

동적인 변조 및 코딩 기술을 이용한 모바일 와이맥스 MBS 중계 시스템

(Mobile WiMAX Relay System with Dynamic Modulation and Coding Scheme for Multicast Broadcast Service)

조 치 현[†] 윤 희 용^{**}
(Chi Hyun Cho) (Hee Young Youn)

요 약 현재 모바일 통신 분야에서 다양한 방송형 서비스에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 이러한 요구에 맞추어 IEEE802.16e 표준의 모바일 WiMAX 시스템은 공유 채널을 사용하는 MBS(Multicast Broadcast Service)를 통해서 많은 사용자들에게 효율적인 서비스를 제공하고 있다. 본 논문에서는 동적인 변조 및 코딩 기법을 중계 시스템에 적용하여 MBS의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 이 방식은 제안하는 MBS 중계 시스템에 동적인 변조 및 코딩 기법을 적용하여 안정적인 높은 전송률을 보장한다. 컴퓨터 시뮬레이터인 NS-2를 이용한 실험 결과는 제안하는 시스템이 고정된 변조 및 코딩 기법을 이용한 기존의 중계 시스템보다 향상된 전송률을 얻을 수 있음을 증명한다.

키워드 : 멀티캐스트 브로드캐스트 서비스, 모바일 멀티 홉 중계 기술, 모바일 와이맥스, 적응 변조 및 부호화

Abstract The demand on various broadcasting services has been greatly increasing in the area of mobile communication. In IEEE802.16e standard and mobile WiMAX, the multicast broadcast service (MBS) uses shared downlink channel for efficiently supporting a number of users. In this paper we propose a dynamic modulation and coding scheme with relay network to enhance the performance of MBS. The proposed approach employs the adaptive modulation and coding scheme for both the base station and relay station to achieve consistently high throughput. The result of computer simulation with NS-2 shows that the throughput and transmission time are significantly improved by using the proposed approach compared to the existing schemes having a fixed modulation level for the RSs.

Key words : Adaptive modulation and coding, Mobile multi-hop relay, Mobile WiMAX, Multicast broadcast

1. 서 론

최근 다양한 방송형 서비스에 대한 요구가 모바일 통신 환경에서 급속하게 증가하고 있다. 생방송, 중계 방

송, 실시간 비디오 서비스 등과 같은 방송형 서비스에서 좋은 품질의 서비스를 제공하기 위해서는 신뢰성과 빠른 전송률이 보장되어야 한다. 이를 위해서는 유선 환경과 같이 충분한 대역폭 등의 시스템 자원이 필요하다. 하지만 모바일 WiMAX와 같은 무선 환경의 시스템은 제한적이며 값비싼 무선 시스템 자원을 사용하기 때문에 서비스가 제한적일 수 밖에 없다[1].

IEEE802.16e 표준 기반[2]의 MBS(Multicast Broadcast Service)[3]는 이러한 문제점을 극복할 수 있는 서비스를 제공하고 있다. MBS는 많은 단말 사용자들(MS)이 공유 채널을 이용하여 제안된 시스템 자원을 효율적으로 사용하는 서비스 기술이다. 하지만 MBS에서도 기지국으로부터 멀리 떨어져 있거나, 특히 셀 경계에 있는 단말 사용자에게는 충분한 품질의 서비스가 제공되지 않을 수 있다는 한계가 있다. 그 이유는 CINR(Carrier

· This research was supported in part by Samsung Electronics.

[†] 학생회원 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과
chcho79@skku.edu

^{**} 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
chcho@ece.skku.ac.kr

논문접수 : 2008년 8월 4일

심사완료 : 2010년 2월 11일

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: 정보통신 제37권 제3호(2010.6)

to Interference and Noise Ratio)이 기지국과의 거리가 멀어질수록 감소하기 때문이며[4], 결국 이로 인한 낮은 데이터 전송률이 서비스 품질을 저하시킨다. 또한 MBS의 전송률은 채널 상태에 따라 크게 영향을 받게 된다. 기존의 MBS 시스템에서는 기지국과 각 단말들 간에 측정된 가장 낮은 CINR을 바탕으로 서비스를 제공하기 때문에 그 전송률이 제한되고 있다. 따라서 MBS는 시스템 자원을 효율적으로 사용함으로써 많은 사용자들에게 동시에 데이터를 전송할 수 있는 유용한 기술이지만, 모든 사용자들에게 충분한 전송률로 안정된 서비스 품질을 보장하기에는 어려움이 따른다.

