

OFDM 기반 이동 메쉬 네트워크에서 효율적인 핸드오버를 위한 프리앰블 설계 기법

정회원 유현 일*, 김 영 준*, 박 창 환*, 종신회원 조 용 수*

A Preamble Design Technique for Efficient Handover in OFDM-based Mobile Mesh Networks

Hyun Il Yoo*, Yeong Jun Kim*, Chang Hwan Park* *Regular Members*,
Yong Soo Cho* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 OFDM 기반의 이동 무선 메쉬 네트워크(WMN)에서 계층적 프리앰블을 이용하여 물리계층에서 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 내 핸드오버를 구분하고, 가장 경로 지연이 적은 MR(Mesh Router)를 선택함으로써 핸드오버 오버헤드를 줄일 수 있는 새로운 핸드오버 절차를 제안한다. 계층 구조의 동기 신호의 설계에 있어서, 클러스터를 구분하기 위한 Cluster ID와 함께 클러스터 내 MR를 구분하기 위한 MR ID의 개념을 제안한다. 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 내 핸드오버의 판단은 계층 구조의 동기 신호에 의하여 제공되는 신호품질 척도인 SMR(Serving MR to Adjacent MR signal power Ratio) 과 SCR(Serving Cluster to Adjacent Cluster signal power Ratio)에 의해 이루어진다. 제안하는 핸드오버 절차를 통해 스캐닝 절차의 간소화와 망 진입 절차의 간략화 또는 생략이 가능하여 핸드오버 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

Key Words : Wireless Mesh Networks(WMN), OFDM, Path Selection, Handover

ABSTRACT

In this paper, a new handover procedure for OFDM-based mobile wireless mesh networks is proposed to reduce the handover overhead by distinguishing inter-cluster handover event from intra-cluster handover event and selecting MR with minimum path at the level of physical layer using a hierarchical design concept of preamble. An MR ID concept for identifying MR in a cluster is proposed in the design of hierarchical preamble, in addition to the existing Cluster ID for identifying Cluster. The decision on either inter-cluster handover or intra-cluster handover is made by the signal quality measure of SMR(Signal MR to Adjacent MR signal power Ratio) and SCR(Serving Cluster to Adjacent Cluster signal power Ratio), provided by the preamble. The proposed handover procedure can simplify scanning procedure and skip/simplify network re-entry procedure (capability negotiation, authorization, registration), resulting in a significant reduction of handover overhead.

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [10035172, 차세대 기동노드간 적응형 무선메쉬 통신시스템 연구개발]

* School of Electrical & Electronic Engineering, Chung-Ang University, KOREA(yscho@cau.ac.kr)

논문번호 : #KICS2010-07-325, 접수일자 : 2010년 7월 26일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 15일

1. 서 론

최근 추가적인 유선 망을 증설하지 않고 기존의 무선 채널을 활용하여 저렴한 비용으로 outage 확률을 줄이고 시스템 수용을 향상시킬 수 있는 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks, WMN)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁶⁾. WMNs는 크게 메쉬 라우터(Mesh Router, MR) 도메인과 메쉬 클라이언트(Mesh Client, MC) 도메인으로 구성된다. 일반적으로 MR 도메인은 MR와 메쉬 게이트웨이(Mesh Gateway, MG)로 구성되며 MG를 통해 유선 인터넷과 연결된다. MC 도메인으로는 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)뿐만 아니라 WiMAX 및 Wi-Fi와 같은 무선 이동 네트워크, 그리고 펌토셀(Femtocell)와 같은 네트워크로 구성될 수 있다. MR은 기존의 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. 이러한 WMN의 MR은 무선 멀티 홉(Hop) 통신을 통해 적은 전송 파워로 광범위한 네트워크 커버리지 서비스를 제공할 수 있으며, 비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 그러나 WMN의 무선 멀티 홉 환경으로 인해 홉 개수가 증가하거나 각 MR들이 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터 전송 간에 간섭이 발생할 확률이 높아진다⁶⁾. 이로 인해, WMN의 전체적인 네트워크 성능이 급격히 감소한다.

이를 위해 본 논문에서는 클러스터 기반(Cluster-Based, CB) 이동 WMN을 고려한다⁷⁻⁸⁾. CB WMN에서 각 MR들은 물리적인 통신 가능 거리에 존재하는 이웃 MR들과 클러스터를 구성하고, 해당 클러스터의 MR들의 채널 정보를 채널 데이터로 유지하는 클러스터 헤드(CH)가 선출된다. CH는 기존의 셀룰러(Cellular)시스템에서의 기지국과 같이 자신의 클러스터 내의 MR들의 자원할당을 관리한다. 한편, MR은 현재 접속중인 MR에서 다른 MR에 더 가까이 접근할 때 또는 현재 접속중인 MR이 이동할 때 핸드오버가 발생한다. 기존의 셀룰러 시스템과 다르게 이동 WMN에서는 서비스 중인 MR의 이동성까지 고려해야하므로 핸드오버가 빈번히 발생할 수 있다. CH와 멀티 홉으로 연결된 MR이 핸드오버를 수행하는 경우 CH와의 통신 지연 때문에 핸드오버 지연이 커지게 된다. 핸드오버 지연이 커지면, 실시간성을 요구하는

