

제5회 정보통신표준화 우수논문집

우수상

핸드오버 게이트웨이 시스템:
차세대 셀룰러 이동망에서의 셀 경계 성능 향상을 위한 표준 기술
Handover Gateway System:
A Cell-edge Performance Booster for Next Generation
Cellular Mobile Network

정의창, 류현석, 강충구
고려대학교 전자통신학과

Eui Chang Jung, Hyun Seok Ryu, Chung G. Kang
Dept of Computer Electrical Engineering, Korea University

I. 서론 / II. 핸드오버 절차 / III. 제안하는 방식: 핸드오버 게이트웨이 /
IV. 모의 실험 / V. 결론

핸드오버 게이트웨이 시스템: 차세대 셀룰러 이동망에서의 셀 경계 성능 향상을 위한 표준 기술

Handover Gateway System: A Cell-edge Performance Booster for Next Generation Cellular Mobile Network

정의창, 류현석, 강충구
고려대학교 전자통신학과

Eui Chang Jung, Hyun Seok Ryu, Chung G. Kang
Dept of Computer Electrical Engineering, Korea University

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.16e/j/m 또는 LTE/LTE-A와 같이 OFDMA/TDD 방식으로 동작하는 셀룰러 시스템에서 셀 경계 영역에서의 수율 및 서비스 불능 성능, 또한 핸드오버 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 형태의 릴레이 노드로서 Handover Gateway System (HGS)의 개념을 제안하고, 이를 운용하기 위한 프레임 구조 및 핸드오버 프로토콜을 설계한다. 제안하는 HGS에서는 HG가 다중 셀 경계에 위치하면서 인접 기지국과 동시에 접속이 가능하며, 이를 통해 해당 영역에 위치하는 단말들의 수율 성능을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 핸드오버에 필요한 메시지 교환이 무선 구간을 통해 수행될 수 있어 효율적인 핸드오버 구현이 가능하다. 본 논문에서는 HGS에 의해 IEEE 802.16j 규격과 유사한 수준의 시스템 평균 수율을 유지함과 동시에 서비스 불능 성능 및 하위 5% 단말들의 수율을 향상시킬 수 있음을 보인다. 또한 HGS는 셀 경계에서 무선 링크의 품질을 향상시키고 핸드오버 발생 빈도를 줄임으로써 핸드오버 실패율과 핸드오버 단절 시간을 줄일 수 있음을 모의실험을 통해 확인한다. 따라서 HGS는 차세대 이동통신에서 요구하는 끊임 없는 핸드오버를 제공하고 신뢰성이 높은 실시간 서비스를 보장할 수 있는 새로운 형태의 표준 시스템으로서 활용이 가능하다.

I. 서론

현재 표준화가 진행되고 있는 IMT-Advanced 규격에서는 다중안테나(MIMO)와 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술을 통해 최대 전송률

100Mbps 이상의 최대 전송률을 유지하면서 셀당 대역효율성을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다[1]. 특히 셀 경계에서의 셀룰러 대역효율성에 대한 요구 사항을 제시함으로써 셀간 간섭으로 인한 성능 열화를 극복할 수 있는 새로운 기술들이 요구되고 있다. IEEE 802.16e와 LTE 등과

같이 주파수 재사용도 1을 적용하는 셀룰러 OFDMA 시스템에서는 셀 가장자리에서 신호대 간섭 및 잡음비(Signal-to-Interference and Noise Ratio: SINR)의 열화로 전송률 저하가 불가피하고, 궁극적으로는 서비스 불능(outage)에 의해 커버리지 성능이 제한될 수 있다[2]. 이와 같이 인접 셀간 간섭 문제를 완화하기 위한 다양한 접근 방법들이 고려되고 있다. 그 대표적인 예로서 부반송파를 분할하여 인접 셀의 경계에서는 서로 상이한 부채널들이 할당될 수 있도록 하는 Fractional Frequency Reuse (FFR)을 들 수 있다. 또한, 최근에는 기지국간의 상호협력력을 통해 인접 기지국들이 양쪽 셀에 속한 단말들에 대해서 동시에 선처리하여 간섭을 완화하거나 또는 자원을 재사용할 수 있는 물리계층 기술(Cooperative Multipoint Processing: CoMP)들이 논의되고 있기도 하다.

FFR이나 CoMP 등과 같은 기술은 기본적으로 셀간 간섭의 완화를 통해 신호대 간섭비 성능을 높이는 방식이며, 이와 달리 셀 경계에 별도의 중계기 또는 릴레이 노드를 설치함으로써 셀 경계의 수율을 증대할 수 있는 방안이 있다. 특히, IEEE 802.16 Wireless MAN 표준화 그룹 내에서는 IEEE 802.16j TG (task group)에서 표준화된 OFDMA/TDD (Time Division Duplexing) 기반 다중홉 릴레이(Multi-hop Relay: MR) 시스템이 그 대표적인 예가 된다[3]. 또한 IMT-Advanced 표준으로 제안된 IEEE 802.16m과 3GPP LTE-Advanced 규격에서도 릴레이를 고려하고 있다[4,5]. 릴레이 시스템은 기지국과 릴레이간의 중계구간을 액세스 구간과 동일한 채널 대역으로 구현할 수 있으며, 셀 전체를 다수 개의 작은 커버리지 영역으로 분할하고 모든 릴레이

노드들이 무선 자원을 재사용함으로써 대역 효율성을 얻을 수 있는 것이 특징이다[6,7]. 그러나 신호대 간섭비 향상에 따른 고효율 변조와 주파수 재사용에 따른 셀 수율의 증대에도 불구하고, 동일한 주파수를 재사용하는 인접 RS (relay station)간에서는 또 다른 셀 경계 문제가 존재하게 된다[8]. 즉, 릴레이를 통한 수율 증대 효과에도 불구하고, 커버리지 경계에서의 서비스 불능으로 인해 릴레이 시스템의 한계에 대한 고찰이 요구된다.

한편, 차세대 이동 통신에서는 단말(mobile station: MS)이 고속 이동 중에도 끊김 없는 서비스를 보장해야 한다. ITU-R에서는 IMT-Advanced의 기술적 요구사항으로 MS의 이동성을 4가지로 분류하여 규정하고 있다. 그 중 MS가 10-120km/h로 이동하는 경우와 120-350km/h의 초고속으로 이동하는 MS들에 대해서도 지원 가능해야 한다[9]. 또한 IMT-Advanced의 또 다른 기술적 요구사항으로 intra/inter-frequency 핸드오버를 규정하고 있다. 현재 대부분의 표준화에서 다루고 있는 OFDMA 기반의 핸드오버 기술은 하드 핸드오버(hard handover)로 인해 MS가 초기 네트워크 재진입(network re-entry) 과정이 완료되는 시점까지 MS와 서빙(serving) 기지국(Base Station: BS), 그리고 MS와 타겟(target) BS간에 통신이 중단되는 핸드오버 단절 시간이 반드시 존재한다. IMT-Advanced의 inter-frequency 핸드오버의 경우 최대 허용 단절 시간(interruption time)을 25-30ms로 규정하고 있다. 이러한 핸드오버 성능 요구사항은 핸드오버 프로토콜 규격의 설계에 반영되어야 하지만, 실제 상황에서는 핸드오버 과정에서 교환되는 제

어 메시지들의 전송 신뢰성과 core network의 혼잡도 등과 같은 여러 가지 요인에 의해 절대적으로 보장되기 어려운 측면이다[10].

최근 모바일 와이맥스(Mobile WiMAX) 시스템에서 핸드오버 수행 시에 단말의 서비스 품질(Quality of Service: QoS)을 보장하고, 실시간 서비스를 지원하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 핸드오버 시 최적의 타깃 BS를 선택하는 메커니즘과 핸드오버 과정 중에 발생하는 패킷 손실을 최소화하는 방식이 제안되었다[11,12]. 또한 계층간 교차 설계(cross layer design) 관점에서 각 계층간의 통합된 정보를 이용함으로써 레인징(ranging) 절차로 인한 지연을 줄이는 방법이 제안되기도 하였다[13]. 한편, IEEE 802.16e 시스템에서 핸드오버 시에 발생하는 핸드오버 단절 시간을 줄이기 위해 MAC(media access control) 계층에서의 다양한 핸드오버 절차들이 제안되고 분석된 바 있다[14].