최근 낮은 전송률에 따른 서비스 품질 저하를 해결하기 위한 많은 연구들이 IEEE802.16j 프로젝트 그룹에 의해서 진행되고 있다. IEEE802.16j 프로젝트 그룹은 중계기(RS)를 이용한 셀 커버리지의 확대와 전송률 및 셀 수용력 향상의 관점에서 MMR(mobile multi-hop relay) 기술[5]의 표준화 작업을 진행 중이다. 셀 커버리지의 확대 측면에서 중계기는 기지국(BS)의 커버리지 범위 안에 배치되어야 하고, 전송률 향상 측면에서는 CINR과 셀 수용력을 증가시킬 수 있는 기지국 커버리지의 절반 이내에 배치되도록 한다.

본 논문에서는 모바일 WiMAX를 기반으로 하는 MBS의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제안한다. 제안하는 방법은 동적인 변조 및 코딩 기법(MCS, Modulation and Coding Scheme)을 적용한 중계 시스템을 이용하여 높은 전송률을 일정하게 유지하여 안정적인 서비스 품질을 보장할 수 있다. 기존의 중계 시스템[6]에서는 기지국만 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기술을 적용시키고 중계기에게는 고정 MCS 레벨을 적용시키고 있다. 하지만 제안하는 시스템은 CQICH(Channel Quality Information channel)를 이용하여 채널 상태를 지속적으로 확인하여 제안하는 동적인 변조 및 코딩 기법을 중계기에게 적용시킨다. 실험을 위해 NS-2[7] 컴퓨터 시뮬레이터를 사용하였으며, 실험을 통하여 기존 MBS 전송 방식보다 제안하는 방법이 전송률과 전송 시간 측면에서 크게 향상되었음을 볼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 MMR 네트워크, MBS, AMC 기술에 대한 관련 연구를 다루며, 3장에서 제안하는 MBS 중계 시스템에 대하여 알아본다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안하는 MBS 중계 시스템의 성능을 보여주고, 마지막으로 5장에서 이 글의 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 Multi-Hop Relay Network(MMR)

현재 IEEE802.16j 프로젝트 그룹은 IEEE802.16 표준

기반의 시스템 상에서 멀티 홉 중계 시스템(MMR)을 이용하여 서비스 커버리지 확장과 데이터 전송률 향상을 위한 연구를 진행하고 있다[8]. 중계기를 통한 서비스 커버리지 확장을 위해서는 IEEE802.16e 표준에서 정의하고 있는 PMP 프레임 구조를 유지하는 중계 기술이 연구되고 있으며, 데이터 전송률 향상을 위해서는 MCS 레벨의 이용을 효율적으로 적용시키는 기술 등이 연구되고 있다.

IEEE 802.16j MMR 기술에서 중계기의 형태는 고정형, 유목형, 이동형 중계기로 구분하고 있다. 첫째, 고정형 중계기(Fixed relay station)는 기지국과 수신이 잘 되지 않는 음영 지역이나 수신 거리를 확장시켜야 하는 위치에 중계기를 고정시켜 사용하는 형태이다. 둘째, 유목형 중계기(Nomadic relay station)는 이벤트 장소처럼 일시적으로 서비스를 받는 사용자들이 모이는 장소에 중계기를 설치하여 시스템 부하를 방지하는 형태이다. 마지막으로 이동형 중계기(Mobile relay station)는 버스나 기차 등에 설치하여 이동 중인 서비스 이용자에게 안정된 서비스를 제공하기 위한 형태이다. 이와 같이 MMR 시스템의 도입을 통해 사용자들은 언제 어디서나 보장된 전송 품질로 서비스를 받을 수 있게 된다. 그림 1은 MMR 네트워크의 기본적인 구조를 보여준다.

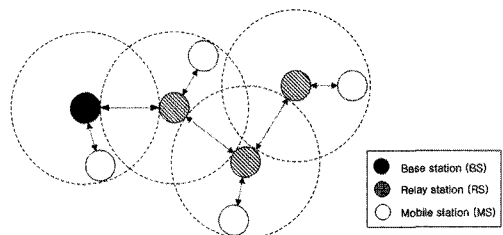


그림 1 MMR 네트워크

MMR 네트워크에서는 시스템 자원을 효율적으로 사용하기 위해 고정 자원 할당 방법에 관한 Fairness 모델을 적용할 수 있다[9]. 이 모델은 전송률을 향상시키기 위해서 사용된다. 이 방법은 이용 가능한 주파수 대역이 충분한 셀과 부족한 셀 사이에 상호 보충 관계가 성립되지 않기 때문에 유니캐스트 방식의 모바일 WiMAX 서비스에서 시스템 자원 사용에 대한 효율성을 떨어뜨릴 수 있다. 하지만 MBS에서는 시스템 자원을 공유하고 MBS에 가입한 그룹 내의 모든 사용자들에게 동일한 데이터를 전송하기 때문에 이 방식이 유용하게 사용될 수 있다.