서비스의 연속성을 어렵게 만들고 많은 양의 데이터 손실을 유발하여 무선 메쉬 네트워크 전체의 성능을 저하시키는 문제를 초래할 수 있다. 핸드오버 지연 문제를 해결하기 위하여 MR의 이동성을 예측하고, 핸드오버의 일부 과정을 사전에 수행하는 핸드오버 예측 기법이 연구되고 있다. 핸드오버 예측 기법은 핸드오버로 인해 발생하는 서비스 끊김을 최소화하기 위해 핸드오버 예측 정확성을 증대시킬 수 있는 방법을 토대로 불필요한 핸드오버 수행 횟수의 감소와 평균 핸드오버 지연을 감소시킬 수 있는 방법을 포함하고 있다⁹⁾. 핸드오버 예측 기법에는 단말(MS)의 이동 패턴을 이용하는 기법¹⁰⁻¹¹⁾과 주위 셀(Cell)로부터 정보를 획득하여 핸드오버를 예측하는 기법¹²⁻¹³⁾으로 구분된다. 단말의 이동 패턴을 이용하여 핸드오버를 예측하는 기법은 셀 간 이동에 따른 단말의 이동 패턴을 이용하여 과거 이동 경로 정보를 확률적으로 계산하고 이를 통해 핸드오버를 예측/수행하는 기법이다. 하지만 단말의 이동 정보를 항상 기억해야하기 때문에 과중한 오버헤드가 발생하며, 단말의 이동 패턴이 불규칙할 경우, 이동 경로에 대한 정확도가 감소되어 핸드오버 예측 실패 가능성이 급격히 증가한다. 이러한 방식은 WMN에서 MR의 이동성을 고려하는 환경에서 사용할 수 없다. 한편, 주위 셀로부터 정보를 획득하여 핸드오버를 예측하는 기법은 단말 주위 셀로부터 수신된 신호 세기(RSSI)를 파악하고, 이 정보를 이용하여 단말의 이동성을 예측하는 기법이다. 하지만 부정확한 신호 세기를 기반으로 핸드오버를 예측한다면 예측 확률이 현저히 낮아지는 단점이 있다. 또한 주위 기지국을 대상으로 정보를 획득하는 과정에서 많은 시간이 소요됨에 따라 핸드오버 지연이 증가하게 된다.

이동 WMN에서의 핸드오버는 클러스터 내 핸드오버와 클러스터 간 핸드오버로 구분되며 클러스터 내에서 인접 MR로 핸드오버하는 경우에 클러스터 내 핸드오버 절차에 따른 핸드오버를 수행함으로써 핸드오버의 지연이 최소화될 수 있다. 본 논문에서는 OFDM 기반의 차세대 이동 WMN에서 계층적 프리앰블을 이용하여 물리계층에서 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 내 핸드오버를 구분하고, 가장 경로 지연이 적은 MR(Mesh Router)을 선택함으로써 핸드오버 오버헤드를 줄일 수 있는 새로운 핸드오버 절차를 제안한다. 계층 구조의 동기 신호의 설계에 있어서, 클러스터를 구분하기 위한 Cluster ID와 함께 클러스터 내 MR을 구분하기 위한 MR ID의 개념을 제안한다. 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 내 핸드오버의

판단은 계층 구조의 동기 신호에 의하여 제공되는 신호품질 척도인 SMR(Serving MR to Adjacent MR signal power Ratio) 과 SCR(Serving Cluster to Adjacent Cluster signal power Ratio)에 의해 이루어진다. 제안하는 핸드오버 절차를 통해 스캐닝 절차의 간소화와 망 진입 절차의 간략화 또는 생략이 가능하여 핸드오버 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 WMN(IEEE 802.16 mesh)에서 핸드오버 절차를 살펴보고, 핸드오버 오버헤드를 감소시킬 수 있는 방식과 프리앰블 기반의 핸드오버 절차를 제안한다. III장에서는 OFDM기반의 차세대 이동 WMN에서 핸드오버 오버헤드를 감소시킬 수 있는 프리앰블을 설계하고 핸드오버 절차를 제안한다. IV장에서는 모의 실험을 통해 제안된 프리앰블 구조와 핸드오버 절차의 성능을 분석하며, V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. WMN에서의 핸드오버

그림 1은 TDMA 기반의 IEEE 802.16 mesh 프레임 구조를 보여준다^[4]. 그림 1에 나타난 바와 같이 IEEE 802.16 mesh 프레임 구조에는 네트워크 컨트롤과 스케줄 컨트롤 서브 프레임의 두가지 타입의 컨트롤 서브프레임이 존재한다. 네트워크 컨트롤 서브 프레임은 주기적으로 전송되고, 네트워크 컨트롤 서브 프레임이 전송되지 않을 때 스케줄 컨트롤 서브 프레임이 전송된다. 컨트롤 서브 프레임은 MSH-CTRL-LEN*7 OFDM 심볼의 길이를 갖는다.

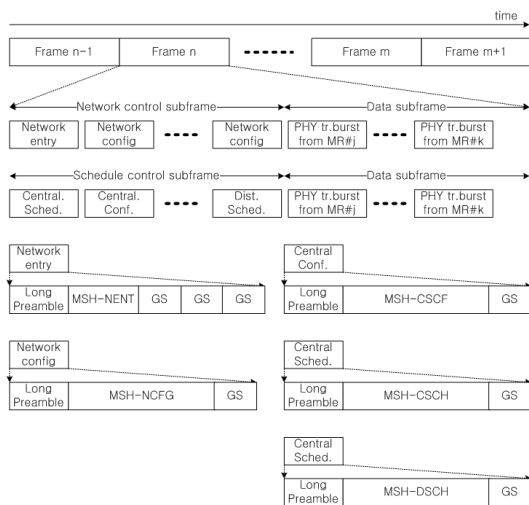


그림 1. IEEE 802.16 mesh 프레임 구조

네트워크 컨트롤 서브 프레임은 네트워크에 새로 진입하는 MR을 위해 사용된다. 스케줄 컨트롤 서브 프레임은 자원을 할당하기 위해 사용되며, centralized scheduling (MSH-CSCH/CSCF) 메시지와 distributed scheduling (MSH-DSCH) 메시지를 전송한다.