그러나 기존의 모든 하드 핸드오버 방식들은 MS가 채널 상태가 열악한 셀 경계 영역을 이동할 때 핸드오버 실패율이 증가하여 끊임 없는 서비스를 보장할 수 없다. 여기서 핸드오버 실패율이란 MS가 이동하면서 핸드오버 결정 조건을 만족하여 핸드오버를 시도한 전체 횟수와 실제로 핸드오버에 실패한 횟수의 비로 정의할 수 있다. 본 논문에서는 핸드오버 성능에 결정적인 핸드오버 단절 시간과 핸드오버 실패율을 줄이기 위해 릴레이를 도입한 핸드오버 게이트웨이 시스템(Handover Gateway System: HGS)을 제안한다. 제안하는 HGS의 핵심 기능적 특성은 HGS가 동일한 채널 대역으로 주변의 인접한 다수 개 기지국들과 동시에 접속이 가능한 것이다. 이는 현재까지 표준에서 고려되어 왔던 릴레이

는 자신이 등록된 단 하나의 기지국을 앵커(anchor)로 하여 접속이 된 것과 가장 큰 차이점이다. 이와 같이 동일한 대역으로 다중 BS 접속 기능을 구현함으로써 셀 경계에서의 수율 향상뿐만 아니라 핸드오버 메시지의 전송 신뢰도를 높일 수 있고, 또한 유선 백본망을 통하지 않고 무선구간 기지국간 핸드오버 제어에 필요한 시그널링(signaling)을 수행할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 기존 시스템을 고려하고 있는 IEEE 802.16e와 IEEE 802.16j 규격의 핸드오버 절차를 살펴본다. III장에서는 제안하는 HGS의 구성과 구현 방안을 설명하고, 그에 따른 핸드오버 과정을 살펴본다. 그리고 IV장에서는 제안하는 HGS의 핸드오버 성능, 수율 및 서비스 불능(outage) 성능을 모의실험을 통해 분석하고, 기존 방식들과 성능을 비교한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해서 살펴본다.

II. 핸드오버 절차

핸드오버 절차는 크게 네트워크 토폴로지 획득(network topology acquisition) 과정과 핸드오버 실행(handover execution) 과정으로 구분할 수 있다.

네트워크 토폴로지 획득 과정은 RS를 사용하지 않는 IEEE 802.16e 시스템과 RS를 사용하는 IEEE 802.16j와 유사하지만 핸드오버 실행 과정은 많은 차이가 있다. 따라서 본 절에서는 핸드오버 과정의 비교를 위해 IEEE 802.16e/16j 시스템들의 핸드오버 실행 과정에 대해서 살펴본다. 설명의 편의를 위해 본 논문에서 사용하는 MAC 메시지들을 <표 1-1>과 같이 요약한다[15].

DCD	downlink channel descriptor
UCD	uplink channel descriptor
MOB_NBR-ADV	mobile neighbor advertisement
MOB_SCN-REQ:	mobile scanning request
MOB_SCN-RSP:	mobile scanning response
HO-pre-notification	handover pre-notification
HO-pre-notification-response	handover pre-notification-response
MOB_BSHO_REQ	mobile base station initiated handover request
MOB_MSHO-RSP	mobile subscriber handover response
MOB_BSHO-RSP	mobile base station handover response
MOB_HO_IND	mobile handover indication
MS_Context_REQ	mobile station context request
MS_Context_RSP	mobile station context response
MOB_INF-IND	mobile information indication
Fast ranging-IE	fast ranging information element
RNG-REQ	ranging request
RNG-RSP	ranging response

〈표 1-1〉 MAC 메시지

1. 네트워크 토폴로지 획득 과정

네트워크 토폴로지 획득 과정에서 MS와 서빙 BS는 주기적으로 핸드오버 결정에 필요한 파라미터들을 업데이트하게 되며, 네트워크 토폴로지 방송(broadcasting), 주변 BS 스캐닝(scanning) 및 MS와 BS간의 기능 협상(capability negotiation)의 절차들로 구성된다. 즉, 서빙 BS는 주변 BS들의 수, DCD/UCD 정보, 그리고 주변 BS에서 사용 가능한 자원 등의 정보를 MS에게 알려주기 위해 주기적으로 MOB_NBR-ADV 메시지를 방송한다. 네트워크 토폴로지 정보를 수신한 MS는 주변 BS들의 프리앰블(preamble) 신호를 스캐닝하기 위해 MOB_SCN- REQ 메시지를 서빙 BS에게 전송

한다. MOB_SCN- REQ 메시지를 수신한 서빙 BS는 MS에게 주변 BS들의 신호를 측정할 수 있도록 스캐닝 시점과 스캐닝 주기를 알려주는 MOB_SCN-RSP 메시지를 전송한다. 이때 MS는 MOB_SCN-RSP 메시지에 의해 정해진 스캐닝 구간 동안 스캐닝을 수행한다. 결국 MS는 자신의 서빙 BS와 통신을 중단하고, 주변 BS와 동기를 새로 맞춘 후 주변 BS의 SINR을 측정하며, 이를 이용하여 핸드오버 수행 여부를 결정하게 된다. 스캐닝 절차가 끝난 후, MS는 주변 BS와 협상 과정을 통해 네트워크 재진입을 위한 레인징 정보를 획득한다[10].

2. 핸드오버 실행 과정

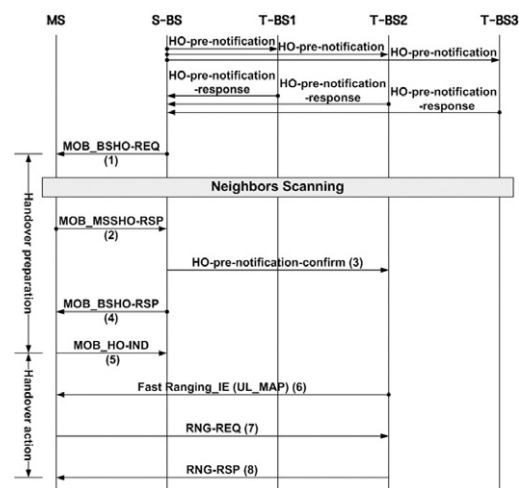
2.1. IEEE 802.16e 규격

IEEE 802.16e 시스템의 핸드오버 실행은 BS에 의해 시작되는 BS-initiated 핸드오버와 MS에 의해 시작되는 MS-initiated 핸드오버로 구분할 수 있다. MS-initiated 핸드오버의 경우에는 MOB_MSHO-REQ 메시지를 MS가 서빙 BS로 전송하는 시점부터 핸드오버 실행 과정이 시작된다. 따라서 BS들끼리 백본망을 통해 유선으로 주고받는 메시지(HO-pre-notification/HO-pre-notification response)들이 핸드오버 실행 절차에 포함된다. 그러나 BS-initiated 핸드오버의 경우 백본망을 통한 메시지들을 주고받은 후 MOB_BSHO-REQ 메시지를 전송하는 시점에서 핸드오버 실행 과정이 시작되므로 백본망을 통한 메시지들의 송수신 절차가 핸드오버 실행 과정에서 배제될 수 있다. 따라서 전반적인 핸드오버 실행 과정이 간략해질 수 있다는 장점이 있으므로 본 논문에서는 BS-initiated 핸드오버만을 고려한다.

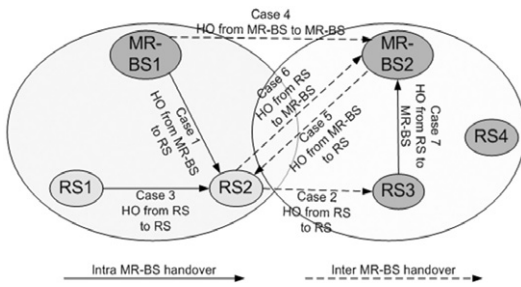
(그림 2-1)에서처럼 BS-initiated 핸드오버 과정은 핸드오버 준비(handover preparation) 단계와 핸드오버 수행(handover action) 단계로 세분화할 수 있다[16]. 핸드오버 준비 단계는 서빙 BS가 MS에게 MOB_BSHO-REQ 메시지를 전송하는 시점부터 시작된다. MOB_BSHO-REQ 메시지를 통해 서빙 BS는 MS에게 타깃 BS들의 후보들을 알려준다. 이 메시지를 수신한 MS는 타깃 BS들의 후보들에 대해 스캐닝을 수행한 후 그 결과를 서빙 BS에게 MOB_MSHO-RSP 메시지를 통해 보고한다. 서빙 BS는 타깃 BS로 핸드오버 확인(HO-pre-notification-confirm) 메시지를 전송한 후 MS로부터 보고

받은 결과를 이용하여 MOB_BSHO-RSP 메시지를 통해 MS에게 최종 타깃 BS를 알려준다.

핸드오버 수행 단계에서 MS는 실질적으로 서빙 BS와의 연결을 끊고 새로운 타깃 기지국으로 재진입하며, 이를 위한 초기 레인징 과정이 수행된다. 핸드오버 수행 단계는 MS가 MOB_HO-IND 메시지를 전송하는 시점부터 시작된다. 이 메시지를 통해 MS는 서빙 BS와의 링크 해지 또는 타깃 BS로의 핸드오버 진행 중지를 서빙 BS에게 알린다. 만일 MS가 타깃 BS와의 링크를 해지하고 타깃 BS로의 핸드오버가 확정되면 MS는 네트워크 토폴로지 획득 과정에서 획득한 타깃 BS의 레인징 정보들을 이용하여 fast_ranging_IE를 수신하고 RNG-REQ/RSP 메시지들을 통해 네트워크 재진입 과정을 수행한다. 즉, MOB_HO-IND 메시지를 전송하는 시점부터 타깃 BS와 네트워크 재진입 과정이 종료되는 시점까지 통신이 불가능하게 된다. 이렇게 더 이상 어떠한 BS와도 통신이 이루어질 수 없는 시간을 IEEE 802.16e/j/m에서는 핸드오버 단절 시간을



(그림 2-1) Mac 계층에서의 핸드오버 절차: BS-initiated Handover[14]



(그림 2-2) 다중 홉 중계 시스템에서의 핸드오버 시나리오[17]

로 정의하고 있다. IEEE 802.16e와 IEEE 802.16m의 경우에 요구되는 핸드오버 단절시간은 각각 150ms와 25-30ms이다.