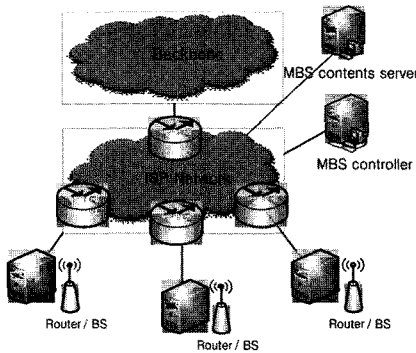
2.2 Multicast Broadcast Service(MBS)

MBS는 시스템 자원을 공유하여 방송형 콘텐츠를 다수의 사용자에게 동시에 서비스해 줄 수 있는 효율적인

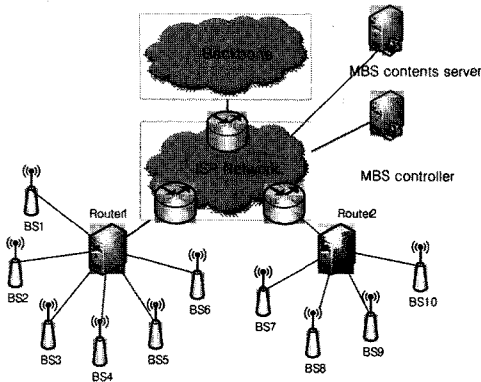
메커니즘이며, 이동성을 보장하는 IEEE 802.16e 표준 문서에 그 개념이 기술되어 있다. 하지만 MBS도 단말의 위치, 이동성, 채널 상태 등에 따라서 전송 품질에 많은 영향을 받게 된다. 현재 MBS에서는 이동 중인 다수의 단말들이 셀 전체 영역에 분포되어 있을 수 있기 때문에 각각의 단말에게 AMC를 적용하기에 어려움이 따른다. 결국 MBS에서는 가장 낮은 MCS 레벨을 고정하여 적용시키고 있다. 이를 극복하기 위해서는 AMC 기술을 사용하여 안정적으로 전송률을 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다.

표 1 접속 방식에 따른 MBS 특징

특징	Single-BS-MBS	Multi-BS-MBS
차이점	하나의 BS에 의한 MBS 구성	다수의 BS에 의한 동기화된 MBS 구성
	MBS zone 없음	MBS zone 있음
	Transport CID 사용	Multicast CID 사용
	Macro-diversity 사용 안함	Macro-diversity 사용
공통점	ARQ 지원 안함	
	Encryption과 Decryption 지원	



(a) Single-BS-MBS



(b) Multi-BS-MBS

그림 2 접속 방식에 따른 MBS 구조

MBS를 지원하기 위한 모바일 WiMAX 시스템은 다양한 정보를 제어하는 MBS 컨트롤러와 인코딩된 MBS 콘텐츠 데이터를 전송하는 MBS 콘텐츠 서버 등이 추가적으로 필요하다. 이러한 MBS는 접속 방식에 따라 Single-BS-MBS와 Multi-BS-MBS 방식으로 설계할 수 있다. 그림 2는 두 접속 방식에 따른 각각의 구조이며, 각각의 접속 방식에서 지원되는 기능들은 표 1에 명시되어 있다.

MBS의 다른 특징으로 MBS Zone을 사용하는데 이는 동기화된 MBS 콘텐츠 데이터를 단말들에게 전송해주는 기지국(BS)들의 그룹이며 단일 주파수 네트워크 운용에 의해 MBS를 지원한다. 또한 여러 MBS Zone 구성도 가능하다. 모바일 WiMAX 시스템은 MAC 계층에서 16bit-CID(connection ID)를 사용하여 해당 단말에게 데이터를 전송할 수 있다. 또한 매크로 다이버시티를 제공하여 수신률 향상뿐 아니라 전력 소비와 간섭을 줄일 수 있다.