그림 1에 나타난 네트워크 컨트롤 서브 프레임에 이용한 IEEE 802.16 mesh 에서의 네트워크 엔트리 과정(NENT)은 그림 2에 나타난 과정과 같다. 먼저, 메쉬 네트워크에 진입하고자 하는 MR은 대략적인 시간 동기 및 시스템 파라미터를 획득하기 위해 주변의 기능 MR(Functional MR) 들로부터 네트워크 컨트롤 서브프레임에서 전송되는 MSH-NCFG 메시지를 모니터링 한다. 각 MR로부터 수신되는 MSH-FCFG 메시지는 MR 주변의 MR 정보와 기본적인 network configuration 정보를 제공한다. 새로운 MR은 같은 MR로부터 동일한 MSH-FCFG 메시지를 두 번 수신할 동안 채널 스캐닝(Channel Scanning) 과정을 수행하여 물리적인 인접 MR리스트를 만든다. Scanning 절차가 완료되면 리스트로부터 후보 스폰서링 (Candidate Sponsoring, CS) MR를 선택하고 시간 동기를 맞춘다. MR은 선택한 CS MR의 ID를 포함한 MSH-NENT:NetEntryRequest 메시지를 CS MR에게 전송한다. CS MR은 새로운 MR의 MSH-NENT를 승낙하면 MSH-NCFG:NetEntryOpen(NEO) 메시지를 전송한다. NEO 메시지는 새로운 MR이 컨트롤 메시지를 기지국(BS)에게 전송할 수 있도록 임시 전송 스케줄링 정보를 포함한다. NEO 메시지를 획득한 MR은 Ack 정보를 CS MR에게 전송하고 basic capability negotiation, authorization, 그리고 registration 과정을

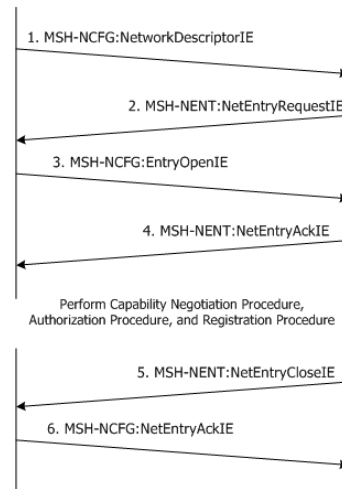


그림 2. WMN에서의 NENT 과정

수행한다. 이와 같은 과정이 모두 완료되면, MSH-NENT:NetEntryClose(NEC) 메시지를 CS MR에게 전송하여 모든 과정이 완료되었음을 알린다. NEC를 전송받은 CS MR은 새로운 MR에게 할당했던 임시 스케줄을 해제하고, 기능 MR로 동작할 수 있도록 MSH-NCFG:NetEntryAck 신호를 전송하여 NENT 과정을 완료하게 된다. 하지만, IEEE 802.16 mesh와 같이 MSH-NCFG 메시지를 통해 NENT 과정을 수행하는 경우 hidden MR problem에 의해 NENT 성능이 열화될 수 있다⁵⁻⁶. Hidden MR problem은 네트워크에 진입하고자 하는 MR 주변의 이웃 MR 정보가 달라서 MSH-NCFG 메시지가 충돌이 발생할 수 있는 문제이다. 그림 2에 나타난 첫 번째 단계인, 인접 MR로부터 MSH-NCFG 메시지를 획득하는 과정에서 hidden MR problem에 의해 오랜 시간이 소요되며, NENT 과정의 지연이 발생하게 된다. 클러스터 간 또는 MR의 경계에 위치한 MR은 스캐닝 과정을 수행하기 위해 Serving MR로부터 전송된 MFH-NCFG를 통해 인접 MR의 정보를 수신한다. 이 때 MR은 인접 MR 항목에 포함된 모든 MR에 대한 신호 품질 측정 및 MSH-NCFG에 포함된 MR ID를 검출해야 한다. 이 경우 스캐닝 절차의 오버헤드의 감소 및 클러스터 간 또는 클러스터 내의 이동상황을 판단할 수 없으므로 NENT과정의 간략화 또는 생략을 기대할 수 없다. 또한 네트워크 컨트롤 서브프레임이 n 프레임의 주기를 갖고, 1 개의 네트워크 컨트롤 서브프레임에 M 개의 MR중 m 개의 MR이 MSH-NCFG를 전송하는 상황을 가정하면 MR이 동일한 MSH-NCFG를 2번 검출하기 위해서는 $ceil(2NM/m)$ 프레임 길이가 필요하다. 차세대 이동 WMN에서와 같이 이동 MR을 고려하는 상황에서 이와 같은 검출 시간은 부정확한 검출 성능을 야기시키기 때문에 스캐닝 수행시간을 감소시킬 필요가 있다.

III. 차세대 이동 WMN를 위한 핸드오버 기법

그림 3은 이동 WMN에서 발생하는 핸드오버를 보여준다. 그림 3에 나타난 바와 같이 이동 WMN에서의 핸드오버는 크게 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 내 핸드오버로 구분할 수 있다. 즉, 클러스터 내 핸드오버는 동일 클러스터 내의 MR간의 핸드오버를 의미하고 클러스터 간 핸드오버는 서로 다른 두 클러스터의 MR간 핸드오버로 구분할 수 있다. 그림 3에서 CH1-MR0, CH2-MR0은 각각 클러스터의 CH를 나타내며, 최대 3 hop을 가정하고 있다.

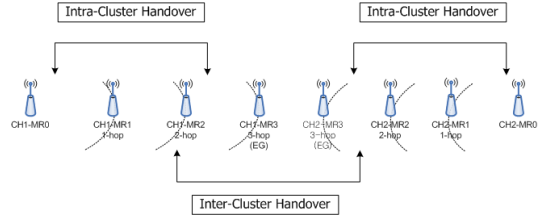


그림 3. 이동 WMN에서의 핸드오버

이동 WMN에서 클러스터 간 핸드오버는 기존의 IEEE 802.16 mesh시스템에서의 NENT 절차와 동일한 오버헤드를 발생시키며, 이러한 오버헤드는 스캐닝 절차, 망 진입에 따른 능력 협상, 인증 및 등록과정을 포함한다. 반면, 클러스터 내 핸드오버에서는 CH가 클러스터 내 모든 MR을 관리하기 때문에 NENT과정은 간략화 또는 생략이 가능하다.

