

# 멀티채널 무선 메쉬 네트워크에서의 채널 그룹을 이용한 거리 기반 채널 할당

정희원 김 석 형\*, 종신회원 서 영 주\*o

## Distance-Based Channel Assignment with Channel Grouping for Multi-Channel Wireless Mesh Networks

Sok-Hyong Kim\* *Regular Member*, Young-Joo Suh\*o *Lifelong Member*

### 요 약

무선 메쉬 네트워크 (Wireless Mesh Network, WMN)는 최근 들어 무선 접속 네트워크에서 높은 네트워크 용량을 지원하기 위해 중요한 이슈로 대두되고 있다. WMN에서 주로 사용하는 네트워크 인터페이스 기술인 IEEE 802.11 표준에서는 IEEE 802.11b/g 또는 IEEE 802.11a와 같은 스펙에 따라 3개 또는 12개의 멀티채널을 지원한다. 하지만, WMN에서 채널 할당 알고리즘을 디자인 할 때 두 가지 중요한 문제, 즉 채널 의존성 문제와 채널 스캐닝 딜레이를 고려해야 한다. 채널 의존성 문제는 인터페이스의 동적인 채널 변경이 노드 연결성을 유지하기 위해 다른 인터페이스의 채널 변경을 일으키는 문제이다. 또한, 채널 스캐닝 딜레이는 인터페이스가 채널을 변경할 때마다 발생하며 성능에 영향을 미친다. 따라서, 본 논문에서는 멀티채널 WMN환경에서 이러한 문제점들을 위해 메쉬 게이트웨이로부터의 거리에 기반한 채널 할당 (Distance-Based Channel Assignment, DB-CA)을 제안한다. DB-CA에서는 서로 다른 채널을 사용하는 노드들이 통신을 하기 위해 채널 스캐닝을 수행하지 않고 오직 채널 스위칭만 수행하며, WMN의 메쉬 게이트웨이에 가까운 노드들이 사용하는 채널에 미칠 수 있는 간섭을 최소화 한다. 실험 결과를 통해 WMN 에서 DB-CA가 기존 채널 할당 방식에 비해 향상된 성능을 나타냄을 확인하였다.

**Key Words** : Channel assignment, Multi-channel, Wireless mesh networks

### ABSTRACT

Wireless Mesh Networks (WMNs) have recently become a hot issue to support high link capacity in wireless access networks. The IEEE 802.11 standard which is mainly used for the network interface technology in WMNs supports up to 3 or 12 multiple channels according to the IEEE 802.11 specification. However, two important problems must be addressed when we design a channel assignment algorithm: *channel dependency problem* and *channel scanning delay*. The former occurs when the dynamic channel switching of an interface leads to the channel switching of other interfaces to maintain node connectivity. The latter happens per channel switching of the interface, and affects the network performance. Therefore, in this paper, we propose the Distance-Based Channel Assignment (DB-CA) scheme for multi-channel WMNs to solve such problems. In DB-CA, nodes just perform channel switching without channel scanning to communicate with neighboring nodes that operate on different channels. Furthermore, DB-CA minimizes the interference of channels being used by nodes near the gateway in WMNs. Our simulation results show that DB-CA achieves improved performance in WMNs.

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0045). 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20154-0).

\* 포항공과대학교 컴퓨터공학과 모바일 네트워킹 연구실(ishkimm, yjsuh)@postech.ac.kr (°: 교신저자)

논문번호 : KICS2008-05-234, 접수일자 : 2008년 5월 23일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 24일

## I. 서론

무선 접속 네트워크에서 인터넷 유선 네트워크로의 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 (Wireless Mesh Network, WMN)가 주목받고 있다. WMN에는 크게 세 가지의 부류의 노드가 존재하는데 이는 메쉬 라우터 (Mesh Router, MR)와 메쉬 클라이언트 (Mesh Client, MC), 그리고 WMN와 유선 네트워크를 연결하는 메쉬 게이트웨이 (Mesh Gateway, MGW)이다 (그림 1)<sup>[1]</sup>. MR은 WMN에서 중요한 역할을 수행하는 노드로써 IEEE 802.11<sup>[2]</sup>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 네트워크와 무선링크로 연결되어 WMN와 유선 네트워크를 이어주는 역할을 수행한다. 여기서 MR들은 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.