2.2 IEEE 802.16j 규격

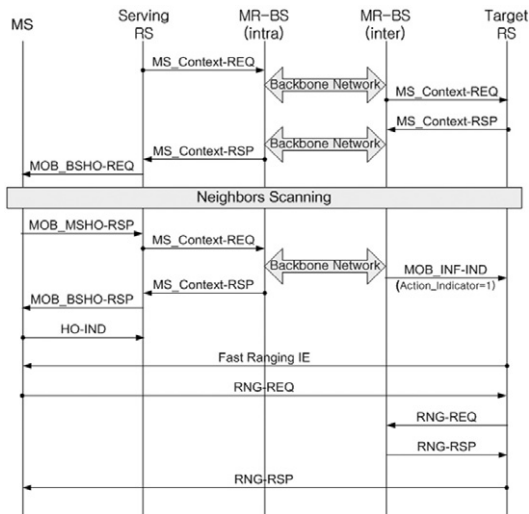
RS의 도입을 통해 RS 주변에 위치한 MS들의 SINR 성능을 향상시킴으로써 수율을 증대시킬 수 있고, 또한 기존의 중계기(repeater)와 같이 음영 지역에 RS를 설치하여 서비스 불능 지역을 커버하거나 셀 영역이 제한된 지역에서 커버리지를 확장할 수 있다. 그러나 SINR 향상에 따른 고효율 변조와 주파수 재사용에 따른 셀 수율의 증대에도 불구하고, RS를 통해 셀 전체를 다수 개의 작은 커버리지 영역으로 분할함에 따라 빈번한 핸드오버가 발생하는 문제가 있다. 즉, IEEE 802.16j 규격에서는 (그림 2-2)와 같이 BS (IEEE 802.16j에서는 BS를 MR-BS로 명함)와 RS 사이에 다양한 핸드오버 시나리오가 존재하며, 크게 intra-BS 핸드오버와 inter-BS 핸드오버로 분류할 수 있다[18].

한편, IEEE 802.16j에서는 RS가 MR-BS와 독립적인 스케줄링 기능을 갖고 있는지 또는 그렇지 않은지에 따라 서로 다른 핸드오버 시나리

오가 존재하고, RS가 MR-BS처럼 프리앰블과 MAP을 전송할 수 있는지 또는 그렇지 않은지에 따라 또 다른 핸드오버 시나리오가 존재할 수 있다[18]. 본 논문에서는 RS가 MR-BS처럼 프리앰블과 MAP을 전송하는 non-transparent RS를 고려하며, RS가 독립적인 스케줄링 기능을 갖고 있다고 가정한다. 또한 MS의 이동 경로는 다음과 같다. 서빙 BS로부터 해당 하위 RS로 이동하는 경우(case 1), 서빙 BS가 관장하는 RS로부터 타깃 BS가 관장하는 RS로 이동하는 경우(case 2), 마지막으로 타깃 BS가 관장하는 RS로부터 타깃 BS로 이동하는 경우(case 7)에 초점을 맞춘다. 이 때 MOB_BSHO-REQ 메시지부터 RNG-RSP 메시지까지 전체 핸드오버 메시지가 RS를 경유하여 MS 또는 서빙 BS로 중계되기 때문에 실질적인 핸드오버 실행 시간이 크게 증가한다. 즉, IEEE 802.16j 시스템의 핸드오버 성능이 가장 열악한 시나리오로 볼 수 있다. 특히 MS가 서빙 RS가 관장하는 RS로부터 타깃 BS가 관장하는 RS로 이동하는 case 2의 경우, case 1과 case 7의 절차를 포함하고 있으므로 case 2에 초점을 둔다.

(그림 2-3)으로부터 IEEE 802.16j 시스템에서의 핸드오버 절차의 복잡도가 IEEE 802.16e 시스템에 비해 크게 증가함을 알 수 있다. 서빙 RS는 자신을 관장하는 MR-BS에게 MS_Context-REQ 메시지를 전송함으로써 MS의 핸드오버 시에 필요한 MS의 MAC 주소, BSID, 기지국 등록 정보를 요청한다. 서빙 RS를 관장하는 MR-BS는 백본망을 통해 타깃 RS를 관장하는 MR-BS에게 이 정보를 요청하게 되고, 타깃 RS를 관장하는 MR-BS는 최종적으로 타깃 RS로 요청한다. 타깃 RS는 앞서 언급한 절차의

역순으로 자신을 관장하는 MR-BS, 서빙 RS를 관장하는 MR-BS, 그리고 마지막으로 서빙 RS를 거쳐 MS_Context-RSP 메시지로 응답한다. 서빙 RS는 핸드오버 요청을 위해 MS로 MOB_BSHO-REQ 메시지를 전송한다. MOB_BSHO-REQ 메시지에는 MS가 스캐닝 할 인접 RS들의 후보 집합들이 포함된다. 이 메시지를 수신한 MS는 후보 RS 집합들의 SINR을 측정하여 서빙 RS로 보고한다. 서빙 RS는 이 결과를 바탕으로 최종 타깃 RS를 결정하고, 자신을 관장하는 MR-BS를 통해 백본망을 거쳐 타깃 RS에게 핸드오버 확인을 알려준다. 또한 서빙 RS는 MS에게 MOB_BSHO-RSP 메시지를 통해 최종적으로 결정된 타깃 RS를 알려준다. 이를 수신한 MS는 서빙 RS에게 HO-IND 메시지를 전송한 후



(그림 2-3) RS에서 RS로의 핸드오버 절차: case 2

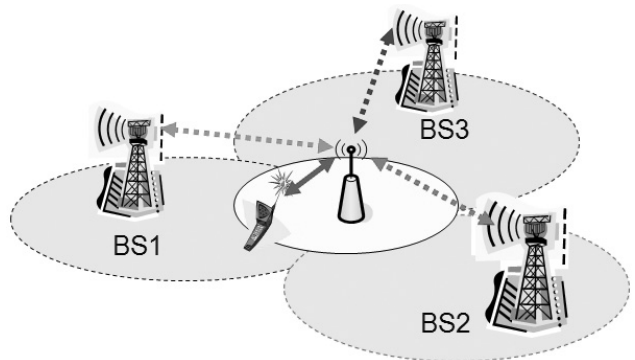
서빙 RS와의 연결을 끊고 타깃 RS와 네트워크 재가입 절차를 수행한다. 이 절차에서 보는 바와 같이 IEEE 802.16j 규격은 IEEE 802.16e 규격에 비해 핸드오버 수행에 많은 지연 시간이 예상

된다. 따라서 RS의 도입을 통한 수율 증대 및 커버리지 확장 효과에도 불구하고 핸드오버 지연시간으로 인해 IEEE 802.16j 시스템의 한계가 예상된다.

III. 제안 방식: 핸드오버 게이트웨이

1. 시스템 모델

본 논문에서는 셀 경계에서 릴레이 노드로서 위치하면서 핸드오버 과정을 중간에서 직접 처리하여 가상적으로 소프트(soft) 핸드오버 효과를 구현할 수 있도록 하는 핸드오버 게이트웨이 시스템(Handover Gateway System: HGS)의 개념을 도입한다. 이를 통해 셀 경계에서 신뢰성이 낮은 링크 특성으로 인해 발생할 수 있는 핸드오버 실패 또는 핸드오버 지연시간을 줄임으로써 셀 경계에서 안정적인 연결성을 유지할 수 있다. IEEE 802.16j 규격에서는 하나의 BS가 자신의 커버리지 영역 내에 설치된 다수 개의 RS들을 관리하고, 따라서 각 RS는 자신이 속하는 단 하나의 기지국을 앵커로 갖는다. 하지만, HGS는



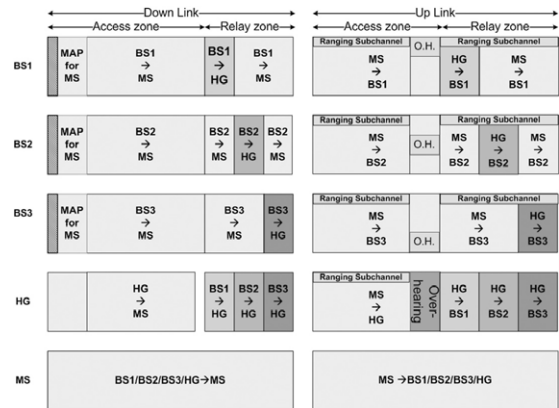
(그림 3-1) 핸드오버 게이트웨이 시스템

(그림 3-1)에서 보는 바와 같이 셀 경계에 위치하면서 주변에 있는 다수 개의 기지국과 무선 릴레이 링크를 구성하고, 동일한 채널 대역으로 동시에 통신이 가능하도록 한다. 이러한 특성을 통해 IEEE 802.16e 시스템과 비교하여 셀 커버리지가 확장될 뿐만 아니라 IEEE 802.16j 시스템과 비교하여 간섭 원의 수가 줄어든다는 장점이 있다.