본 논문에서는 그림 3에서 나타난 바와 같이 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 내 핸드오버를 구분하여 진행할 수 있는 프리앰블 설계기법을 제안한다. 물리계층에서 클러스터 내 모든 MR에게 동일한 Cluster ID와 MR을 구분하기 위한 MR ID를 각각 할당하고 이 정보를 사용하여 프리앰블을 설계한다. 계층적인 프리앰블 설계기법이 적용된 차세대 이동 WMN에서의 MR은 클러스터 내 또는 클러스터 간 핸드오버 여부를 물리계층의 프리앰블을 통해 획득할 수 있다. 제안하는 프리앰블은 그림 2에 나타난 네트워크 엔트리 서브 프레임의 마지막 2 심볼에 위치하며, 모든 MR이 동일한 시간에서 broadcasting 전송한다. 즉, WMN에서의 네트워크 엔트리 서브프레임의 길이가 2 심볼만큼 감소되지만, 제안하는 프리앰블은 기존 네트워크 엔트리 서브프레임의 guard symbol(GS) 자리에 위치하기 때문에 효율을 감소시키지 않으며, 제안하는 프리앰블을 이용하여 프레임 검출의 복잡도 또한 감소시킬 수 있다.

그림 4는 차세대 이동 WMN에서 제안하는 프리앰블을 이용한 동기화 과정을 보여준다. 제안하는 프리앰블은 그림 4에 나타난 바와 같이 CSP1과 CSP2의 2 심볼로 이루어지며, CSP1을 이용하여 프레임 검출, 정수배 주파수 오프셋 및 Cluster ID를 획득한다. 프레임 검출을 수행하기 전에 프리앰블 이전의 데이터 심볼을 이용하는 초기 심볼 타이밍과 소수배 주파수 오프셋을 추정한다. Cluster ID를 획득하면 CSP2를 이용하여 Cluster ID에 따른 MR ID와 Hop number를 추정한다.

프레임 검출 이전에 수행되는 initial synchroni-

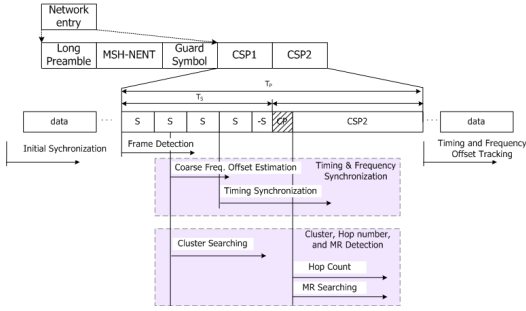


그림 4. 차세대 이동 WMN에서 제안하는 프리앰블을 이용한 동기화 과정

ization 과정은 수신되는 OFDM 신호의 CP를 이용하여 다음과 같이 심볼 타이밍과 소수배 주파수 옵셋을 추정한다.

$$s(n) = \sum_{d=0}^{D-1} \left(\sum_{l=0}^{N_s-1} y^*(n+d \cdot N_s + l) \cdot y(n+d \cdot N_s + l + N_{fft}) \right) \quad (1)$$

$$\hat{\tau}_s = \arg \max_n (|s(n)|), \quad \hat{\epsilon}_f = \frac{1}{2\pi} \arg(s(\hat{\tau}_s))$$

여기서, D , N_s , Y_1 , $\hat{\tau}_s$, N_{fft} 와 $\hat{\epsilon}_f$ 는 추정 성능을 높이기 위하여 평균을 취하는 심볼 개수, OFDM 심볼의 길이, 수신된 OFDM 신호, 추정된 심볼 타이밍, FFT 크기와 추정된 소수배 주파수 옵셋을 나타낸다. 식 (1)은 동기화 과정이 완료된 후, 심볼 타이밍 및 주파수 옵셋 추적(tracking)과정에 또한 사용된다.

CSP1은 프레임 검출 및 주파수 동기를 얻기 위해 사용되며, 심볼 주기 내에서 4번 반복되는 S 심볼과 보호구간의 길이를 가지며 S 심볼과 180°의 위상차를 갖는 -S 심볼로 구성된다. CSP1의 4번 반복되는 구조는 시간 영역 자기상관의 위상값을 이용하여 -2.0~2.0의 부반송파 간격으로 정규화된 주파수 옵셋을 추정할 수 있다. 식(2)는 CSP1의 주파수 영역 신호를 나타내며, 시간 영역 신호는 주파수 영역 신호를 IFFT한 신호에 -S 심볼이 추가되어 구성된다.

$$CSP_{1,k}^s = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot C_{s,m}^0, & k = 4 \times m, \quad 0 \leq m < N_c - 1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

여기서, N_c 와 $C_{s,m}^0$ 는 sequence 길이와 Cluster ID 's'를 초기값으로 하는 9차 M-sequence를 나타낸다. CSP1의 S 심볼과 -S의 자기상관의 실수부는 음의 값을 가진다. 프레임 검출은 이러한 CSP1의 특성을 이

용한다. 프레임 검출은 수신된 CSP1 신호와 FFT 길이만큼 지연된 신호와의 자기상관을 이동평균하여 자기상관의 실수부 값을 구하고, 자기상관의 실수부의 부호를 판단하여 프레임의 시작 위치를 추정한다. CSP1을 이용한 프레임 동기화는 다음과 같이 추정된다.