WMN는 이러한 특징을 가지고 있지만 무선 멀티 홉 환경이므로 홉 개수가 증가하거나 각 MR들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생할 확률이 높아진다<sup>[3]</sup>. 그 결과, 네트워

크 성능이나 패킷 지연 시간 등의 측면에서 성능이 급격히 떨어진다. 이러한 성능 저하의 근본적인 원인은 첫째, 데이터 전송이 동시에 일어날 경우 데이터가 전달되는 경로들 간에 간섭이 일어나기 때문이며 둘째, 무선 링크는 모든 전송이 브로드캐스트 (broadcast) 되는 특징이 있으므로 노드 간에 채널 사용을 위한 경쟁이 발생하기 때문이다. 또한 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 재사용 (spatial reuse) 향상이나 멀티 레이트 (multi-rate) 및 멀티 채널 등의 많은 연구들이 진행되어 왔다.

본 논문에서는 멀티채널 WMN에서 새로운 채널 할당 방식을 통해 네트워크 성능을 높여보고자 MGW로부터의 거리에 기반한 채널 선택 방법 (Distance-Based Channel Assignment, DB-CA)을 제안한다. DB-CA에서는 서로 다른 채널을 사용하는 MR들이 서로 효율적으로 통신하기 위해 물리적으로 통신 가능한 이웃 MR이 현재 사용하는 채널 정보를 채널 테이블로 유지한다. 이렇게 하여 다른 채널을 사용하는 MR와 통신하기 위해서 채널 테이블의 정보를 이용하여 채널 스캐닝 (channel scanning)을 수행하지 않고 채널 스위칭 (channel switching)만을 수행하므로 효율적으로 통신이 가능하다. 또한, 각 MR이 MGW로부터의 떨어진 거리 (홉 수)에 따라 채널 선택권에 우선순위를 부여하여 각 노드가 한정된 범위의 채널을 선택한다. 이렇게 함으로써 트래픽이 집중하는 MGW에서 가까운 무선 링크의 채널에 미칠 수 있는 영향을 최소화할 수 있게 되며, 기존 채널 할당 방식보다 향상된 네트워크 성능을 얻을 수 있다.

논문 구성은 다음과 같다. 먼저, 제안하는 채널 할당 방법과 관련된 연구들에 대해 살펴보고, 거리 기반의 채널 할당 방법을 제안하게 된 주된 문제점들을 살펴보고, 제안하는 채널 할당 방법을 자세히 설명한다. 그 후에 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법과 기존의 방법의 성능을 비교하고 논문을 마무리한다.

## II. 관련 연구

무선 네트워크에서 멀티채널을 활용하여 네트워크 성능을 향상시키기 위해 다수의 프로토콜들이 제안되었다. 이러한 채널 할당 방법들은 각 노드가

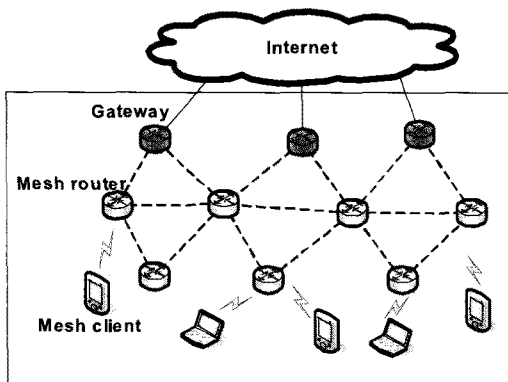


그림 1. 무선 메쉬 네트워크 (WMN)

사용하는 인터페이스 개수에 따라 크게 단일 인터페이스를 사용하는 프로토콜과 멀티 인터페이스를 사용하는 프로토콜로 분류할 수 있다.

먼저, 단일 인터페이스를 사용하는 대표적인 프로토콜으로는 Multi-channel MAC (MMAC)<sup>[4]</sup>과 Slotted Seeded CHannel (SSCH)<sup>[5]</sup>가 있다. MMAC에서는 모든 노드가 단일 인터페이스만을 사용하며, 시간 축을 비콘 인터벌 (beacon interval)로 나누어 비콘 인터벌 앞부분에서는 노드들이 어떤 채널을 사용할 것인지에 대한 정보를 교환하고 비콘 인터벌 뒷부분에서는 선택한 채널로 스위칭 후 데이터 전송을 수행한다. 데이터 전송을 마친 후에는 고정된 채널로 다시 스위칭하여 동일한 동작을 반복한다. SSCH에서는 각 노드들이 채널 번호와 시드 (seed)를 가지고 사용하는 채널이 겹치지 않도록 채널 hopping을 수행하여 동시에 데이터를 전송한다. 하지만, WMN에서는 단일 인터페이스만을 사용해서 많은 량의 데이터 트래픽을 전달하는데 한계가 있다. 또한 MMAC 과 SSCH는 네트워크 상의 각 노드들 간에 동기화가 이루어져야 하는 오버헤드가 존재한다.