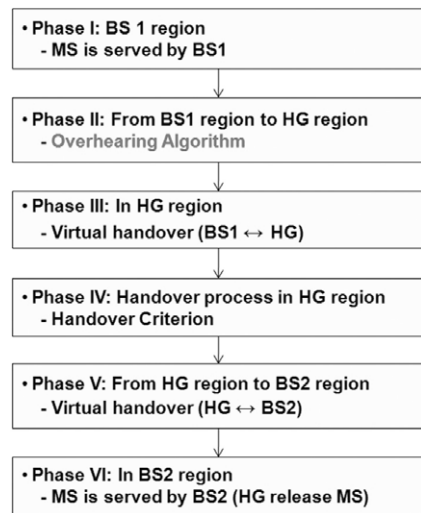
한편, (그림 3-2)는 IEEE 802.16j의 TDD-OFDMA 프레임에서 HGS를 위한 다중 기지국 접속 기능을 지원하기 위한 구조를 나타낸다. 각 프레임은 하향링크와 상향링크로 분할되고, 다시 각 링크는 MS가 BS 또는 RS와 직접 통신하기 위한 액세스 구간(access zone), BS와 RS간의 링크를 제공하기 위한 릴레이 구간(relay zone)으로 분할된다. 이때 액세스 구간과 릴레이 구간의 비율은 셀 내에서 트래픽 분포에 따라 가변적으로 설정할 수 있으며, 이때 자원 효율성을 확보하기 위해서는 적절한 부하 관리(load balancing)가 요구된다[19]. 또한 제안하는 프레임 구조에서의 하향링크는 IEEE 802.16j의 transparent RS 모드를 지원하기 위한 프레임 구조[18]에서처럼 HG가 MS에게 프레임 동기화 및 셀 탐색을 위한 프리앰블과 사용자별 자원 할당 정보를 알려주는 MAP을 별도로 전송하지 않는다. 따라서 모든 MS들은 자신의 서빙 BS로부터 프리앰블과 MAP을 수신한다. 즉, BS 및 HG로부터 서비스를 받는 모든 MS들은 자신의 서빙 BS로부터 프레임 동기화 및 자원 할당 정보를 획득하고, 데이터 버스트(data burst)는 서빙 BS 또는 HG로부터 수신한다. 한편, BS와 HG와의 통신을 위한 릴레이 구간은 HG를 공유하는 BS들끼리 서로 시분할하여 사용하도록 자원을 할당한다. 주파수 재사용을 극대화하기 위해 릴레이 구간을 제외한 모든 액세스

구간에서 각 BS와 HG는 링크간 중첩을 통해 동일한 부채널을 재사용할 수 있다.

(그림 3-2)에서 상향링크의 일부 구간을 Over-Hearing Zone (OH Zone)으로 지정하



(그림 3-2) HGS를 위한 TDD-OFDMA 프레임 구조



(그림 3-3) HGS에서 단말의 이동 경로에 따른 HG의 동작 과정

고, 이를 이용하여 HG가 주변에 단말의 존재(출현)를 감지할 수 있도록 한다. HG가 별도의 프리앰블을 방송하지 않기 때문에 MS는 HG의 존재를 알 수 없다. 따라서 MS가 어느 시점에, 어떤

HG로부터 서비스를 받을지를 결정하기 위해 상향링크의 OH zone을 통해 HG가 MS의 상향링크 신호를 엿들을 수 있도록 한다. 즉, HG는 이 OH zone을 통해 MS가 자신의 서빙 BS에게 보고하는 CQI 또는 전송하는 데이터 버스트를 검출할 수 있다. OH zone은 서빙 BS에 의해 할당되며, 이는 주기적 또는 이벤트 트리거(event trigger) 방식에 의해 할당될 수 있다. 그러나 주기적으로 할당할 경우에는 불필요한 자원 할당이 발생할 수 있기 때문에 수율을 감소시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이벤트 트리거 방식을 구현하고자 하며, 이를 위해 MS가 서빙 BS로 보고한 CQI 값이 특정 임계값 이하로 떨어질 경우에 OH zone이 할당될 수 있도록 한다. OH zone이 할당되면, 서빙 BS는 해당 MS가 해당 OH zone을 이용하여 데이터 또는 제어 정보를 상향링크로 전송하도록 지시한다. 즉, 서빙 BS와의 링크 성능이 열화되면 MS가 일단 셀 경계로의 진입될 수 있음을 예상하고, HG는 OH zone으로 수신되는 단말의 신호를 통해 그 여부를 확인할 수 있다.

2. 핸드오버 게이트웨이의 동작 과정

본 절에서는 (그림 3-3)에서처럼 MS가 이동하는 경로를 따라 동작 과정을 6단계로 분류하고, 그 단계 별로 동작 과정과 운용 방법을 상세히 살펴본다. 설명의 편의를 위해 MS는 서빙 BS (BS1) 영역에서부터 HG를 거쳐 타깃 BS (BS2) 영역으로 이동한다고 가정한다.

2.1 Phase I: BS1 영역

MS가 자신의 서빙 BS와 직접 통신이 이루어지고 있는 단계로서 (그림 3-2)의 하향 및 상향 링크 액세스 구간을 통해 자원을 할당 받게 된다.

2.2 Phase II: BS1 영역에서 HG 영역으로 이동

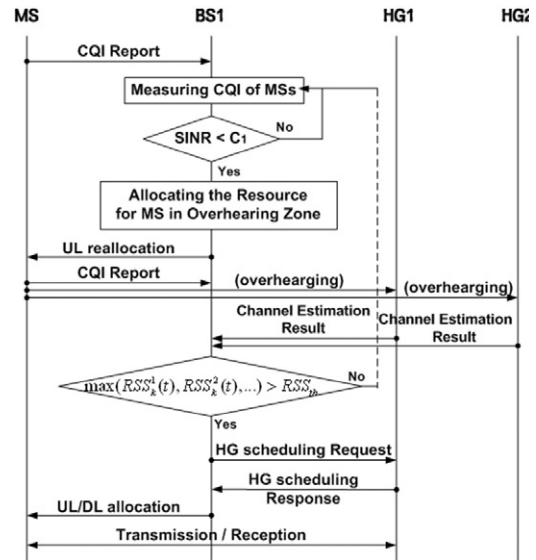
BS1과 통신하는 MS가 셀 경계로 이동할 경우, 인접 HG의 커버리지 영역으로 진입하게 된다. 이때 수율의 증대와 안정적인 서비스를 받기 위해 HG와의 연결이 고려되어야 하는 단계이다. BS1에서 수신된 신호가 임계값 이하로 떨어지면 MS는 OH zone을 할당 받는다. HG는 이 OH zone을 할당 받은 MS로부터 수신되는 신호를 검출하여 MS의 진입 여부를 확인한다. 이때 MS가 HG를 선택하는 절차는 (그림 3-4)와 같다. 서빙 BS는 MS가 보고한 SINR 값이 특정 임계값 γ 이하로 떨어지면 해당 MS가 상향링크 액세스 구간으로 전송하도록 OH zone을 할당함과 동시에 HG들에게 이 영역을 엿들도록 릴레이 구간을 통해 지시한다. 서빙 BS로부터 지시를 받은 HG들은 OH zone으로 송신되는 MS의 CQI 또는 data burst를 엿들은 후 수신신호강도(Received Signal Strength: RSS)를 측정한다. 각 HG는 측정한 RSS 값을 서빙 BS에게 보고하고, 서빙 BS는 가장 RSS 값이 큰 HG의 RSS가 임계값을 넘으면 해당 HG를 선택한다. M 번째 HG가 수신한 k 번째 MS의 순시적인(instantaneous) RSS값을 RSS_k^M 로 나타내고, 미리 설정한 RSS의 임계값을 RSS_{th} 로 정한다. MS는 다음 조건을 만족하는 HG로 진입하도록 결정된다.

$$\max(RSS_k^1, RSS_k^2, \dots) > RSS_{th} \quad (1)$$

서빙 BS는 (1)에 의해 선택된 HG로 OH zone으로 송신한 MS의 정보(CID, CQI 등)를 통보하면서, 동시에 HG로 HG scheduling request를 통해 MS를 위한 자원 할당을 요청한다. HG는 HG scheduling response 메시지를 통해 MS가 자신으로부터 서비스 받을 수 있는 자원 영역을 서빙 BS에게 통보하고, 서빙 BS는 수신한 HG scheduling response 메시지를 기반으로 MS가 송신 또는 수신할 자원 영역을 알려준다. MS는 서빙 BS로부터의 상향 또는 하향링크 자원 할당 정보를 이용하여 데이터 및 제어 정보의 송수신을 시작한다.