2.3 Adaptive Modulation and Coding(AMC)

AMC는 채널 상태에 적합한 MCS 레벨을 선택적으로 운용할 수 있는 기법으로서 전체 시스템 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 또한 각 사용자에 대한 평균 채널 상태를 고려하여 적합한 MCS 레벨을 선택적으로 사용할 수 있는 방식이다. AMC는 수시로 변화하는 채널 상태에 대해 높은 주파수 효율을 보장할 수 있도록 개발된 기법으로서 현재 주요한 무선 통신 시스템의 표준 기술중의 하나이다[10]. 이러한 AMC의 주요한 특징은 채널 상태에 따라 전체 주파수 효율을 적응적으로 변경시킬 수 있도록 프레임들마다 MCS 레벨을 동적으로 선택할 수 있다는 것이다. 이러한 동작을 위해 단말은 기지국에게 채널로 전송 되는 프레임에 대한 피드백 정보를 전송함으로써 적합한 MCS 레벨을 선택할 수 있다.

모바일 WiMAX는 채널 상태에 따라 변경할 수 있는 다양한 종류의 MCS 레벨을 지원한다. 이때 단말은 기지국에게 다운링크 채널의 품질에 관한 피드백 정보를 CQI(channel quality indicator)를 통해 제공한다. 업 링크 채널 품질에 대해서는 기지국이 받은 시그널을 통해서 그 채널 상태를 측정한다. 이렇게 하여 AMC 스케줄러는 업 링크와 다운링크의 채널 품질을 고려하여 MCS 레벨을 선택한다. 다운링크 채널에서 모바일 WiMAX 시스템은 3가지 종류의 QPSK, 16QAM, 64QAM 변조 기법을 사용한다. 이는 부호화 기법과 함께 MCS 레벨로 사용 되는데 채널상태에 따라 이 레벨을 변경하여 줌으로서 향상된 데이터 전송률을 얻을 수 있다.

모바일 WiMAX 시스템에서 같은 위치에 있는 사용자들은 동일한 MCS 레벨을 사용하며 사용자가 기지국으로부터 멀어져 채널 상태가 나빠질수록 낮은 MCS

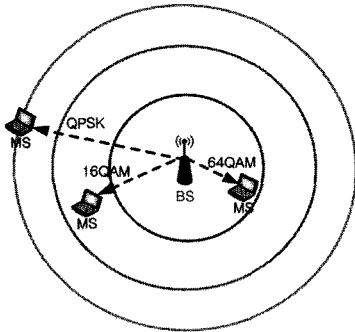


그림 3 위치에 따른 MCS 레벨 적용 범위

레벨을 이용하게 된다. 수신 상태의 점검은 CQICH를 통하여 단말로부터 채널 상태를 보고 받아 이루어진다. 이는 CQICH control IE를 사용하는 단말에게 할당되며, 다운로드 CINR(carrier-to-interference-plus-noise ratio)을 보고하여 다이버시티 서브 채널이나 밴드 AMC 서브 채널을 사용한다[11]. 이로 인해 데이터 수신률은 유지할 수 있지만 전송률은 떨어지게 된다. 그림 3은 셀 위치에 따른 MCS 레벨의 적용 범위를 보여준다.

모바일 WiMAX의 AMC 기술은 수신 측이 현재 채널의 MCS 레벨과 CINR을 바탕으로 데이터를 수신 받기 원하는 MCS 레벨을 요구하는 방식이다. 하지만 이러한 동작 방식에서는 MCS 레벨의 CINR 측정 만으로 현재 채널에 가장 적합한 MCS 레벨을 찾을 수가 없다. 그 이유는 기존의 AMC 기술에서는 측정된 CINR로부터 MCS 레벨을 상대적으로 높이거나 낮추는 동작은 가능하지만, 최적의 MCS 레벨을 한번의 동작으로 결정하는 데에는 어려움이 따르기 때문이다. 또한 다수의 사용자가 동시에 MBS 데이터를 수신하는 환경에서 안정적인 서비스를 제공하는 것 또한 불가능하다.

3. 제안하는 MBS 중계 시스템

이 장에서는 제안하는 동적인 변조 및 코딩 기법을 이용한 MBS 중계 시스템을 소개한다. 제안하는 시스템은 그림 4와 같이 기존의 IEEE802.16e 기반의 모바일 WiMAX 네트워크에 중계기를 도입하고, 다운로드의 주파수 효율을 향상시킬 수 있도록 MCS 레벨의 동적인 선택 기법을 적용시킨다.