$$c(n) = \text{Re} \left\{ \sum_{e=0}^{E-1} \sum_{l=0}^{N_c-1} y_1^*(n+l+(N_{fft}/4 \cdot e)) \cdot y_1(n+l+N_{fft}) \right\} \quad (3)$$

$$\hat{\tau}_{imp} = \text{sign}\{c(n)\}$$

$$\hat{\tau}_f : n \quad \text{if } \hat{\tau}_f = -1$$

여기서, $\hat{\tau}_f$ 는 추정된 CSP1의 시작위치를 나타낸다. CSP1의 주파수 영역 신호를 이용해 정수배 주파수 옵셋과 Cluster ID를 다음과 같이 추정한다.

$$(\hat{s}, \hat{\epsilon}_1) = \arg \max_{(s, \epsilon_1)} \left(\sum_{k=1}^N Y_{1,4k+\epsilon_1} Y_{1,4(k-1)+\epsilon_1}^* CSP_{1,4k}^{s, n_h} {}^* CSP_{1,4(k-1)}^s \right) \quad (4)$$

여기서, \hat{s} 와 $\hat{\epsilon}_1$ 는 추정된 Cluster ID와 정수배 주파수 옵셋을 나타낸다. CSP1의 Cluster ID는 Cluster에 따라 다르지만, 시간영역에서 4번 반복되는 패턴이 Cluster ID에 관계없이 동일하기 때문에 그림 3에 나타난 CH1-CH2를 이어주는 EdGe router(EG)의 시간 동기 성능을 향상시킬 수 있다.

Hop number와 물리적인 MR ID를 추정하기 위한 CSP2는 다음과 같다.

$$CSP_{2,k}^{s, n_h} = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot C_{s,m}^0, & k = 4 \times m + n_h, \quad 0 \leq m < N_c - 1, \quad 0 \leq n_h < 4 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

$$CSP_{2,k}^{s, n_h, i} = CSP_{2,k}^{s, n_h} f_{i,k}$$

where

$$f_{i,k} = e^{j \frac{2\pi k i}{N} d}, \quad n_h : \text{hop-number}, \quad 1 \leq n_h \leq 3$$

여기서, $CSP_{2,k}^{s, n_h, i}$ 는 Cluster ID, hop number와 MR ID에 따른 CSP2를 나타낸다. s , n_h , i 와 d 는 Cluster ID, hop number, MR ID와 MR ID에 따른 시간영역 CIR의 위치를 지정하는 scaling factor를 나타낸다. CH는 MR ID가 '0'인 위상 변화가 없는 CSP2를 전송하며, 각 MR은 CH에 할당된 CSP2에 일정하게 위상을 변경하여 전송한다. 위상 변경 인자는 각 MR coverage의 round trip 시간보다 크게 설정한다. Cluster ID에 따른 hop number는 주파수 영역 CSP2를 이용하여 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{n}_h = \arg \max_{n_h} \left(\sum_{k=1}^{N_c} Y_{2,4k} Y_{2,4(k-1)}^* CSP_{2,4k}^{\delta, n_{h,i}} CSP_{2,4(k-1)}^{\delta, n_{h,i}} \right) \quad (6)$$

여기서, Y_2 와 \hat{n}_h 는 수신된 CSP2와 추정된 hop number를 나타낸다. Cluster ID와 추정된 hop number에 따른 MR ID는 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{i} = \arg \max_i \left| \sum_{k=0}^{N-1} \left(Y_{2,4k} \cdot (CSP_{2,4k}^{\delta, n_{h,i}})^* \right) e^{-j2\pi kn/N} \right| \quad (7)$$

where

$$CSP_{2,k}^{\delta, n_{h,i}} = CSP_{2,k}^{\delta} e^{j\frac{2\pi k}{N} i \cdot d}$$

여기서, \hat{i} 는 Cluster ID와 hop number에 따른 추정된 MR ID를 나타낸다.

본 논문에서 제안하는 프리앰블을 이용한 NENT과정은 기본적으로 그림 2에 나타난 과정과 같다. 먼저, 네트워크에 처음 진입하는 MR은 기존 IEEE 802.16 mesh와 같은 순서로 NENT를 수행한다. 여기서, hidden MR problem에 의한 MSH-NCFG의 충돌은 발생할 수 있지만, MR이 서비스를 시작하지 않은 상태이므로, 네트워크 성능에 크게 영향을 주지 않는다. 하지만, 초기 네트워크 진입과 달리, MR이 다른 MR로 핸드오버를 수행할 때, hidden MR problem로 인한 NENT과정의 지연은 네트워크 성능에 크게 영향을 줄 수 있다. 따라서 차세대 이동 WMN에서 제안하는 프리앰블은 MSH-NCFG에서 전송되는 정보 중 시변에 크게 영향을 받는 정보들과 Cluster를 구분할 수 있는 정보를 포함하여, MR이 다른 MR로 핸드오버시 발생하는 NENT의 지연을 최소화한다. 나머지 MSH-NCFG에서 전송되는 정보중 시변에 큰 영향을 받지 않는 정보(안테나 개수 등)의 정보는 주기적으로 전송되는 MSH-NCFG를 통해 미리 MR이 수신한 상태를 가정한다. 즉, 핸드오버를 수행하는 MR은 그림 2에 나타난 과정에서 시간 동기를 broadcasting하는 프리앰블을 이용하여 수행하고, 고유의 MR ID를 이용하여 수행하는 MSH-NENT:NetEntry Request 단계는 제안된 프리앰블에서 검출한 MR ID를 이용하여 수행한다. 프리앰블에서 전송되는 MR ID는 클러스터 내와 인접한 클러스터에서 MR간 거리에 관계없이 재사용되지 않으므로 일정 범위의 클러스터에서 고유하게 추정되기 때문에 hidden MR problem과 같은 문제가 크게 줄어들 수 있다. 또한 MR은 제안한 동기 신호를

통해 클러스터 간 핸드오버와 클러스터 간 핸드오버를 구분할 수 있을 뿐 아니라 클러스터 내에서 CH와 가장 짧은 path를 갖는 MR을 CS MR로 선택하여 핸드오버 시 지연을 최소화할 수 있다.

