노드 Z를 떠날 경우에는, 노드 Z에게 DISJOIN 메시지를 보내고, 노드 Z는 노드 Y와 노드 Y의 자식 노드를 라우팅 테이블에서 삭제한다. 노드 Z는 부모 노드에게 DISJOIN을 전달하고, 노드 Z로부터 MGW까지 경로 상의 모든 부모 노드가 노드 Y 및 노드 Y의 자식 노드를 라우팅 테이블에서 삭제한다. 결국, Y는 X의 자식 노드가 된다.

##### 4.2 EPD(Estimated Path Delay) 매트릭

TreeCA에서 노드는 가장 작은 EPD 매트릭 값을 가지는 경로를 선택하여 트리를 구성한다. 이는 EPD 매트릭이 MGW로부터 노드까지 경로의 지연 시간을 반영

하기 때문이다. 그리고, IEEE 802.11a가 IEEE 802.11b 보다 높은 레이트를 지원하고, 보다 많은 직교 채널을 제공하므로 본 논문에서는 802.11a를 가정한다. 따라서, 가용 레이트는 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps이다. 다른 레이트를 사용하는 링크들이 같은 채널을 공유할 때의 네트워크 성능은 다음과 같다[12].

$$S = \sum_{i=1}^R (S_i \times r_i). \tag{1}$$

여기서, R은 가용 레이트 개수이며,  $r_i$ 는 그룹 i의 데이터 레이트다.  $S_i$ 는 그룹 i의 정규화된 포화 처리율(normalized saturation throughput)이다. 식 (1)에 있는 모델은 각 그룹에 포함된 노드의 개수(혹은 링크의 개수)에 따른 함수로써 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S = f(n_1, n_2, \dots, n_R). \tag{2}$$

여기서,  $n_i$ 는 그룹 i에 포함된 링크 개수이다. 따라서, 단일 채널 상에 하나의  $r_i$  링크가 동작할 때, 하나의 데이터 패킷(크기 L)을 그 링크를 통해 전송할 때 걸리는 시간 ELD(Estimated Link Delay)는 다음과 같다.

$$ELD(i) = \frac{L}{S(i)}. \tag{3}$$

여기서,  $S(i)$ 는 단일 채널에서 하나의  $r_i$  링크가 동작할 때의 성능이다. 이때, 노드 X의 EPD는 다음과 같다.

$$EPD(X) = \sum_{j \in P} ELD_j \tag{4}$$

여기서,  $ELD_j$ 는 노드 X로부터 MGW까지 경로 P상에 존재하는 링크 j의 ELD값이다. 데이터 패킷 크기가 1000 byte일 경우, 각 레이트의 ELD값은 표 1과 같다.

표 1 각 데이터 레이트의 ELD 값(L = 1000 bytes)

Data rates (i)	EDT	Data rates (i)	EDT
54 Mbps (1)	396 usec	18 Mbps (5)	701 usec
48 Mbps (2)	415 usec	12 Mbps (6)	929 usec
36 Mbps (3)	472 usec	9 Mbps (7)	1158 usec
24 Mbps (4)	587 usec	6 Mbps (8)	1615 usec

#### 4.3 채널 할당 및 분산 알고리즘

본 절에서는 채널 할당 및 분산 알고리즘을 설명한다. 먼저, 자식 NIC의 채널 할당과정을 살펴보자. TreeCA에서는 각 자식 NIC에 채널 할당할 때, 가용 채널 중에서 가장 트래픽 양이 작은 채널을 할당한다. 이를 위해 인접한 2-홉 이웃 노드는 주기적으로 CLR(Channel Load Report) 메시지를 모든 채널로 브로드 캐스트하여 교환한다 (전송 범위와 간섭 범위를 고려하여 2-hop으로 설정하였다.) CLR은 노드가 사용하는 채널로 송수신한 트래픽 양을 바이트(byte) 단위로 계산한 값, 순서(sequence)