멀티 인터페이스를 사용하는 채널 할당 프로토콜에는 Dynamic Channel Assignment (DCA)<sup>[6]</sup>와 Multi-channel Unification Protocol (MUP)<sup>[7]</sup>이 있다. DCA는 두 개의 인터페이스를 사용하여 하나의 인터페이스는 컨트롤 채널에 설정하여 어떤 데이터 채널을 사용할지에 대한 채널 정보교환을 하며, 나머지 인터페이스는 선택한 데이터 채널로 스위칭하여 데이터를 전송한다. 하지만, DCA에서는 채널 개수가 많을 경우 다수의 데이터 채널을 사용하기 위해 컨트롤 채널에 병목현상 (bottleneck)이 발생한다. 반대로 채널 개수가 적을 경우에는 컨트롤 채널을 통해 데이터 전송을 할 수 없으므로 컨트롤 채널이 낭비가 된다. MUP는 각 채널마다 하나의 인터페이스를 두며 각 채널마다 프로브 패킷 전송을 통해 Round Trip Time (RTT) 값을 계산하여 RTT 값이 가장 작은 채널로 데이터를 전송한다. 하지만, 장착해야 될 인터페이스 개수가 채널 개수에 비해 하여 늘어나므로 비용이 증가하는 단점이 있다.

따라서, 이러한 기존의 방법의 문제점을 보완하기 위한 MGW로부터의 거리 기반의 채널 할당 방법에서는 노드들 간의 동기화를 필요로 하지 않으며, 모든 채널들을 데이터 통신을 위한 채널로 사용한다. 또한, 각 노드들은 오직 두 개의 네트워크 인터페이스만을 사용하므로, 채널개수가 늘어남에 따른 비용은 증가하지 않는다.

### III. 거리 기반의 채널 할당

#### 3.1 채널 의존성 문제 (channel dependency problem)

멀티채널 환경에서 네트워크 성능을 높이기 위해 각 노드는 멀티 인터페이스를 사용할 수 있으며, 인터페이스들은 동적으로 채널 스위칭 할 수 있다. 하지만 각 인터페이스들이 동적으로 채널 스위칭 할 경우 채널 의존성 문제 (channel dependency problem)가 발생한다<sup>[8]</sup>. 이는 노드 A가 사용하던 채널을 변경할 경우 노드 A와 연결을 유지하고 있던 다른 이웃 노드 B도 노드 A와 연결을 유지하기 위해 채널을 변경해야 하며, 이러한 채널 변경이 네트워크 내에서 연속적으로 전파된다는 것이다.

이러한 문제점을 Hyacinth<sup>[8]</sup>는 어떤 인터페이스를 어떤 이웃 노드와 통신하기 위해 사용할 지를 결정하는 문제인 이웃-인터페이스 바인딩 (neighbor-interface binding) 문제와 선택한 인터페이스에 어떤 채널을 통해 데이터를 전송할 것인지를 결정하는 문제인 인터페이스-채널 할당 (interface-channel assignment) 문제로 정의하였다. 전자인 이웃-인터페이스 바인딩 문제를 해결하기 위해 Hyacinth에서는 스페닝 트리 구조의 WMN를 기반으로 하여 MR의 인터페이스들을 두 집합으로 나누어 하나의 집합은 부모 MR와 통신하며 다른 하나의 집합은 자식 MR와 통신하도록 하였다. 결과적으로 부모 MR와 통신하는 인터페이스 (parent interface, PI)의 채널 변경은 자식 MR와 통신하는 인터페이스 (child interface, CI)의 채널에 영향을 주지 않는다. 이러한 방법을 사용하면 이웃-인터페이스 바인딩 문제는 해결될 수 있지만, 인터페이스-채널 할당 문제는 여전히 해결되지 않는다.