본 논문에서 Cluster ID와 MR ID의 신호 품질을 나타내는 파라미터를 SMR(Serving MR to adjacent MR signal power Ratio)와 SCR(Serving Cluster to adjacent cluster signal power Ratio)로 정의한다. MR의 MR간 이동상황을 알려주는 SMR은 다음과 같이 나타낸다.

$$SMR = E_m^{n_{k,i}} / E_t$$

$$E_m^{n_{k,i}} = \sum_{n=i-d}^{(i+1) \cdot d} \left| \sum_{k=0}^{N-1} Y_{2,4k} \left(CSP_{2,k}^{\delta, n_{k,i}} e^{j\frac{2\pi k}{N} i \cdot d} \right)^* e^{j2\pi kn/N} \right| \quad (8)$$

$$E_t = \sum_{k=0}^{N-1} \left| Y_{2,4k} \right|^2$$

여기서, E_t 와 $E_m^{n_{k,i}}$ 는 수신신호의 전력과 수신신호와 CSP2의 상호상관 값을 나타낸다. MR은 클러스터 내에서 각각 다르게 수신되는 MR ID를 검출함으로써 클러스터 내 이동상황을 판단할 수 있다.

MR의 클러스터 간 이동을 알려주는 SCR은 다음과 같이 나타낸다.

$$SCR = E_s / E_t$$

$$E_s = \left| \sum_{k=1}^{N_c} Y_{1,4k} Y_{1,4(k-1)}^* CSP_{1,4k}^{\delta} CSP_{1,4(k-1)}^{\delta} \right| \quad (9)$$

$$E_t = \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| Y_{1,4k} \right|^2$$

여기서, E_s 는 수신신호와 CSP1의 상호상관 값을 나타낸다. 클러스터 내에서 모든 MR은 동일한 CSP1을 전송하므로 식 (9)의 상호 상관 연산을 통해 클러스터 간 이동상황을 판단할 수 있다.

MR의 이동상황은 클러스터 내 이동상황, 클러스터 간 이동상황으로 구분할 수 있다. SMR이 일정 임계값 이하이면 MR은 클러스터 내 또는 클러스터 간 핸드오버를 준비하며, 이 때 SCR이 핸드오버 임계값 이하이면 클러스터 간 핸드오버, 이상이면 클러스터 내 핸드오버를 수행한다. SCR이 핸드오버 임계값 이상이면 현재 속해있는 클러스터의 신호세기가 인접 클러스터의 신호세기보다 크기 때문에 클러스터 내 핸드오버를 준비하며, 이 때 SCR이 핸드오버 임계값 이상이면 클러스터 간 핸드오버를 수행한다. SCR이 핸드오버 임계값 이상이면 현재 속해있는 클러스터의 신호세기가 인접 클러스터의 신호세기보다 크기 때문에 클러스터 내 핸드오버를 준비하며, 이 때 SCR이 핸드오버 임계값 이상이면 클러스터 간 핸드오버를 수행한다.

드오버를 수행한다. 마찬가지로, SCR이 일정 임계값 이하이면 현재 MR이 속해있는 클러스터의 신호세기가 인접 클러스터의 신호세기보다 작기 때문에 클러스터 간 핸드오버를 수행한다.

그림 5는 본 논문에서 제안하는 차세대 이동 WMN에서의 핸드오버 절차를 보여준다. 그림 5에 나타난 바와 같이 스캐닝 개시 결정을 위해서는 현재 서비스 받고 있는 MR의 SMR을 이용하며, SMR 값이 스캐닝 시작 결정을 위한 임계치 이하인 경우 스캐닝 절차를 시작한다. 스캐닝 시작이 결정되면 가장 먼저 클러스터 내 핸드오버를 위한 스캐닝을 시작한다.

클러스터 내 핸드오버를 위한 스캐닝 과정 이후 클러스터 내 핸드오버 절차의 시작 여부 판단을 위해 클러스터 내 핸드오버를 위한 스캐닝 단계에서 측정된 SMR을 비교한다. 이 때 현재 서빙 MR이 포함된 클러스터의 SCR이 클러스터 내 핸드오버 절차 시작 결정을 위한 임계치 이상이 되거나, 인접 클러스터의 SCR과 비교하여 서빙 MR의 SCR이 가장 큰 경우에는 클러스터 내 핸드오버 절차 시작으로 결정한다. 클러스터 내 핸드오버 절차의 시작부에서는 클러스터 내 핸드오버를 위한 스캐닝 단계에서 측정된 SMR값과 Serving MR의 SMR 값을 비교하여 클러스터 내 핸드오버를 위한 CS MR을 선택한다. SMR 값들의 비교 과정에서 핑퐁 핸드오버 현상을 방지하기 위해 클러스터 내 핸드오버를 위한 임계치와 Serving MR의 SMR의 합이 클러스터 내의 인접 MR의 SMR 값보다 큰 경우에만 해당 MR를 CS MR로 결정한다.

제안하는 차세대 이동 WMN에서 핸드오버 지연을 최소화할 수 있는 프리앰블은 다음과 같은 특성을 갖는다. 첫 번째로 CSP2의 직교 특성을 이용하여 hidden MR problem을 최소화하며, 신호 세기 측정 수행 시간을 크게 감소시킨다. 두 번째로 MR은 CSP1로부터 측정된 SCR을 이용하여 클러스터 간 이동을 구분할 수 있고, CSP2로부터 측정된 SMR을 이용하

여 클러스터 내 이동을 구분하여 핸드오버 지연을 감소한다. 세 번째로 SMR이 핸드오버 임계치를 만족하는 MR중에 가장 짧은 경로의 MR을 CS MR로 선택함으로써 핸드오버 지연을 최소화 한다. 네 번째로 모든 클러스터 내의 MR은 동일한 패킷을 갖는 CSP1을 송신함으로써, EG의 동기화 성능을 향상 시킨다.