2.3 Phase III: 가상 핸드오버 (Virtual Handover)

앞서 언급한 것처럼 서빙 BS와 HG간의 스케줄링 협상과정이 끝나고 MS가 HG로부터 데이터 또는 제어 정보를 송수신하더라도 MS는 서빙 BS로부터 프리앰블과 MAP을 수신해야한다. 즉, MS는 서빙 BS에 의해 프레임 동기화가 이루어지고, 또한 MAP을 수신하기 때문에 HG 서비스 영역 내에서 핸드오버가 수행되었음을 인지하지 못한다. 따라서 이는 BS와 HG간의 가상 핸드오버(virtual handover)로 볼 수 있다. 즉, BS와 HG간에 핸드오버를 능동적으로 수행하기 위해 별도의 명시적인 핸드오버 메시지를 교환하지 않고 암묵적인 절차에 의해 핸드오버가 수행된 것이다. MS가 HG의 커버리지 영역으로 가상적인 핸드오버가 이루어짐으로써 셀 경계에서 빈번하게 발생할 수 있는 불안정한 핸드오버를 방지할 수 있게 된 것이다. 또한, HG에 의해 안정적인 핸드오버 커버리지 영역이 확보됨으로써 핸드오버 과정에서 안정적인 접속이 보장된다.



(그림 3-4) Phase II에서 HG를 선택하기 위한 절차

2.4 Phase IV: HG 영역 내에서의 핸드오버

HG 영역 내에서 MS가 서빙 BS로부터 점점 멀어지게 되면 서빙 BS로부터 프리앰블 및 MAP 수신이 어렵게 되고, MS는 새로운 BS로 핸드오버가 이루어져야 한다. 이 단계에서는 MS가 새로운 프리앰블과 MAP 정보를 수신할 타겟 BS를 결정하는 과정이다. MS는 서빙 BS로 주기적인 순시적인 SINR 값을 보고하고, 서빙 BS는 이 값들에 대해서 다음과 같이 평균값을 취한다.

$$s_1(N) = \frac{\sum_{n=1}^N \text{SINR}_k^{\text{Serving}}(nT_1)}{N} + \beta \quad (2)$$

여기서 T_1 은 MS가 SINR을 측정하는 주기로서 매 프레임마다 업데이트 된다고 가정하고(즉, $T_1 = 5$ ms), N 은 moving window size를 나타낸다. 한편, $\text{SINR}_k^{\text{Serving}}$ 은 k 번째 MS가 측정한 서빙 BS의 신호대 잡음 및 간섭비이며, β 는 Hysteresis

margin을 나타낸다. 또한 MS는 타깃 BS로의 핸드오버를 위해서 서빙 BS가 아닌 주변 BS들을 주기적으로 스캐닝하고 HG를 통해 스캐닝 결과를 보고한다. 서빙 BS는 MS로부터 보고 받은 순시적인 스캐닝 결과를 바탕으로 다음과 같이 moving average 연산을 수행한다.

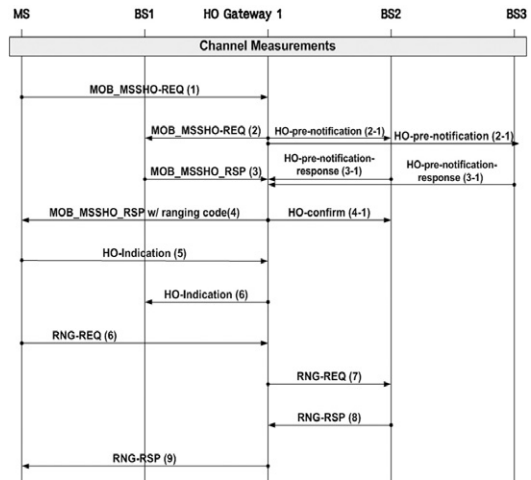
$$s_2(N) = \frac{\sum_{n=1}^N SINR_k^{Target}(nT_i)}{N} \quad (3)$$

여기서 $SINR_k^{Target}$ 은 k 번째 MS가 측정된 타깃 BS의 신호 대 잡음 및 간섭비이다. 서빙 BS는 (2)와 (3)을 비교하여 L 번 연속해서 새로운 BS의 평균값이 서빙 BS의 평균값보다 크면 핸드오버를 결정한다. 즉, 여기서 L 은 dwell time으로서, (2)와 (3)의 moving average 연산과 함께 핸드오버 과정에서 핑퐁(ping-pong) 현상을 방지하기 위한 파라미터에 해당된다.

핸드오버가 결정되면 서빙 BS는 타깃 BS와의 협상이 진행되고, 이 과정에서 HG는 각 BS로부터 사용 가능한 레인징 코드들의 집합을 업데이트하여 핸드오버 시에 타깃 BS가 결정된 MS에게 해당 BS의 레인징 코드를 할당한다. HG가 BS의 레인징 코드를 할당함으로써 MS는 타깃 BS와 초기 레인징을 경쟁 없이 수행할 수 있으므로 핸드오버 지연 시간을 줄일 수 있다. 또한, 핸드오버를 위한 모든 제어 메시지들이 별도의 백본망을 통하지 않고 HG를 통해 무선으로 중계된다. 상세한 중계 절차는 그림 (3-5)의 프로토콜을 따른다. BS-initiated 방식을 따르므로, MS의 핸드오버가 결정되면 서빙 BS는 HG로 HO-command 메시지를 전송하고 HG는 MS로 이를 중계한다. HG로부터 이를 수신한 MS는 HO-command

메시지로부터 타깃 BS에 대한 정보(타깃 BSID, ranging code 등)를 알 수 있다. MS는 자신이 수신한 HO-command 메시지에 대한 ACK (acknowledgement)을 HG로 전송하고, HG는 이를 서빙 BS로 중계한다. 마지막으로 MS는 HG를 통해 타깃 BS와 RNG-REQ 및 RNG-RSP 메시지를 주고받는다.

(그림 2-1)을 참조할 때 메시지의 오류가 없다고 가정하면, IEEE 802.16e 규격에서의 핸드



(그림 3-5) HGS를 위한 핸드오버 프로토콜

오버 단절 시간은 최소 15 프레임이 소요된다. 이에 비해 (그림 3-5)에서 제안하는 핸드오버 절차에서는 중간에 HG를 경유해서 핸드오버 제어 메시지가 전달되므로 핸드오버 단절시간은 더 증가하게 된다. 그러나 HG에 의해 확보된 안정적인 핸드오버 영역에 의해 실제로 핸드오버 실패율이 줄어들게 되어, 실제로는 평균 핸드오버 지연시간이 상대적으로 감소하는 효과를 예상할 수 있다. 이는 HGS가 기존 시스템에 비해 상대적으로 안정적인 링크 상태를 보장할 가능성이 높기 때문

이다. 따라서 전체적인 핸드오버 성능을 고려할 경우, HGS가 기존 시스템에 비해 좋은 성능을 보일 수 있다. IV 장에서는 이러한 측면을 확인하기 위한 모의실험 수행하고, 그 결과를 별도로 다루도록 한다.

2.5 Phase V: HG 영역에서 BS2 영역으로 이동

MS가 Phase IV 과정을 통해 BS1에서 BS2로 핸드오버를 결정되었더라도, 핸드오버 과정 동안에 HG 영역 내에 존재하는 MS는 HG로부터 지속적으로 데이터를 수신할 수 있다. MS가 HG 영역에서 BS2 영역으로 핸드오버 하는 과정은 BS1에서 HG로 이동하는 것과 동일한 방법으로 가상 핸드오버를 구현할 수 있다. 즉, 서빙 BS (BS2)는 MS의 상향링크 전송을 위해 OH zone을 할당한다. MS는 할당 받은 OH zone에서 상향링크 전송을 수행하고, 서빙 BS는 이를 엿듣는다. 이러한 과정은 Phase III에서의 절차와 유사하며, 다만 엿듣는 주체가 HG에서 서빙 BS로 바뀐 것이 달라진 점이다. 그러나 서빙 BS가 이미 HG를 통해 서비스 받는 MS의 존재를 알고 있으므로 별도의 HG scheduling request/ response 메시지를 주고받을 필요는 없다.

2.6 Phase VI: BS2 영역

Phase I과 마찬가지로, BS2로의 핸드오버 수행이 완료되면, MS는 새로운 서빙 BS (BS2)의 하향 및 상향링크 액세스 구간을 통해 정상적인 통신을 수행하게 된다.

IV. 모의실험

1. 실험 모델

본 논문에서는 2.3GHz 주파수 대역에 768개의 sub-carrier를 사용하는 OFDMA/TDD 시스템을 기반으로 한다. 이상적인 육각형 셀을 가정하고 19개의 셀로 이루어진 wrap-around 구조를 고려한다[20]. 하향과 상향링크에서 적응 변조 및 부호화에 필요한 신호대 간섭 임계값은 각각 <표 4-1>과 <표 4-2>의 MCS (modulation and coding scheme) 기준을 따른다[21].