이를 그림 2를 통해 살펴보면 다음과 같다. 그림 2에서는 노드들이 스페닝 트리 구조를 위해 두 개의 인터페이스 즉, PI와 CI를 사용한다. 실선은 트리 상의 실제 데이터 전달 경로이며, 점선은 물리적으로 통신 가능한 링크이다. 또한 노드들 사이의 숫자는 현재 부모노드와 자식노드 간에 사용 중인 채널 번호를 나타내며, 각 노드의 CI는 여러 채널 중에 전송된 트래픽량이 가장 적은 채널을 사용하고 가정한다. 이때, 채널 선택과정에서 우선순위가 가장 높은 노드 G (MGW)가 채널 3이 더 낮다고 판단하여 채널 1에서 채널 3으로 변경하면, 자식 노드 A, B의 PI는 채널 3으로 변경한다. 이후 채널 3을 사용하던 자식노드 B의 CI는 부모노드 G와 같

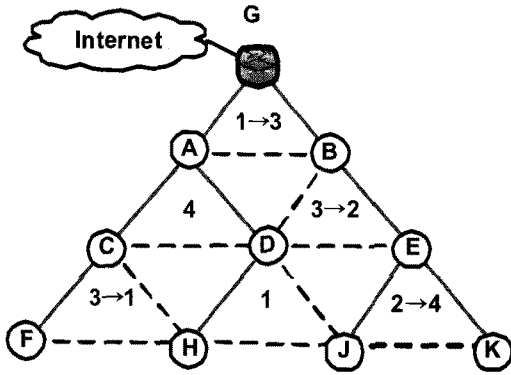


그림 2. 인터페이스-채널 할당 문제 예시

은 채널을 사용하므로 트래픽량이 적은 채널 (예를 들어, 채널 2) 로 채널을 변경하고 자식노드 E의 PI 도 마찬가지로 채널 2로 변경한다. 마찬가지로, 자식노드 E의 CI 는 PI와 동일한 채널 2를 사용하므로 보다 트래픽 사용량이 적은 채널 (예를 들어, 채널 4) 로 이동한다. 여기에서 알 수 있듯이, 스페닝 트리 구조 상에서도 각 노드들의 연속적인 채널 변경은 일어날 수 있다. 따라서, 인터페이스-채널 할당 문제는 그림 2와 같이 여전히 해결되지 않는다.

### 3.2 채널 스캐닝 딜레이 (channel scanning delay)

IEEE 802.11 표준에서는 인터페이스가 채널을 변경할 경우 채널 스캐닝을 수행하여 이웃 노드와 통신 가능 여부를 판단한다. 이를 위해 IEEE 802.11에서는 패시브 (passive) 스캐닝 과 액티브 (active) 스캐닝을 정의하고 있다. 패시브 스캐닝에서는 비콘 프레임을 사용하며, 액티브 스캐닝에서는 프로브 요청 및 응답 프레임을 사용한다. 이러한 두 가지 모드 중에 스캐닝 딜레이를 줄이기 위해서는 액티브 스캐닝을 사용해야 하며 액티브 스캐닝 모드에서는 MinChannelTime 와 MaxChannelTime 타이머를 사용한다. 먼저, 현재 채널이 다른 노드에 의해 사용 중인지 여부를 판단하기 위해 MinChannelTime 동안 대기하며, 사용 중이라면 MaxChannelTime 동안 프로브 요청 및 응답 프레임을 물리적으로 통신 가능한 1-홉 이웃 노드들과 주고 받음으로써 현재 도달 가능한 이웃노드의 정보를 획득한다.

멀티채널 WMN 환경에서는 채널 스위칭이 자주 일어나게 될 것이므로 이러한 두 개의 타이머는 채널 스캐닝 딜레이에 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 다른 채널을 사용하는 이웃 노드와 통신을 위해서는 채널 스캐닝이 필연적이며, 사용 가능한 채널 개

수가 늘어남에 따라 채널 스캐닝 딜레이는 더욱 길어지게 된다.

따라서, 위에서 언급한 채널 의존성 문제와 채널 스캐닝 딜레이로 인한 성능 저하를 해결하기 위해 본 논문에서는 MGW로부터의 거리에 기반한 채널 할당 방식 (DB-CA)을 제안한다.

### 3.3 거리 기반의 채널 할당 알고리즘 (Distance-Based Channel Assignment, DB-CA)

본 절에서는 멀티채널 WMN에서 채널 스캐닝 딜레이를 줄이면서 인터페이스-채널 할당 문제를 줄이기 위한 MGW로부터의 거리에 기반한 채널 할당 방식 (DB-CA)을 설명한다. DB-CA는 데이터 전달을 위해 스페닝 트리 구조에 기반한 라우팅을 수행하며, 각 노드는 두 개의 인터페이스 (즉, PI와 CI)를 사용한다고 가정한다.