IV. 모의 실험

본 장에서는 본 논문에서 제안한 프리앰블 적용함에 따라 발생하는 차세대 WMN에서의 스캐닝 절차의 간소화 및 핸드오버 지연 감소 효과를 모의 실험을 통해 설명한다.

그림 6은 차세대 이동 WMN에서의 핸드오버 시나리오를 보여준다. 이 그림에서 MR은 CH2에서 CH1에 속한 MR로 이동하며, 이동 중 총 5 번의 핸드오버 이벤트가 발생함을 가정한다. 이 시나리오에서 Sponsoring MR의 이동에 의한 핸드오버는 발생하지 않는 상황을 가정한다. 물리계층에 사용된 OFDM 파라미터는 IEEE 802.16 mesh mode의 파라미터를 사용하였다. 클러스터 내에 MR의 수는 10을 가정하였다.

표 1은 그림 6의 시나리오에서 클러스터 내 핸드오버에 필요한 총 수행시간을 본 논문에서 제안한 계층적 동기 신호를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 비교하였다^{[14],[17]}. 이 때 각 구간에서 소요되는 핸드오버 시간은 IEEE 802.16 mesh에서의 값을 사용하였다. 표 1에서 T_0 은 스캐닝 절차에서 MR ID를 획득하는데 소요되는 시간을 나타낸다. 네트워크 컨트롤 서브프레임은 4 프레임마다 한번씩 전송되며 MSH-CTRL-LEN은 7을 가정하여 네트워크 서브프레임마다 6개의 MR이 MSH-NCFG를 전송할 수 있다. 1 프레임 구간은 5ms을 가정하며, T_0 은 스캐닝을 수행하는데 소요되는 시간을 나타내며, T_1 는 타겟 MR의 파라미터를 전송받는데 소요되는 시간이다. WMN에서 T_0 과

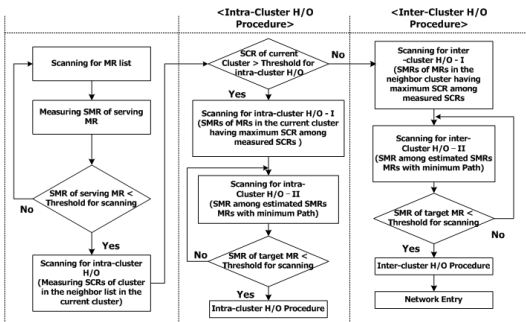


그림 5. 차세대 이동 WMN에서의 핸드오버 절차

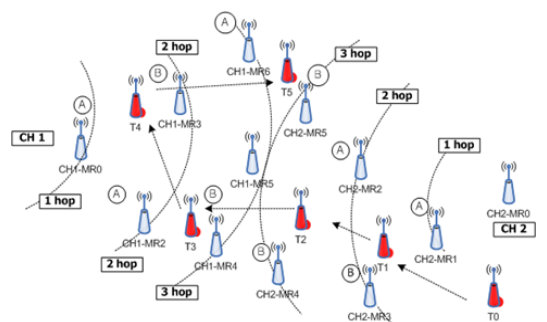


그림 6. 차세대 이동 WMN에서의 핸드오버 시나리오

표 1. 클러스터 내 핸드오버에 필요한 수행시간

Step	Description	Conventional Method	Proposed method
T0	Scanning procedure	100ms	50ms
T1	Obtain network parameter	30ms	30ms
T2	Registration	10ms	-
T3	HO decision & initiation	50ms	50ms
T4	Authorization	220ms	
T5	Hop-to-Hop delay	20ms	20ms
Total		430ms	150ms

T1에 나타난 과정과 동시에 이루어지지만, 본 논문에서 제안하는 차세대 이동 WMN에 적합한 핸드오버 방식에서는 T0과 T1과정에서 발생할 수 있는 hidden MR problem을 극복하기 위해, 스캐닝 후 NENT를 시작하기 위한 파라미터는 이전에 Serving MR로부터 서비스 받을 때 미리 획득한 파라미터를 이용하며, NENT과정을 수행하면서 파라미터를 갱신하므로 T0과 T1과정을 분리한다. T2은 NEO 메시지를 수신후 타겟 MR에 등록하는데 소요되는 시간, T3는 핸드오버를 결정하는데 소요되는 시간, T4은 인증에 소요되는 시간, T4는 Hop-to-Hop의 메시지 지연을 나타낸다. 위와 같이 MR이 클러스터 간 핸드오버를 수행하는 경우 총 430ms의 핸드오버 수행시간이 필요하다. 제안하는 계층적 프리앰블을 이용하여 클러스터 내 핸드오버를 수행하는 경우 인접 MR로부터 전송되는 신호의 신호 품질 측정 시간과 MR의 네트워크 재진입 절차를 축소할 수 있기 때문에 T0, T2, T4의 절차 중 일부 또는 전체가 축소, 생략될 수 있다.

그림 6의 시나리오의 경우, MR은 총 2번의 클러스터 간 핸드오버와 총 3번의 클러스터 내 핸드오버를 수행한다. 그림 7은 이 때 소요되는 총 핸드오버 수행 시간을 보여준다. 그림 7로부터 제안하는 동기 신호를 사용하여 MR이 핸드오버를 수행할 경우 총 소요되는 핸드오버 시간이 기존 방식에 비해 크게 감소됨을 확인할 수 있다.