ITU-R M.1225의 Vehicular A (VEH-A) 채널 모델을 사용하였다[22]. 또한 BS와 MS 링크, 그리고 RS와 MS 링크의 경로 감쇠는 modified COST231 Hata 모델을 사용하고, BS

<표 4-1> 하향링크 MCS

Downlink MCS		Required SINR (dB)
Modulation	Coding Rate	
QPSK	1/2	-3.46
QPSK	1/6	-1
QPSK	1/3	1.73
QPSK	1/2	5.4
16-QAM	1/2	10.5
64-QAM	1/2	15.0
64-QAM	2/3	20.0
64-QAM	5/6	28.5

<표 4-2> 상향링크 MCS

Uplink MCS		Required SINR (dB)
Modulation	Coding Rate	
QPSK	1/12	-1.97
QPSK	1/6	0
QPSK	1/3	2.3
QPSK	1/2	5.2
16-QAM	1/2	10.5

〈표 4-2〉 모의실험 파라미터

Parameters	Value
Frequency	2.3GHz
Bandwidth	8.75MHz
BS power	20W
RS power	8W, 10W, 12W
MS power	200mW
Thermal Noise	-174dBm
Cell radius(site to site)	1km
Mobility	30km/h, 120km/h
Handover Parameter	Moving Window = 100 (frames) Dwell time = 10 (frames)
Processing delay	3 frames
1 frame	5 ms

와 RS 링크의 경로 감쇄는 above rooftop 모델을 사용한다. 또한 표준편차8dB의 log-normal shadowing을 적용한다[23]. 한편, 모든 BS, RS (HG 포함), 그리고 MS들은 하나의 안테나만을 장착하고 전방향 안테나를 사용한다. 트래픽 발생은 full buffer model을 가정하고, 자원 할당을 위해 프레임 단위로 round-robin 스케줄링에 의해 사용자를 선택한다. 단말의 이동성에 따른 채널 불일치(channel mismatch)를 반영하기 위해 2개 프레임에 해당하는 채널 피드백(feedback) 지연 시간을 가정한다.

본 절에서는 기존 시스템과 본 논문에서 제안하는 HGS의 성능을 비교하고자 한다. 성능 비교의 척도로서 핸드오버 과정에서 발생하는 핸드오버 단절 시간, 핸드오버 실패율, 시스템 평균 수율, 그리고 서비스 불능 성능을 동시에 살펴본다. IEEE 802.16j와 같이 RS를 도입한 시스템에서는 BS와 MS가 주고받는 핸드오버 메시지들이 RS를 통해 중계되어야 하므로 RS를 사용하지 않는 IEEE 802.16e 규격에 비해 핸드오버 지연

시간이 상대적으로 길게 된다. 따라서 핸드오버 단절 시간 및 핸드오버 실패율의 분석을 위해 RS가 없는 IEEE 802.16e 규격에서의 핸드오버 프로토콜[10]을 비교 대상으로 한다. 핸드오버 수행 시에 MS가 타깃 BS로부터 ranging code를 수신하는데 실패하면 back-off window가 지수 형태로 증가하도록 설계하였다.

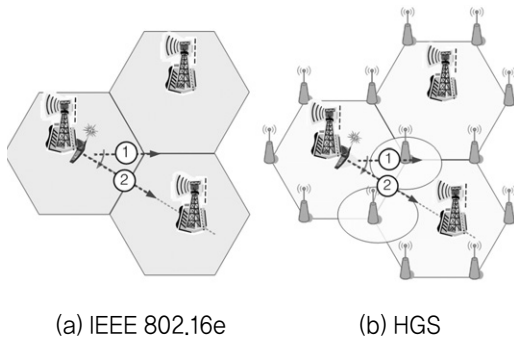
한편 시스템의 평균 수율과 서비스 불능 성능의 분석을 위해 RS를 사용하는 IEEE 802.16j 시스템을 HGS의 비교 대상으로 한다. BS로부터 셀 반경의 2/3 위치에 일정한 간격으로 6개의 RS가 위치하는 구조를 따른다. 모의실험에 사용된 파라미터들은 〈표 4-3〉과 같다.

2. 모의실험 결과 및 분석

2.1 핸드오버 성능

본 논문의 모의실험에서 핸드오버 단절 시간을 분석할 때 핸드오버에 실패한 MS들은 제외된다. 즉, 성공적으로 핸드오버를 수행한 MS들의 평균적인 단절 시간을 반영한다. 한편 핸드오버 실패율은 MS가 핸드오버를 시도한 전체 횟수와 실제로 핸드오버에 실패한 횟수의 비로 정의한다. 여기서 핸드오버 실패는 핸드오버 수행 시에 주고받는 각 MAC 메시지들이 3번의 재전송을 통해서도 성공적으로 수신되지 못하거나, 또는 핸드오버 단절 시간 내(HO-IND부터 RNG-RSP까지)에서 주고받는 MAC 메시지들의 총 재전송 횟수가 10회를 초과할 경우 또는 back-off window의 크기가 특정 임계값(50ms [15])을 초과할 경우를 의미한다.

성능 분석을 위해 (그림 4-1)과 같이 MS가

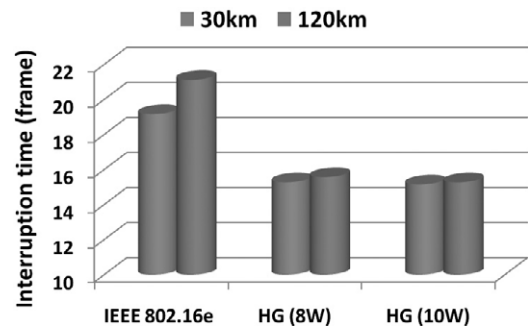


(그림 4-1) 모의실험을 위한 단말의 이동 경로

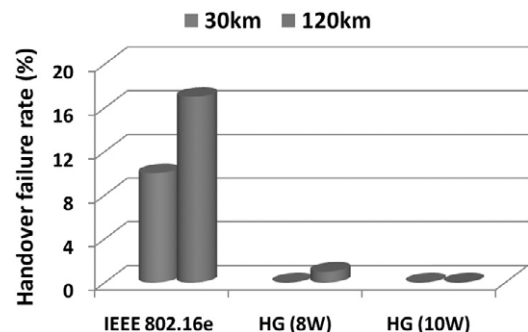
서로 다른 2개의 경로로 이동하는 시나리오를 가정한다. 경로 ①은 19개의 셀들 중 가장 중앙에 위치하는 기준 셀의 중심에서, 인접한 두 BS 사이의 경계로 이동하는 경우를 나타낸다. 한편 경로 ②는 ①과 동일한 기준 셀의 중심에서 인접 셀의 중심으로 이동하는 경우를 나타낸다. (그림 4-1(a))와 같이 IEEE 802.16e 규격의 경우에는 MS가 경로 ②를 따라 이동할 때에 비해 경로 ①을 따라 이동할 때 핸드오버 실패율과 핸드오버 단절 시간이 증가할 것임을 예상할 수 있다. 왜냐하면 MS가 경로 ①을 따라 이동할 경우가 ②를 따라 이동할 때에 비해 인접 BS들로부터 야기되는 간섭의 세기가 더 크기 때문이다. 그러나 (그림 4-1(b))의 HGS에서는 MS가 경로 ①을 따라 이동할 때 MS는 HG의 서비스 영역 내에 존재한다. 따라서 MS가 경로 ②를 따라 이동할 때 더 많은 간섭을 겪게 되므로 MS가 경로 ①을 따라 이동할 때보다 핸드오버 성능이 열화될 것임을 예상할 수 있다.

(그림 4-2)와 (그림 4-3)은 각각 MS가 경로 ①과 경로 ②를 따라 이동할 때, MS의 이동 속도가 30km/h에서 120km/h로 증가함에 따른 핸드오버 단절 시간(단위는 프레임)과 핸드오버 실패율

패율(단위는 %)을 비교한 그림이다. (그림 4-2)와 (그림 4-3)을 통해 MS가 경로 ①과 경로 ②를 따라 이동하는 두 가지 경우 모두, MS의 이동 속도가 30km/h에서 120km/h로 증가하면서 핸드오버 단절 시간 및 핸드오버 실패율 성능이 모두 저하됨을 알 수 있다. 이는 MS의 이동 속도가 증가함에 따라 채널 불일치가 증가하게 되어 핸드오버 메시지가 성공적으로 전송되기 어렵기 때문이다. 한편, (그림 4-2)를 통해 HGS는 IEEE 802.16e 시스템의 핸드오버 단절 시간과 핸드오버 실패율 성능을 모두 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 특히 핸드오버 단절 시간의 경우

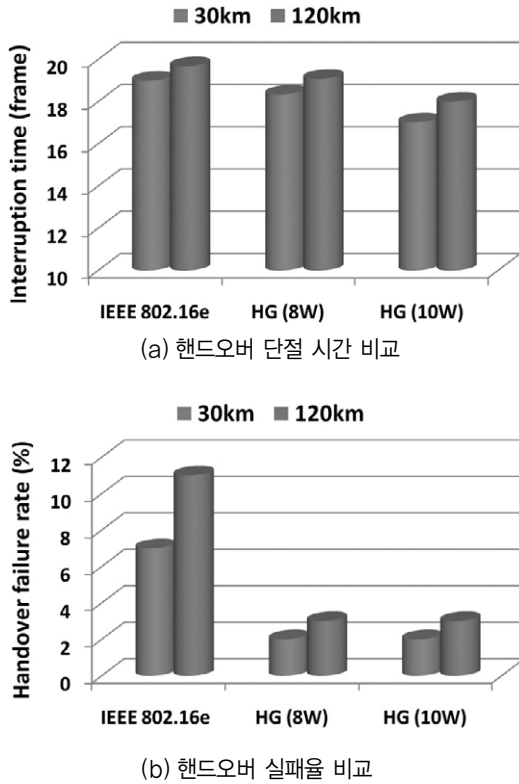


a) 핸드오버 단절 시간 비교



(b) 핸드오버 실패율 비교

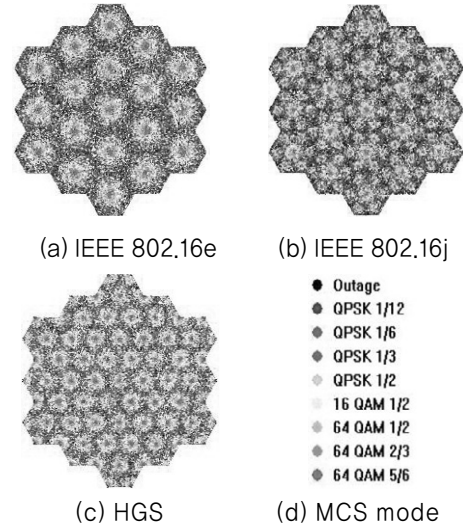
(그림 4-2) 경로 ①을 따라 이동하는 경우



(그림 4-3) 경로 ②를 따라 이동하는 경우

HGS를 통해 평균 33%의 성능 향상을 볼 수 있으며, 핸드오버 과정에서 MAC 메시지들의 재전송이 거의 없음을 알 수 있다. 한편, MS가 경로 ①을 따라 이동할 경우 HG의 송신 전력은 핸드오버 성능 향상에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