3.1 동작 기술

제안하는 시스템에서 중계기는 기지국의 모든 MCS 레벨에 의해 안정적으로 데이터를 전송 받을 수 있는 거리에 고정하여 위치하게 된다. 기지국은 최대 전송률을 보장하는 AMC 기법을 사용하여 채널 상태에 따라 적절한 MCS 레벨을 선택할 수 있고, 중계기는 단말들에게 MBS 데이터를 안정적으로 전송 할 수 있도록 제

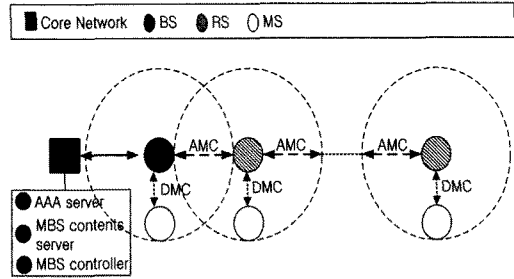


그림 4 제안하는 MBS 중계 시스템 구조

안하는 동적인 변조 및 코딩(DMC) 기법을 이용하여 MCS 레벨을 결정한다. 이를 위해서는 중계기를 통하여 상호 정보교환이 가능한 구조로 연결되고 자신의 무선 채널 상태를 중계하여 기지국에게 보고할 수 있어야 한다. 제안하는 MBS 중계 시스템 도입의 주요한 목적은 MBS 데이터 전송 시 고정된 MCS 레벨 사용으로부터 야기되는 문제를 극복하여 셀 경계에 위치한 단말들까지도 성공적인 데이터 수신을 보장하는 것이다. 그리하여 기존의 MBS 데이터 전송과정에서 발생하는 낮은 데이터 전송률을 향상시킬 뿐 아니라 안정적으로 데이터 전송률을 유지함으로써 좋은 품질의 서비스를 제공하게 된다.

제안하는 시스템에서 동적인 MCS 레벨 선택은 전송률과 주파수 효율의 계산에 의해 결정되며 MBS의 QoS를 보장한다.

시스템은 먼저 최적의 MCS 레벨을 결정하기 위해 6개의 MCS 레벨(QPSK1/2, QPSK3/4, 16QAM1/2, 16QAM3/4, 64QAM2/3, 64QAM3/4)로 측정 패킷들을 전송시킨다. 이 패킷들을 받은 중계기는 각각의 레벨에 의한 품질을 기지국에게 보고한다. 이 응답을 통하여 기지국에서는 AMC 테이블을 작성하는데 그 내용은 현재 무선 채널 상태의 MCS 레벨과 그에 따른 전송률 그리고 현재 채널상의 주파수 효율이다. 이 테이블에 있는 6개의 레벨 중에서 가장 주파수 효율이 높은 레벨이 기지국에서 MBS 데이터 전송에 사용된다. 이는 현재 채널 상태에 가장 적합한 MCS 레벨을 결정하기 위한 방안으로서 기지국에서 사용되며 측정을 위해서만 동일한 패킷을 다른 MCS 레벨로 한번씩 전송하고, 그 품질을 보고 받음으로써 한번의 동작으로 최적의 MCS 레벨을 결정할 수 있다.

하지만 이때 결정된 레벨은 테이블 갱신이 발생할 때 다른 레벨로 바뀔 수 있다. 주기적인 보고에 의해 채널 상태에 따라 측정된 주파수 효율이 현재 사용 중이었던 다른 MCS 레벨의 주파수 효율보다 낮아질 경우 테이블 갱신을 해야 한다. 이를 위해 변경된 채널 상태에서 최적의 MCS 레벨을 파악하기 위하여 6개의 레벨에 따른 패킷들을 다시 전송시키고 최적의 MCS 레벨

이 결정되면 AMC 테이블 갱신 작업을 하게 된다.

이와 같이 갱신 작업이 끝난 AMC 테이블을 바탕으로 안정적인 데이터 전송률이 유지되도록 하기 위해 주파수 효율을 계산한 후 결정된 MCS 레벨을 DMC (Dynamic Modulation and Coding) 테이블에 갱신한 후, 중계기는 이 MCS 레벨을 사용하여 MBS 데이터를 전송하게 된다. 결국 동적인 변조 및 코딩 기법을 통해서 MBS는 빠른 전송 서비스와 함께 QoS를 보장할 수 있게 된다.

테이블이 갱신된 이후 기지국은 MCS 레벨을 변경시킬 중계기에게 MCS 제어 메시지(MCS Control Message)를 보낸다. MCS 제어 메시지는 중계기에게 적용되는 MCS 레벨을 변경시켜야 할 경우, 그 중계기에게 변경될 MCS 레벨 정보를 알려주는 역할을 한다. 이 메시지를 받은 중계기는 변경될 MCS 레벨로 데이터를 받을 준비를 하게 되며, 기지국은 변경될 MCS로 데이터를 전송하게 된다. 변경된 MCS 레벨을 통한 MBS 데이터 전송은 다시 테이블 갱신이 발생하기 전까지 지속된다.