앞에서 언급하였듯이, WMN에서는 데이터 트래픽이 MGW로 집중된다. 여기서, 스페닝 트리 기반의 WMN에서는 최상위 노드가 MGW이므로 MGW가 채널을 자주 변경할 경우 WMN 성능이 저하된다. 따라서, 성능향상을 위해서는 MGW의 채널 스위칭 회수를 최소한으로 해야 하며, MGW가 사용하는 채널은 간접 범위내의 MR이 사용하는 채널과 다른 채널을 최대한 사용해야 한다. 이는 MGW에 가까운 즉, MGW까지의 경로상 홉 수가 작은 노드일수록 채널 선택 시에 우선순위를 높게 부여하고 선택할 수 있는 채널의 범위를 다음과 같이 제한함으로써 가능하다.

먼저, DB-CA에서는 사용 가능한 채널들을 세 개의 집합 (S1, S2, 그리고 S3)로 나눈다. 이때, 집합 Si에 속한 채널 개수를 N(Si) 라고 한다면, 식 (1)과 같은 조건을 가진다.

$$N(S1) \leq N(S2) \leq N(S3) \quad (1)$$

즉, S1에 포함된 채널 개수가 가장 적고 S3에 포함된 채널 개수가 가장 많다. 이렇게 채널들을 나누고, MGW는 S1에 포함된 채널 중에서 가장 부하량 (해당 채널 상으로 전송된 데이터량)이 작은 채널을 선택하고, MGW로부터 1-홉 떨어진 자식 노드는 S2에서 채널을 선택하며, 2-홉 떨어진 자식 노드는 S3에서 하나의 채널을 선택하여 데이터를 전달한다. 이외에 MGW로부터 3-홉 이상 떨어진 자식 노드는 S1, S2 및 S3에 포함된 채널 중에 가장 부하량이 작은 채널을 선택한다.

여기서 채널당 부하량을 지역적으로 각 노드들이

알기 위해서 각 노드들은 물리적으로 1-홉 떨어진 이웃 노드들에게 CH-INFO 메시지를 주기적으로 브로드캐스트한다. CH-INFO 메시지에에는 각 노드의 인터페이스가 사용하는 채널을 통해 송신 및 수신한 데이터량과 채널 정보 및 실제 인터페이스의 전송 범위와 간섭 범위간의 비율을 고려하기 위한 time-to-live (TTL) 값을 포함한다. 이러한 CH-INFO 메시지를 송신하는 노드와 수신하는 이웃 노드들은 서로 다른 채널을 사용할 수 있으므로 채널 스위칭을 해야되며 이와 동시에 채널 스캐닝을 해야 한다. 하지만, DB-CA에서는 이웃 노드가 현재 사용하는 채널정보를 유지하는 채널 테이블을 활용하여 채널 스캐닝을 수행하지 않고 이웃 노드가 사용하는 채널로 채널 스위칭만 수행하여 채널 스캐닝 딜레이를 줄인다. 이러한 채널 테이블을 유지하기 위해서는 각 노드들이 이웃 노드에게 현재 사용하고 있는 채널이 변경될 때마다 CH-SWITCH 메시지를 모든 채널로 브로드캐스트하여 변경한 채널 정보를 알려준다.

위와 같이 사용 가능한 채널을 세 개의 집합으로 나누고 MGW로부터의 홉 수에 따라 채널을 선택함으로써 MGW로부터 3-홉 이내에 있는 노드들은 스캐닝 트리 상의 같은 레벨에 있는 노드들끼리만 사용할 채널을 경쟁하고 다른 레벨에 있는 노드가 사용하는 채널에는 영향을 주지 않게 된다. 예를 들어, MGW로부터 1-홉 떨어진 MR들끼리 어떠한 채널을 사용할지를 경쟁하며, 2-홉 떨어진 MR들끼리 어떤 채널을 사용할지를 경쟁한다. 결과적으로 MGW가 사용하는 채널은 MGW 이외의 노드가 사용하지 않으므로 다른 노드에 의한 채널 간섭은 최소화 된다. 여기서, 집합 S3에 포함된 채널 개수가 S1 또는 S2에 비해 보다 많은 이유는 일반적으로 WMN에서는 MGW로부터 경로상의 홉 수가 늘어날수록 노드의 개수가 증가하기 때문이다. 물론 최상위 노드로부터 3-홉 이상 떨어져 있는 노드들의 채널 변경도 고려해야 한다. 하지만, 본 논문에서는 MGW에 근접한 2-홉 내의 노드들이 사용하는 채널에 미칠 수 있는 영향에 초점을 둔다.