### 알고리즘 1. 분산 알고리즘

```

1: Distribution Algorithm (void) {
2:   curr S = new S = 0; max nic = null; /* 초기화*/
3:   모든 자식 NIC의 throughput = 54Mbps;
4:   자식 링크를 데이터 레이트의 내림 차순으로 정렬;
5:   모든 자식 링크를 첫 번째 자식 NIC에 할당;
6:   for 각 자식 링크 i에 대하여 do {
7:     curr S = get total S(RVs); /* 현재 Stotal 값 */
8:     max nic = max throughput child nic(RVs);
9:     현재 자식 링크 i를 max nic으로 임시 할당;
10:    new S = get total S(RVs); /* 새로운 Stotal 값 */
11:    if (curr S <= new S) then
12:      현재 자식 링크 i를 max_nic으로 최종 할당;
13:    else
14:      break;
15:  }
16:  채널 변경된 자식 노드에게 CSW 메시지 전송;
17:  변경된 RV를 채널 할당 결과에 따라 갱신;
18: }

```

번호 및 TTL = 2를 포함한다. 만약, 노드 X가 사용 중인 채널보다 트래픽량이 더 작은 채널을 찾은 경우에는 자식 NIC 채널을 변경한다. 변경된 채널은 CSW(Channel Switch) 메시지를 통해 자식 노드에게 알린다.

자식 NIC의 채널 할당 후, 분산 알고리즘(알고리즘 1)을 수행하고, 자식 노드의 최종적 자식 NIC을 결정하여, 이를 ACK 메시지에 포함해서 해당 자식 노드에게 알려준다. 노드 X는 자신과 연결된 “자식 링크” (부모 노드와 자식 노드 사이의 링크)의 데이터 레이트를 다음과 같이 RV(Rate Vector)로 알고 있다고 가정한다.

$$RV(k) = [n_1^k, n_2^k, \dots, n_R^k]^T, \quad (5)$$

여기서,  $n_i^k$ 는 k번째 자식 NIC으로 연결된 데이터 레이트  $r_i$ 를 사용하는 자식 링크의 개수이다. 즉, 2번째 자식 NIC에 연결된 3개의 자식 링크의 레이트가 모두 54Mbps이라면,  $RV(2) = [3, 0, \dots, 0]^T$ 이다.

알고리즘 1의 line 2에서 변수들을 초기화하고, 모든 자식 NIC의 처리율을 54Mbps로 초기화한다. Line 4는 자식 링크를  $r_i$ 에 따라 내림차순으로 정렬하고, 첫 번째 자식 NIC에 할당한다. 그 후, 가장  $r_i$ 가 높은 자식 링크부터 차례대로 반복문을 돌면서(line 6), 현재 총 처리율( $S_{total}$ )을 아래와 같이 계산한다(line 7).

$$S_{total} = \sum_{k=1}^K S^k. \quad (6)$$

여기서,  $S^k$ 는 k번째 자식 NIC의 RV를 식 (2)에 적용하여 계산한 값이다. 그 다음, 노드 X는 자식 NIC 중에서 가장 처리율이 높은 NIC을 선택하여(line 8), 그 NIC으로 현재 자식 링크를 임시로 이동시킨다. 새로운  $S_{total}$ 에 향상이 있다면, 현재 자식 링크를 최종적으로 높은 NIC에 할당하고, 다음 자식 링크에 대해 동일한 과정을 수행한다.  $S_{total}$  향상이 없거나 남은 자식 링크가 없을 경우, 채널 변경된 자식 노드에게 CSW 메시지로 알리고, RV도 채널 할당 결과에 따라 갱신한다(line 16-17).

## 5. 성능 평가

### 5.1 실험 환경

본 절에서는 NS-2를 사용하여 TreeCA 성능을 Hyacinth[5], ICA[6]와 비교한다. 네트워크 크기는  $2500m \times 2500m$ 이고, 모든 결과는 30개의 서로 다른 토폴로지를 200초 동안 실험하였다. 각 토폴로지는 임의의 위치에 존재하는 MGW 1개와 MR 30개를 포함하고, 각 노드는 세 개의 NIC을 가진다(즉, TreeCA는 하나의 부모 NIC와 두 개의 자식 NIC를 가진다). IEEE 802.11a에 따라 채널 및 데이터 레이트 개수는 각각 12개, 8개이다. 전송 범위와 간섭 범위는 각각 250m와 550m이다.