(그림 4-3)에서 HGS의 핸드오버 단절 시간은 IEEE 802.16e 시스템에 비해 평균 12% 향상되었고 핸드오버 실패율 성능은 경로 ①의 성능과 비교하여 두 시스템의 성능 차이가 감소하였다. 이는 MS가 경로 ②를 따라 이동할 때가 HGS의 핸드오버 성능 측면에서 가장 열악한 시나리오이기 때문이다. 그럼에도 불구하고 HG의 송신 전력을 10W로 증가시킬 경우 핸드오버 단절 시간을 평균 6% 감소시킬 수 있다.



(그림 4-4) 각 시스템 별 단말의 MCS 분포: 하향링크

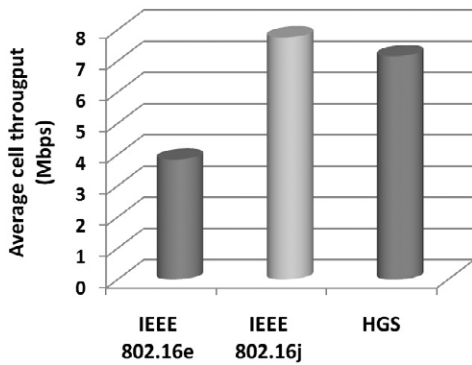
2.2 시스템 평균 수율 및 서비스 불능 성능

(그림 4-4)는 각 셀에 단말을 균일한 분포로 랜덤하게 배치시켰을 때 하향링크 MCS 레벨에 따른 MS들의 분포를 나타낸 것이다. (그림 4-4(a))의 IEEE 802.16e 규격에서는 높은 MCS 레벨을 갖는 MS들이 BS 주변에 주로 분포하며 셀 경계 지역으로 갈수록 서비스 불능 또는 최소의 MCS 레벨(QPSK 변조, $R=1/12$)을 갖는 MS들이 증가함을 알 수 있다. 한편, (그림 4-4(b))의 IEEE 802.16j 규격에서 높은 MCS 레벨을 갖는 MS들은 BS 및 RS 주변에 주로 분포하며 IEEE 802.16e 규격에 비해 서비스 불능 및 최소의 MCS 레벨을 갖는 MS들이 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 BS와 RS 주변뿐 아니라 또 다른 셀 경계인 RS와 RS 주변에서 서비스 불능 및 최소의 MCS 레벨을 갖는 MS들이 증가했기 때문이다. 반면에 (그림 4-4(c))를 통해 HGS에서는 셀 경계에 위치한 MS들의 MCS 레벨이 전체적으로 향상되었음을 알 수 있다. 이러한 이

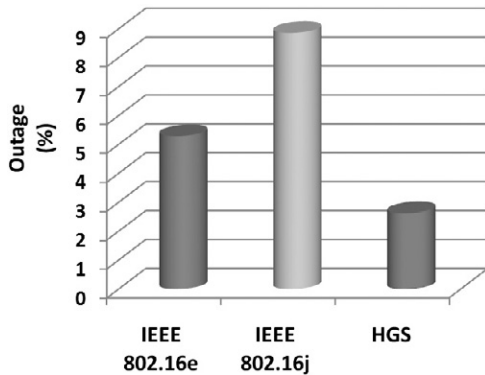
유는 IEEE 802.16e 규격과 비교할 경우, HG가 셀 경계지역에 설치됨으로써 인접 BS들로부터의 간섭을 완화시켜 이 지역의 SINR을 향상시켰기 때문이다.

한편 IEEE 802.16j 규격과 비교할 경우, HG의 도입으로 인접 RS들로부터의 간섭을 완화시켰기 때문이다.

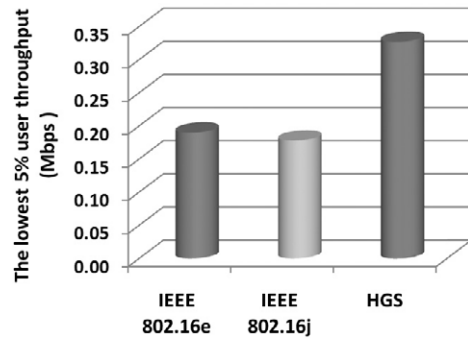
(그림 4-5)는 IEEE 802.16e, IEEE802.16j, 그리고HGS의 하향링크 평균 수율, 서비스 불능률 및 하위 (그림 4-5) 시스템 수율 성능 및 서비스 불능 성능: 하향링크 5% MS들의 평균 수율을 비교한 것이다. 서비스 불능은 시스템에서 지원하는 가장 낮은 전송률(QPSK 변조, $R=1/12$)로 전송할 수 있는 채널 조건이 되지 않아 자원을 할



(a) 평균 수율



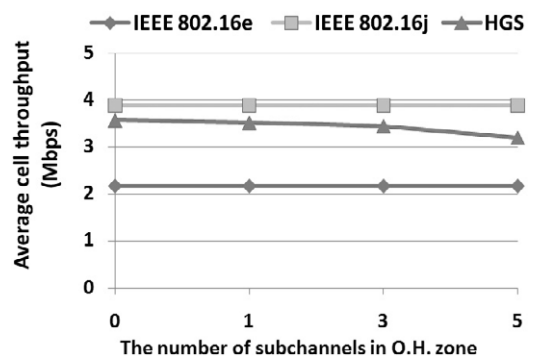
(b) 서비스 불능률



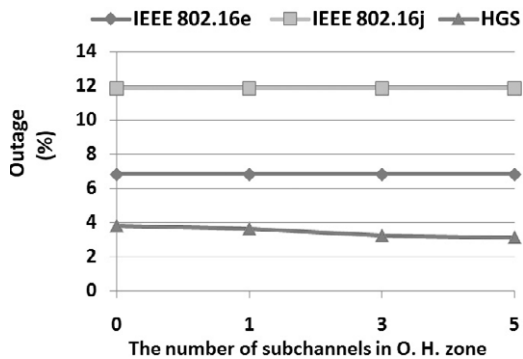
(c) 하위 5% MS들의 평균 수율

(그림 4-5) 시스템 수율 성능 및 서비스 불능 성능: 하향링크

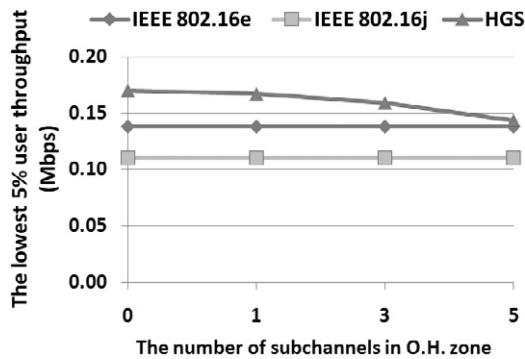
당 받지 못하는 경우와 자원을 할당 받았으나 패킷 수신에 오류가 있는 경우에 발생한다. 하위 5% MS들의 평균 수율은 전체 시스템 평균 수율이 하위 5% 이내인 MS들의 평균 수율을 의미한다. (그림 4-5(a))로부터 평균 수율의 경우 RS를 사용하는 IEEE 802.16j와 HGS의 경우 RS를 사용하지 않는 IEEE802.16e 시스템에 비해 약 2배의 증가가 있음을 알 수 있다. 평균 수율 관점에서 HGS는 IEEE 802.16j에 비해 8.7% 감소가 있으나 (그림 4-5(b))와 (그림 4-5(c))를 통해 서비스 불능률은 6.3% 감소하고 하위 5% MS들의 평균 수율은 93% 향상됨을 알 수 있다. 즉 HGS를 통해 시스템의 평균 수율은 기존 IEEE 802.16j 시



(a) 평균 수율



(b) 서비스 불능률



(c) 하위 5% MS들의 평균 수율

(그림 4-6) 시스템 수율 성능 및 서비스 불능 성능:
상향링크

시스템과 동일하도록 유지하면서 서비스 불능률 및 하위 5% MS들의 평균 수율을 향상시킬 수 있다. 따라서 HGS는 IEEE 802.16j에 비해 셀 커버리지를 확장하는데 효율적이며, 셀 경계에서의 빈번한 핸드오버를 줄이고 핸드오버 메시지가 성공적으로 송수신될 가능성을 높여 핸드오버 단절 시간 및 핸드오버 실패율을 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

(그림 4-6)은 IEEE 802.16e, IEEE802.16j 그리고 HGS의 상향링크 평균 수율, 서비스 불능률 및 하위 5% MS들의 평균 수율을 비교한 것이다.