그림 3을 통하여 DB-CA가 인터페이스-채널 할당 문제와 채널 스캐닝 딜레이를 줄이는 과정을 설명한다. S1, S2 및 S3에 포함된 채널은 그림3과 같고 총 채널 개수는 6개이다. 노드G는 S1중에서 채널1을 선택하고, 노드 A, B, 및 C은 MGW로부터 1-홉 떨어져 있으므로 S2에서 채널을 선택하고, 노드 D, E, F 및 H는 2-홉 떨어져 있으므로 S3에

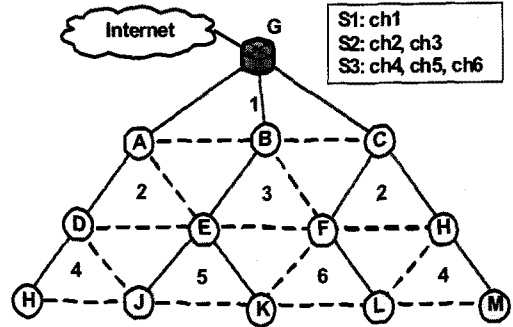


그림 3. 거리 기반 채널 할당 (DB-CA)

서 채널을 선택하여 자식노드와 통신한다. 그 밖의 노드들은 3-홉 이상 떨어져 있으므로 지역적으로 채널 부하에 대한 정보를 교환하여 S1, S2 및 S3의 채널 중에 가장 부하가 적은 채널을 선택하여 3-홉 이상의 자식 노드와 통신한다. 이렇게 DB-CA에서는 MGW로부터의 홉 수에 따라 서로 다른 채널 집합에서 채널을 선택하여 사용하므로 특정 노드가 채널을 변경하더라도 같은 홉 수만큼 떨어진 노드에게만 영향을 미치게 된다. 즉, 인터페이스-채널 할당 문제를 줄일 수 있게 되며, 연속적인 채널 스위칭으로 인한 영향이 줄어들기 때문에 결과적으로 전체적인 네트워크 성능이 향상된다.

또한, DB-CA를 통해 채널 스캐닝 딜레이를 어떻게 줄이는지 살펴보면 다음과 같다. 예를 들어, 노드 E가 이웃 노드와 채널 부하에 대한 정보나 변경한 채널정보를 교환하기 위해 CH-INFO 또는 CH-SWITCH와 같은 브로드캐스트 메시지를 전송하는 경우를 생각해보자. 이때, 노드 E는 노드 B, J 및 K와는 채널 변경 없이 통신이 가능한 상태이므로 채널 스위칭을 하지 않고 메시지를 전달할 수 있다. 하지만, 노드 A, D 및 F는 노드 E가 사용하는 채널과 다른 채널을 사용 중이므로, 노드 E는 채널 테이블을 이용하여 해당 이웃 노드가 사용하는 채널로 채널 스캐닝 없이 채널 스위칭만 수행하여 브로드캐스트 메시지를 전달한다. 따라서 채널 테이블을 활용함으로써 채널 스캐닝에 의한 지연시간을 대폭 줄일 수 있으며 효율적인 데이터 전달을 수행할 수 있다.

#### IV. 성능평가

본 절에서는 DB-CA로 인해 향상된 네트워크 성능, 패킷 전달율 및 손실율을 살펴본다. 성능평가를

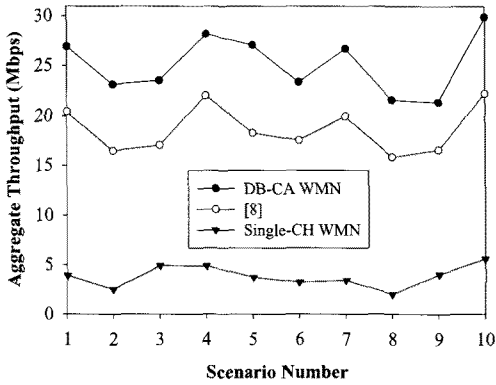


그림 4. 시나리오 번호에 따른 네트워크 성능 (60 MRs)