성능 측정은 UDP 트래픽을 사용하였으며, 패킷 크기는 1000 byte이다. 각 플로우의 트래픽량은 200Kbps에서 800Kbps로 변화시켰다[8]. 플로우 개수는 30개이며, 임의로 선택된 두 노드가 플로우의 송신자와 수신자이다. 인터넷 트래픽의 성능을 평가하기 위해 두 노드 중 하나는 MGW으로 설정하였다.

### 5.2 패킷 전달율 및 종단간 지연 시간

그림 3(a)와 그림 3(b)는 플로우의 트래픽량에 따른 패킷 전달율과 종단간 지연시간을 보여주고 있다. ICA, Hyacinth, TreeCA는 트래픽량이 증가함에 따라 패킷 전달율은 떨어지고, 종단간 지연 시간은 증가한다. 각 플로우의 트래픽량이 800Kbps일 때, TreeCA의 패킷 전달율은 Hyacinth와 ICA에 비해 14.5%, 96.7% 정도 향상되며, TreeCA의 종단간 지연 시간은 Hyacinth와 ICA에 비해 약 45.3%, 83.1% 정도 감소한다.

이러한 성능 향상은 TreeCA가 채널 할당시 EPD으로 낮은 지연 시간의 경로를 선택하는 반면, Hyacinth는 홑 개수로 트리를 형성하기 때문이다. 또한, TreeCA의 분산 알고리즘은 성능 이상 문제를 줄인다. ICA는 WCETT을 사용하여 높은 채널 다양성(diversity)과 낮은 지연 시간의 경로를 선택하지만, 가용 채널이 12개 일지라도 3개의 NIC을 통해 3개의 채널만 사용한다. 또한, ICA 채널할당은 성능 이상 문제를 고려하지 않는다.

### 5.3 공평성(Fairness)

TreeCA의 공평성을 측정하기 위해 각 플로우의 공평성( $F_{PDR}$ )을 다음과 같이 정의하였다.

$$F_{PDR} = \left( \sum PDR_f \right) / \left( N_F \cdot \sum PDR_f^2 \right).$$

여기서,  $N_F$ 는 플로우 개수이며,  $PDR_f$ 는 플로우 f의 패킷 전달율이다. 그림 3(c)는 트래픽량에 따른  $F_{PDR}$ 값을 보여준다. 트래픽량 증가에 따라 TreeCA의 공평성이 Hyacinth와 ICA에 비해 약 7.6%, 68.1% 정도 향상된다. 이는 TreeCA가 선택하는 경로가 트리 상의 홑을 거칠 때마다 다른 채널을 사용하고, EPD을 기반으로 낮은 레이트 링크보다 높은 레이트 링크를 활용하기 때문이다.

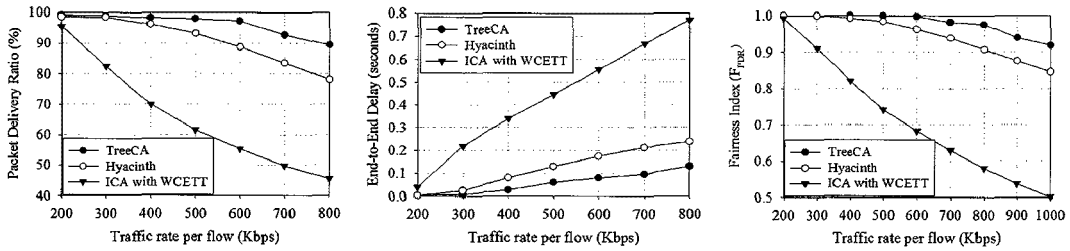


그림 3 트래픽 량에 따른 성능. (a) 패킷 전달율, (b) 종단간 지연 시간, (c)  $F_{PDR}$

ICA는 제한된 채널을 사용하므로 MGW로부터 멀리 떨어져 있는 노드는 가까이 있는 노드에 비해 성능이 저하되고, TreeCA에 비해 낮은 공평성을 나타낸다.