MBS를 제공받는 여러 단말들은 동시에 채널 상태를 기지국에게 보고할 수 있다. 하지만 멀티캐스트 또는 브로드캐스트 방식에 의해 데이터가 전송되는 모든 단말들에게 채널 상태에 맞는 MCS 레벨을 선택하여 데이터를 전송하기란 불가능하다. 따라서 제안하는 시스템을 통하여 기지국과 중계기간 전송에는 가장 빠른 전송률을 보장하고, 중계기와 단말들간의 전송에서는 안정된 전송 품질을 유지하도록 한다. 예를 들어 기지국과 중계기간 채널 상태가 달라져서 기지국의 MCS 레벨이 변경된다면 기존의 전송률을 일정하게 유지시키기 위해 중계기의 MCS 레벨은 주파수 효율에 맞춰 동적으로 바뀌게 된다. 이러한 방법을 통해서 생방송, 중계방송, VoD 시청과 같이 QoS가 보장되어야 하는 MBS에 대해 단말들은 기존의 MBS 데이터 전송률보다 향상된 전송률을 보장받을 수 있을 뿐 아니라 안정적인 서비스를 제공할 수 있다. 그림 5는 제안하는 방법의 동작에 관한 절차를 보여준다.

3.2 기술 분석

제안하는 MBS 중계 시스템을 통해 전송률 향상을 위한 모델을 위해서는 멀티캐스트와 브로드캐스트의 특징을 고려할 필요가 있다. 중계기는 트래픽을 중계할 수 있는 기능과 사용자의 접속과 제어 및 관리 메시지의 송수신을 지원할 수 있는 기능을 가지고 있다. 기지국은 MBS를 수신하는 모든 단말에게 동일한 전송률로 데이터를 전송시킨다.

OB는 그림 4에서 보여주는 네트워크 구조에서 전체 시스템 대역폭을 나타낸다. 중계기의 개수는 n개로 구성하며 RB_i는 i-1번째 중계기와 i번째 중계기 사이의 대

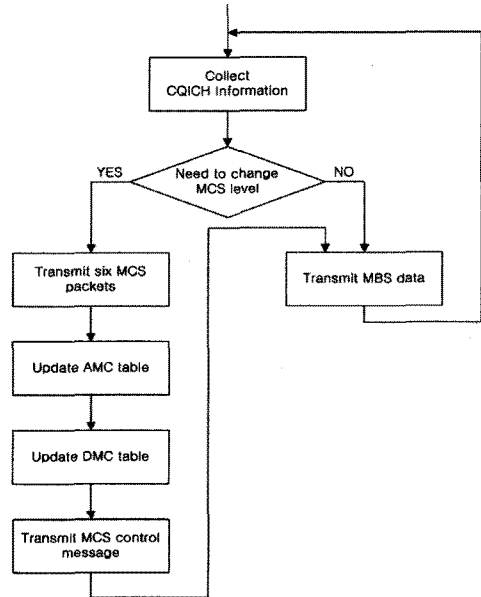


그림 5 제안하는 MBS 동작 흐름도

역폭을 나타낸다. 단, RB₀는 기지국과 첫 번째 중계기 사이의 대역폭을 의미한다. MB는 기지국 또는 중계기와 단말들과의 대역폭을 나타내지만 MBS에서는 하나의 주파수 대역을 공유하기 때문에 단말의 수와 무관하게 일정한 대역폭을 사용한다. 여기서 MBS를 위한 전체 대역폭(OB)은 식 (1)에서 보여주는 관계식으로 표현될 수 있다.

$$OB = \sum_{i=0}^{n-1} RB_i + MB. \tag{1}$$

무선 네트워크 시스템에서 주파수 효율은 사용되는 대역폭으로 전송될 수 있는 최대 데이터 량을 의미하며, 그 값은 bit/s/Hz로 계산된다. 현재 주파수 효율은 기지국에서 중계기로 전송된 패킷들에 의해 계산될 수 있으며 이는 현재 채널 상태를 측정하기 위해 사용된다. MBS를 위한 중계 시스템에서 중계기 대역폭(RB_i)과 단말 대역폭(MB)은 각각 식 (2), (3)과 같은 관계식으로 표현될 수 있다. 여기서 RE_i는 i번째 중계기의 현재 주파수 효율이며, ME는 단말의 현재 주파수 효율을 나타낸다.