그림 6의 'A'와 'B'는 핸드오버 시 제안하는 procedure에 따른 MR을 선택한 경우와 SMR이 가장 좋은 MR을 선택한 경우를 보여준다. 제안하는 procedure의 경우 핸드오버의 지연을 최소로 하기 위해 SMR이 임계치를 만족하는 MRs중에 클러스터 내에 존재하는 MR과 hop number가 가장 작은 MR을

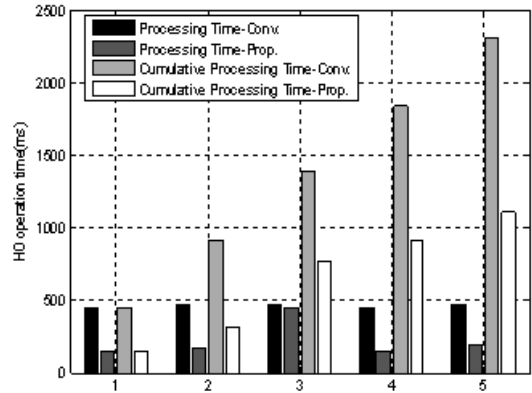


그림 7. 차세대 이동 WMN에서 핸드오버 기법에 따른 수행 시간

선택하기 때문에 신호 품질이 가장 좋은 링크를 선택하지 않으므로 핸드오버 시간 지연과 성능사이의 trade-off가 발생한다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDM 기반의 차세대 이동 WMN에서의 효율적인 핸드오버를 위하여 Cluster ID와 MR ID로 구성된 프리앰블을 제안하였다. 제안된 프리앰블은 클러스터 내 MR간의 이동상황에서 클러스터 내 핸드오버를 수행하는데 용이하며, 기존 WMN의 핸드오버 절차 적용 시 발생하는 지연을 크게 감소시킬 수 있다. 제안하는 프리앰블이 제공하는 신호품질 측정 척도인 SCR와 SMR을 사용하여 MR의 클러스터 간 또는 클러스터 내 이동상황을 판단함으로써 핸드오버 수행시간을 크게 감소할 수 있으며, 이를 모의실험을 통해 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] E. Hossain and K. K. leung, "Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols", Springer Media, 2008.
- [2] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: A survey," Computer Networks (Elsevier), Vol.47, pp.445-487, Mar. 2005.
- [3] Ö. Oyman, J. N. Laneman, and S. Sandhu, "Multihop relaying for broadband wireless mesh networks: from theory to practice," IEEE Commun. Mag., Vol.45, No.11, pp.116-122,

- Nov. 2007.
- [4] I. F. Akyildiz and X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", *IEEE Communication Magazine*, Vol.43, No.9, pp.23-30, Sep. 2005.
- [5] H. Anouar, C. Bonnet, F. Kaltenberger, and R. Knopp, "OpenAirMesh—an experimental platform for cooperative mesh networks," in *Proc. 1st COST2100 Workshop on MIMO and Cooperative Communications*, Trondheim, Norway, Jun. 2008.
- [6] S. Xu and T. Saadavi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop ad hoc networks?," *IEEE Communications Magazine*, pp.130-137, Jun. 2001.
- [7] 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* 4742, pp.832-843, Aug. 2007.
- [8] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Interface Assignment in Multi-channel Multi-interface Wireless Networks.", in *Proc. IEEE WCNC. IEEE Computer Society Press*, Los Alamios, 2005.
- [9] I. B. Carolin and R. John, "Predictive Methods for Handover," in *Proc. of IEE CSNDSP*, Jul. 2002.
- [10] V. Bharghava and J. P. Mysore, "Profile-based next-cell prediction in indoor wireless LANs," in *Proc. of IEEE SICON*, Apr. 1997.
- [11] G. Liu and G. Q. Maguire Jr., "A predictive mobility management algorithm for wireless mobile computing and communications," in *Proc. of IEEE ICUPC*, pp.268-272, Nov. 1995.
- [12] Y. H. Kwon, S. G. Choi, and J. K. Choi, "Efficient handoff decision algorithm using differential RSSI in MPLS-based mobile IP network," in *Proc. of IEEE ICW*, pp.40-44, Aug. 2005.
- [13] K. I. Itoh, S. Watanabe, J. S. Shin and T. Sato, "Performance of handoff algorithm based on distance and RSSI measurements," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol.51, No.6, pp.1460-1468, Nov. 2002.
- [14] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System," 2004.
- [15] S. Y. Wang, C. L. Lin, K. H. Fang, and T. W. Hsu, "Facilitating the Network Rntry and Link Establishment Processes of IEEE 802.16 Mesh Networks," in *Proc. IEEE WCNC*, Hong Kong, pp.1842-1847, Mar. 2007.
- [16] S. Y. Wang, C. C. Lin, H. W. Chu, T. W. Hsu, and K. H. Fang, "Improving the Performances of Distributed Coordinated Scheduling in IEEE 802.16 Mesh Networks," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.57, No.4, pp.2531-2547, 2008.
- [17] D.H. Lee, K. Kyamakya, and J.P. Umondi, "Fast handover algorithm for IEEE 802.16e broadband wireless access system," *International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, Jan. 2006.

유 현 일 (Hyun Il Yoo)

정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 학사
2007년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 석사
2007년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 디지털통신, 무선
모뎀, OFDM, WMNs

김 영 준 (Yeong Jun Kim)

정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부(학사)
2007년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부(석사)
2007년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 디지털 신호처리,
무선모뎀, Relay

박 창 환 (Chang Hwan Park)

정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 학사
2007년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 석사
2007년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 디지털통신, 무선
모뎀, OFDM, MIMO

조 용 수 (Yong Soo Cho)

중신회원



1984년 2월 중앙대학교 전자공
학과 학사
1987년 2월 연세대학교 전자공
학과 석사
1991년 2월 The University of
Texas at Austin 공학박사
1992년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학과 교수
2003년 8월~2007년 12월 TTA 휴대인터넷 (와이브
로) 프로젝트그룹 (PG302) 무선접속 실무반 의장
<관심분야> 4G 이동통신, OFDM/DMT 모뎀 설계,
MIMO-OFDM 모뎀 설계