HGS의 경우 각 BS에서 OH zone으로 사용하는 부채널의 수를 증가시키면서 성능을 비교하였다. 하향링크의 경우에서와 같이 상향링크의 경우에서도 RS를 사용하지 않는 IEEE 802.16e 규격에 비해 RS를 사용하는 IEEE 802.16j와 HGS의 평균 수율이 약 2배정도 증가함을 (그림 4-6(a))를 통해 알 수 있다. 그러나 HGS의 경우 OH zone으로 사용되는 부채널의 수가 증가함에 따라 평균 수율이 감소한다. 이는 HG를 공유하는 BS들끼리 OH zone을 직교하도록 사용하므로 해당 BS가 MS를 위해 액세스 구간으로 사용할 수 있는 자원의 영역이 제한되기 때문이다. 따라서 OH zone의 효율적인 운용을 위해서는 OH zone이 동적으로 할당되어야함을 의미한다. 한편, (그림 4-6(b))를 통해 HGS의 서비스 불능률 성능이 두드러짐을 알 수 있고, (그림 4-6(c))를 통해 5% MS들의 평균 수율도 기존 시스템들에 비해 우수함을 알 수 있다. 그러나 5% MS들의 평균 수율도 (그림 4-6(a))에서와 같이 각 BS가 OH zone으로 사용하는 부채널의 수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있으며, 이는 앞서 언급한 OH zone의 직교적인 할당에 기인한다. 결과적으로 상향링크의 경우, OH zone을 효율적으로 운용함으로써 하향링크에서와 같이 HGS를 통해 셀 커버리지를 확장할 수 있으며, 셀 경계에서의 핸드오버 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 셀 경계에서 단말의 핸드오버 성능을 향상시키기 위한 새로운 형태의 HGS를 제안하고 이를 효율적으로 운용하기 위한 프레임 구조 및 핸드오버 프로토콜을 설계하였다. 제안

하는 HGS를 통해 주파수 재사용을 극대화한 기존 IEEE 802.16j 규격과 유사한 시스템 평균 수율을 유지하면서도 서비스 불능 성능 및 하위 5% 단말들의 수율을 향상시킬 수 있음을 보였다. 또한 셀 경계에서의 빈번한 핸드오버를 줄이고 핸드오버 실패율과 핸드오버 단절 시간을 줄일 수 있음도 보였다. 따라서 HGS는 차세대 이동통신에서 요구하는 끊임 없는 핸드오버를 제공하고 신뢰성이 높은 실시간 서비스를 보장할 수 있는 새로운 형태의 표준 시스템으로서 활용이 가능할 것이다. 향후 연구에서는 HGS의 성능을 극대화하기 위한 방안으로서 HG를 통한 셀간 간섭 완화 및 제어 기법에 대한 연구가 필요하다. 또한 HG를 자율 재구성하여 효율적으로 셀간 부하 관리를 수행할 수 있는 토폴로지 제어에 대한 연구도 고려할 수 있다.

참고문헌

- [1] S. Ahmadi, "An Overview of Next -Generation Mobile WiMAX Technology," IEEE Commun. Magazine, Vol. 47, No. 6, pp. 84-98, June 2009.
- [2] IEEE 802.16 Task Group e (TGe), 2005; <http://wirelessman.org/tge/>
- [3] IEEE 802.16's Relay Task Group, 2008; <http://www.ieee802.org/16/relay/>
- [4] IEEE 802.16 Task Group m (TGm), 2005; <http://wirelessman.org/tgm/>
- [5] <http://www.3gpp.org>
- [6] L. Le and E. Hossain, "Multihop Cellular Networks: Potential Gains, Research Challenges, and a Resource Allocation Frameworks," IEEE Commun. Magazine, Vol. 45, No. 9, pp. 66-73, Sep. 2007.
- [7] S.W. Peters and R.W. Heath, "The Future of WiMAX: Multihop Relaying with IEEE 802.16j," IEEE Commun. Magazine, Vol. 47, No. 1, pp. 104-111, Jan. 2009.
- [8] T.W. Kim, T. Min, and C.G. Kang, "Opportunistic Packet Scheduling Algorithm for Load Balancing in a Multi-hop Relay-Enhanced Cellular OFDMA-TDD System," in proc. of APCC 2008, pp. 1-5, Oct. 2008.
- [9] Report ITU-R M.2134, Requirements Related to Technical Performance for IMT-Advanced Radio Interface(s), 2008.
- [10] B.G. Lee and S. Choi, Mobile WiMAX and Wi-Fi: Broadband Wireless Access and Local Networks, Artech House, 2008.
- [11] R. Hsieh, Z.G. Zhou, and A. Senevirantne, "S-MIP: A Seamless Handoff Architecture for Mobile IP, in proc. of INFOCOM, pp. 1774-1784, Apr. 2003.
- [12] J. Chen, C.C. Wang, and J.D. Lee, "Pre-Coordination Mechanism for Fast Handover in WiMAX Networks," in proc. of the 2nd International Conf. on Wireless Broadband Ultra Wideband Commun., pp. 15-22, Aug. 2007.
- [13] L. Chen, X. Cai, R. Sofia, and Z. Huang, "A Cross-Layer Fast Handover Scheme for Mobile WiMAX," in pro. of VTC 2007, pp. 1578-1582, Oct. 2007.
- [14] J.H. Park, J.J. Son and C.G. Kang, "Improvement of Handover Break Time Performance for Wireless Broadband Access System," in proc. of Wireless Broadband World Forum, Oct. 2007.
- [15] IEEE 802.16e, Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Oct. 2004.
- [16] IEEE 802.16e/03-68, "Enhancement of BS Initiated Handoff Algorithm for 802.16e", Nov. 2003.
- [17] H. Yang, H. Lee, M. Lee, "A Mobility Management Protocol for Multi-hop Relay

Networks," in proc. of IEEE ICACCT pp. 37-42, Feb. 2008.

[18] IEEE 802.16j Multi-hop Relay Specification, Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network Part 16:Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System, Feb. 2008

[19] K.M. Park, H.S. Ryu, C.G. Kang, D.Y. Chang, S.H. Song, J.T. Ihm, "Relay Enhanced Cellular Performance of OFDM-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," EURASIP Journal on Wireless Commun. and Networking (to be published), 2009.

[20] IEEE 802.16j-06/013r3, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)," Feb. 2007.

[21] S. Yun, S.Y. Park, Y. Lee, D. Park, Y. Kim, K. Kim, C.G. Kang, "Hybrid Division Duplex System for Next-Generation Cellular Services," IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. 56, No. 5, pp. 3040-3059, Sep. 2007.

[22] ITU-R Recommendation M.1225, Guidelines for the Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.

[23] IEEE 802.16m-08/004r5, IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD), Jan. 2009.

저자소개



정 의 창 (Euichang Jung)

- Email: justiceckd@korea.ac.kr
- Tel: +82-2-924-7515
- Fax: +82-2-924-7515

- 2008.2: 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
- 2009.3~현재: 고려대학교 전자전기공학과 석사과정
- 주관심분야: 광대역 무선 송/수신기술, 이동통신 시스템 모델링 및 성능 분석



강 충 구 (Chung G. Kang)

- Email: ccgkang@korea.ac.kr
- Tel: +82-2-3290-3236
- Fax: +82-2-3290-3691

- 1987.6: Univ. of California (San Diego), 전자공학과 학사
- 1989.6: Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터 공학과 석사
- 1993.3: Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터 공학과 박사
- 1992.7~1993.6: (미) Aerospace Corp. 연구원
- 1993.6~1994.2: (미) Rockwell International 연구원
- 2000.9~2001.8: (미) Center for Wireless Communication, UCSD 방문 교수
- 1994.3~현재: 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
- 2003.7월~현재: TTA PG05 2.3GHz 휴대인터넷 프로젝트 그룹 부의장/서비스 및 네트워크 실무반 의장
- 2005.1~2005.12: 한국통신학회 이동통신연구회 위원장
- 2006.1~현재: 한국통신학회 (상임)학술이사
- 주관심분야: 광대역 무선 전송 기술 및 매체접근제어 프로토콜 설계/구현, 무선 네트워크(Wireless PAN/LAN/MAN) 제어 프로토콜 설계 및 성능 분석



류 현 석 (Hyun-Seok Ryu)

- Email: kor74ryu@korea.ac.kr
- Tel: +82-2-924-7515
- Fax: +82-2-924-7515

- 1999.8: 고려대학교 전자공학과 학사
- 2006.2: 고려대학교 전파공학과 석사
- 2006.3~현재: 고려대학교 전파공학과 박사과정
- 주관심분야: 광대역 무선 송/수신기술, 이동통신 시스템 모델링 및 성능 분석