$$RB_i = \frac{OB}{\frac{1}{ME} + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{RE_i}} \times \frac{1}{RE_i}, \tag{2}$$

$$MB = \frac{OB}{\frac{1}{ME} + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{RE_i}} \times \frac{1}{ME}. \tag{3}$$

식 (2), (3)으로부터 전체 시스템의 MBS의 전송률은 식 (4)와 같이 계산할 수 있다. 여기서 시스템에 의해서 QoS를 보장하도록 결정되는 MBS 전송률은 대역폭과 현재 주파수 효율에 의해 표현된다.

$$MBS_{thr} = \left(\sum_{i=0}^{n-1} RB_i + MB \right) \times \left(\frac{1}{ME} + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{RE_i} \right)^{-1} \quad (4)$$

이때 n 홉 중계 시스템에서 고정 주파수 할당 기법[9]을 이용한 주파수 효율은 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$RE = \left(\sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{RE_i} \right)^{-1} \quad (5)$$

위 관계식에서 RE 는 전체 중계기의 주파수 효율이며, RE_i 는 중계기에서 측정되어 기지국으로 보고되는 현재 주파수 효율이다. 이는 중계기에서 MBS 데이터 전송에 사용할 적절한 MCS 레벨을 결정하기 위해 이용된다. 그리고 이 관계식으로부터 MBS 데이터 전송률과 주파수 효율의 관계를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$MBS_{thr} \propto (ME + RE) \quad (6)$$

식 (6)은 일정한 MBS 전송률을 유지할 때 QoS를 보장하기 위한 ME 와 RE 의 관계를 보여준다. 제안하는 MBS 중계 시스템에서 전체 대역폭은 고정되지만, 중계기와 단말의 현재 주파수 효율은 MBS의 전송률을 제어할 수 있는 요소로 사용된다. 일반적으로 MCS 레벨이 커질수록 높은 전송률로 높은 주파수 효율을 제공하지만 항상 높은 전송 품질을 보장하는 것은 아니다. 높은 주파수 효율을 지원하는 MCS 레벨일수록 무선 채널 상태에 쉽게 영향을 받기 때문이다. 따라서 MBS의 높은 전송률을 위한 MCS 레벨을 결정하기 위해서는 현재 채널 상태에서의 높은 주파수 효율이 필요하며, MBS의 안정적인 전송률을 위한 MCS 레벨을 결정하기 위해서는 단말과 중계기에서의 주파수 효율 관계를 통해 특정 전송률을 유지하도록 결정해야 한다.

4. 실험

제안하는 MBS 중계 시스템과 기존의 MBS 시스템에서의 데이터 전송 효율에 관한 성능을 평가하기 위해 IEEE 802.16j MMR 프로젝트 그룹에서 연구되고 있는 기술과 IEEE 802.16e 표준을 기반으로 한 모바일 WiMAX 시스템을 기반으로 컴퓨터 시뮬레이터인 NS-2(Network Simulator 2) 버전 2.29를 이용하여 실험하였다. 또한 MBS 성능 향상을 위한 중계기의 형태는 고정형 중계기(Fixed Relay Station)를 도입하였다.

그림 6은 단말이 다운링크 채널을 통해 MBS 데이터를 전송 받기 위한 실험 환경을 보여준다.

첫 번째 구성은 기존의 중계기가 없는 MBS 시스템

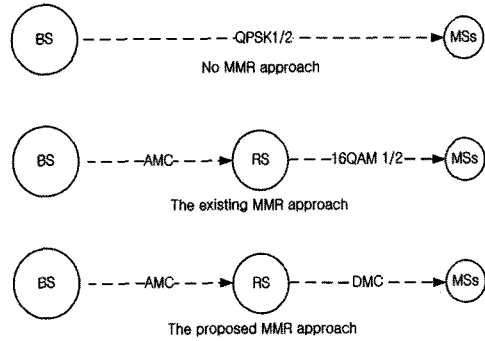


그림 6 실험에 사용된 MBS 시스템 환경

에서 실험하기 위한 환경이고, 두 번째 구성은 기존의 MBS 중계 시스템에서 기지국과 중계기간에만 AMC 기법을 적용하여 데이터 전송을 실험하기 위한 환경이다. 그리고 마지막 구성은 제안하는 MBS 중계시스템으로서 기지국에서 AMC 기법을 이용하고 중계기에서는 DMC 기법을 이용하여 실험하기 위한 환경이다. 첫 번째 그림에서 보이는 기존의 MBS 시스템에서 사용되는 MCS 레벨이 QPSK1/2로 사용되는 이유는 단말의 위치와 상관없이 안정적인 데이터 전송을 하기 위한 선택이지만 전송률이 낮다는 단점을 가지고 있다. 하지만 두 번째 그림에서 중계기를 통한 커버리지의 이득으로 인해 MCS 레벨을 선택적으로 사용할 수 있다는 장점을 활용하여 보다 높은 전송률을 얻을 수 있고, 마지막 그림의 DMC 기법을 이용하여 안정적인 데이터 전송률을 보장할 수 있다.