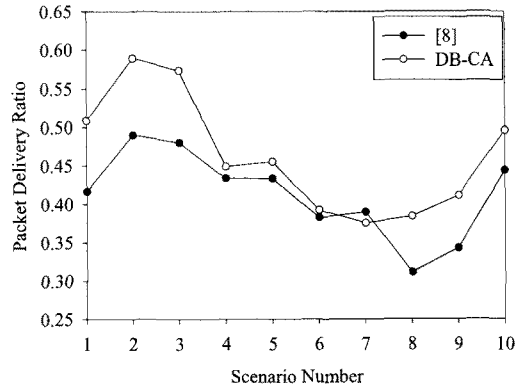


그림 6. 시나리오 번호에 따른 패킷 전달율

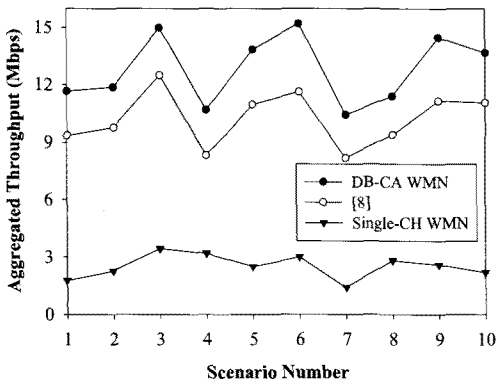


그림 5. 시나리오 번호에 따른 네트워크 성능 (30 MRs)

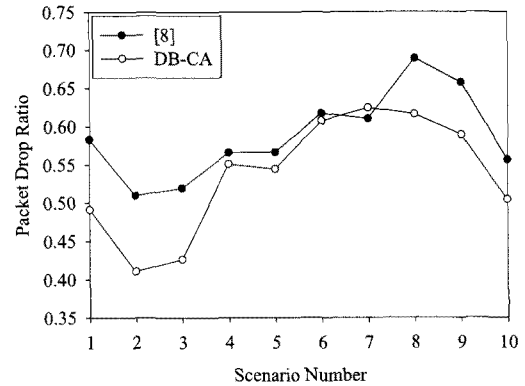


그림 7. 시나리오 번호에 따른 패킷 손실율

위해 NS-2<sup>[9]</sup>를 사용하였다. 각 노드들은 모두 두 개의 IEEE 802.11 인터페이스를 사용하며 총 12개의 채널을 사용한다. CH-INFO 및 CH-SWITCH 메시지와 같은 브로드캐스트 메시지를 주기적으로 전송하기 위한 인터벌은 20초이다.

다양한 시나리오에서의 성능평가를 위해 9 x 9의 그리드 네트워크에서 60개 또는 30개의 노드가 임의의 위치에 놓이며, 10개의 서로 다른 시나리오를 생성하여 300초 동안 실험하였다. 60개의 노드로 이루어진 시나리오에서는 전체 노드 중에 4개의 노드가 MGW이며, 임의로 선택된 30개의 노드가 유선 네트워크에 존재하는 노드와 0~3Mbps의 전송률로 통신한다. 30개의 노드로 이루어진 시나리오에서는 전체 노드 중에 2개의 노드가 MGW로 설정되며, 임의로 선택된 15개의 노드가 인터넷의 노드와 통신한다. 생성된 데이터 플로우 (flow)는 CBR 플로우이며, UDP 패킷 크기는 1000 바이트이다. 모든 무선 링크의 용량은 11Mbps이며, 채널 스캐닝시

의 MiChannelTime과 MaxChannelTime은 각각 1 ms, 10 ms이다<sup>[10]</sup>. 또한, DB-CA의 S1, S2 및 S3에 포함되는 채널 개수는 각 2, 4, 6이다.

먼저, DB-CA를 통해 향상된 네트워크 성능을 분석한다. 그림 4는 60개의 노드로 구성된 서로 다른 시나리오에 따른 DB-CA, Hyacinth, 그리고 단일 채널 (Single-CH) WMN의 네트워크 성능이다. 생성된 모든 시나리오에 대해서 DB-CA가 Hyacinth와 단일채널 WMN에 비해 각각 25%, 500% 이상의 성능향상이 있음을 알 수 있다. 이는 DB-CA가 채널 스캐닝 딜레이를 줄일 뿐만 아니라 거리에 기반한 채널 할당으로 인해 MGW가 사용하는 채널에 최대한 영향을 미치지 않기 때문에 나타난 결과로 해석할 수 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 30개의 노드로 이루어진 WMN의 경우에서도 그림 4와 마찬가지로 DB-CA가 기존의 채널 할당 방식에 비해 높은 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 60개의 노드로 구성된 동일

한 WMN 환경에서 DB-CA와 Hyacinth의 시나리오에 따른 패킷 전달율 및 패킷 손실율을 나타낸 그림이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 대부분의 시나리오에서 DB-CA의 패킷 전달율이 최대 10% 까지 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 DB-CA에서 MGW가 사용하는 채널에 영향을 최소한으로 하여 WMN의 데이터 트래픽이 유선 네트워크 쪽으로 잘 전달될 뿐만 아니라 주기적인 브로드 캐스트 메시지 전달시 채널 스위칭만 수행하므로 채널 스캐닝 딜레이를 상당히 줄였기 때문이다. 마찬가지로 그림 7이 보여주는 바와 같이 기존 방식에서는 주기적인 브로드캐스트 메시지 전송시 채널 스캐닝을 수행하는 동안 데이터 패킷이 MGW쪽으로 전달되지 못하고 큐에서 대기하는 량이 증가한다. 따라서, 데이터 패킷이 손실되기 때문에 DB-CA보다 패킷 손실율이 높게 나타남을 알 수 있다.