#### 5.4 컨트롤 메시지 오버헤드

TreeCA는 트리 기반 구성, 채널 할당 및 분산 알고리즘 수행을 네트워크 초기화시에 완료된다. 따라서, 컨트롤 오버헤드는 TreeCA의 성능에 큰 영향이 없다. 그림 3에서 TreeCA 성능은 이러한 컨트롤 오버헤드가 반영된 결과이며, 총 처리율에 대비한 컨트롤 오버헤드는 2% 미만임을 확인하였다.

#### 6. 결론

본 논문에서는 WMN에서 일어날 수 있는 성능 이상 문제를 관찰하고 이를 완화하기 위한 트리 기반 채널 할당(TreeCA)을 제안하였다. TreeCA는 EPD 메트릭을 사용하여 낮은 지연 시간의 인터넷 경로를 제공하고, 분산 알고리즘을 통해 성능 이상 문제를 줄였다. NS-2을 사용하여 TreeCA가 기존 멀티 채널 프로토콜에 비해 성능이 향상됨을 확인하였다. 향후에는 자식 노드간 혹은 다른 부모에 속한 자식 노드간의 직접 통신을 위한 채널 할당을 연구할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Elsevier Computer Networks*, vol.47, no.4, pp.445-487, Mar. 2005.
- [2] Tropo Networks; <http://www.tropo.com>
- [3] Mesh Dynamics; <http://www.meshdynamics.com>
- [4] IEEE Part 11: Wireless LAN MAC and PHY specifications, IEEE Std. 802.11, 1999.
- [5] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications*, vol.3, pp.2223-2234, Mar. 2005.
- [6] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," *Proceedings of ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.114-128,

Sept. 2004.

- [7] S. Sridhar, J. Guo, and S. Jha, "Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks: A Graph-Theoretic Approach," *Proceedings of International Conference on Communication Systems and Networks*, pp.1-10, Jan. 2009.
- [8] Mohsenian-Rad, A.H. and Wong, V.W.S., "Joint logical topology design, interface assignment, channel allocation, and routing for multi-channel wireless mesh networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.6, no.12, pp.4432-4440, Dec. 2007.
- [9] M. Marina and S. Das, "A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks," *Proceedings of Broadband Networks*, vol.1, pp.381-390, Aug. 2005.
- [10] P. Dutta, S. Jaiswal, D. Panigrahi, and R. Rastogi, "A New Channel Assignment Mechanism for Rural Wireless Mesh Networks," *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications*, pp.2261-2269, Apr. 2008.
- [11] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berge-Dabbat, and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications*, pp.836-843, Mar. 2003.
- [12] D.Y. Yang, T.J. Lee, K.H. Jang, J.B. Chang, and S.H. Choi, "Performance Enhancement of Multirate IEEE 802.11 WLANs with Geographically Scattered Stations," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.5, no.7, pp.906-919, Jul. 2006.
- [13] Niranjan, S. Pandey, and A. Ganz, "Design and Evaluation of Multichannel Multirate Wireless Networks," *ACM/Kluwer Mobile Networking and Applications*, vol.11, no.5, pp.697-709, Oct. 2006.
- [14] T. Kuang, Q. Wu, and C. Williamson, "MRMC: A Multi-Rate Multi-Channel MAC Protocol for Multi-Radio Wireless LANs," *Proceedings of Workshop on Wireless Networks and Communication Systems*, pp.263-272, Jul. 2005.
- [15] S.H. Kim and Y.J. Suh, "Rate-Based Channel Assignment Algorithm for Multi-Channel Multi-Rate Wireless Mesh Networks," *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 1-5, Dec. 2008.