## V. 결 론

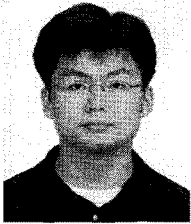
본 논문에서는 멀티채널 WMN환경의 기존 채널 할당 방식에서 해결해야 할 채널 의존성 문제와 채널 스캐닝 지연시간에 대해 먼저 살펴보고 이를 해결하기 위해 MGW로부터의 거리에 기반한 채널 할당 방식 (DB-CA)을 제안하였다. 제안한 채널 할당 방식은 MGW로부터의 거리에 따라 선택 가능한 채널범위를 정하여 MGW에 가까운 노드가 사용하는 채널에 대한 간섭을 최소화할 뿐만 아니라 채널 변경시 채널 스위칭만 수행하여 채널 스캐닝 딜레이를 줄임으로써 네트워크 성능향상을 가져올 수 있었다. 실험 결과를 통해서 DB-CA이 기존의 방식에 비해 25% 이상의 네트워크 성능향상 및 최대 10%까지의 패킷 전달율 향상을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 MGW로부터의 거리에 기반한 채널 할당 방법을 통해 채널 의존성 문제를 줄일 뿐만 아니라 채널 테이블을 사용하여 채널 스캐닝 지연시간을 확연히 줄였기 때문이다. 향후에는 MGW로부터 3-홉 이상 떨어진 노드가 사용하는 채널까지 고려하는 채널 할당 알고리즘을 연구하고, 다른 채널 할당 방식과도 비교해 볼 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," Elsevier Computer Networks Journal, Mar. 2005.
- [2] IEEE 802.11 Working Group, "Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," ANSI/IEEE std 802.11, Sept. 1999.
- [3] S. Xu and T. Saadawi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop ad hoc networks?," IEEE Communications Magazine, Jun. 2001.
- [4] J. So and N. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver," in Proc. of ACM MobiHOC, 2004.
- [5] P. Bahl, R. Chandra, J. Dunagan, SSCH: slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 ad hoc wireless networks," in Proc. of ACM MobiCom, 2004.
- [6] S.L. Wu, C.Y. Lin, Y.C. Tseng, and J.P. Sheu, "A New Multi-channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-hop Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE WCNC, Sept. 2000.
- [7] A. Adya, P. Bahl, J. Padhye, A. Wolman, and L. Zhu, "A Multi-radio Unification Protocol for IEEE 802.11 Wireless Networks (MUP)," in Proc. of IEEE BroadNets, 2004.
- [8] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-channel Wireless Mesh Network," in Proc. of IEEE InfoCom, 2005.
- [9] NS Official Website, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] H. Velayos and G. Karlsson, "Techniques to Reduce The IEEE 802.11b Handoff Time," in Proc. of IEEE ICC, 2004.

김 석 형 (Sok-Hyong Kim)

정회원

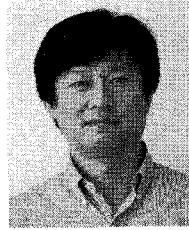


2005년 2월 한국항공대학교 정  
보통신공학과 졸업  
2007년 2월 포항공과대학교 정  
보통신공학과 석사  
2007년 3월~현재 포항공과대학  
교 컴퓨터 공학과 박사과정  
<관심분야> 무선 메쉬 네트워

크, 무선랜, 무선 네트워크

서 영 주 (Young-Joo Suh)

종신회원



1985년 2월 한양대학교 전자공  
학과 졸업  
1987년 2월 한양대학교 전자공  
학과 석사  
1996년 미국 조지아 공대 (Georgia  
Tech) 컴퓨터공학 박사  
1988년~1990년 LG전자 연구원.

1990년~1993년 충청대학 교수

1996년~1997년 미국 Georgia Tech 연구원

1997년~1998년 미국 Univ. of Michigan 연구원

1998년~현재 포항공대 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 무선랜 프로토콜, 이동 IP, 이동 멀티캐  
스트, ad-hoc/sensor 네트워크, 차세대 이동 네트  
워크