실험을 위해 시스템 구성은 1개의 기지국과 1개의 중계기 그리고 20개의 단말들로 구성되며, 단말들은 두 그룹으로 나뉜다. 한 그룹은 MBS에 참여하는 10개의 단말들로 구성되며 나머지는 각각 개인적인 서비스를 받고 있는 단말들의 그룹이다. 실험에서 중계기와 기지국 간의 거리는 시스템이 최고 MCS 레벨인 64QAM3/4을 이용하여 데이터를 안정적으로 전송할 수 있는 거리인 500으로 설정하였다. 또한 기지국과 중계기는 그 위치에 고정되도록 설계하였고 단말들은 1000 × 1000 영역에서 이동하도록 하였다.

실험의 Sink Node에서 시작한 CBR 트래픽은 MBS 채널을 통하여 MBS 그룹에 전송되며 사용된 시스템 설정 값들은 표 2와 같다. 여기서 Sink Node는 MBS 콘텐츠 서버와 대응되며 CBR 트래픽은 MBS 트래픽과 대응된다.

실험에서 기지국은 MBS 데이터를 전송하기 전에 MCS 레벨을 초기화 하는데, 기지국은 이를 위해 6개의 MCS 레벨 패킷들을 각각 전송시켜 중계기의 채널 상태 정보를 수집하고, 이 결과를 표 3과 같이 MCS 테이블로 작성한다.

표 2 실험에 사용된 시스템 파라미터

파라미터	값
System Frequency	3.5GHz
System bandwidth	7MHz
RTG	20us
TTG	20us
Frame duration	5ms
Channel bit rate	15Mbps
Routing protocol	DSDV
Wireless MAC	IEEE802.16e
RS frame structure	Transparent relay
Modulation and coding	QPSK1/2,QPSK3/4,16QAM1/2,16QAM3/4,64QAM2/3,4QAM3/4

표 3 MCS 테이블

MCS 레벨	전송률	주파수 효율
QPSK1/2	1210.65	0.17
QPSK3/4	2711.11	0.38
16QAM1/2	4415.14	0.63
16QAM3/4	7894.16	1.12
64QAM2/3	11068.7	1.58
64QAM3/4	12843.1	1.83

표 4 DMC 테이블

현재 RS 주파수 효율	요구되는 MS 주파수 효율	MCS 레벨
0.17	Maximum	64QAM3/4
0.38	Maximum	64QAM3/4
0.63	1.33	64QAM2/3
1.12	0.69	16QAM3/4
1.58	0.58	16QAM1/2
1.83	0.55	16QAM1/2

이때 중계기에서 측정된 전송률을 채널 대역폭으로 나누어 현재 중계기의 주파수 효율을 구하게 되며, 이는 기지국에서 사용한 최적의 MCS 레벨을 결정하는데 사용된다. 또한 이를 이용하여 단말로 보내지는 데이터의 안정성을 보장하기 위한 단말의 주파수 효율을 구할 수 있다. 단말의 주파수 효율은 식 (4)에 의해 구해질 수 있으며, 이 결과를 표 4와 같이 DMC 테이블로 작성한다.

이 표에서 'Maximum' 값은 현재 중계기의 주파수 효율이 OB/MBS_{thr} 보다 더 낮을 경우에 사용되며, 이때 선택되는 MCS 레벨은 최고 레벨인 64QAM3/4이 된다. 이는 현재 중계기로의 전송률이 QoS를 보장하기 위해 일정 수준을 유지해야 하는 전송률보다 낮기 때문이다. 예를 들어, 64QAM3/4 레벨은 현재 전송률 12843.1 Kbps을 채널 대역폭 7MHz로 나눈 주파수 효율 1.83과 대응하고 있다. 여기서 기지국은 중계기에게 데이터를 전송할 때 64QAM3/4을 사용할 수 있으며 가장 빠른

전송률을 얻게 된다. 또한 중계기는 단말에게 전체 MBS 데이터 전송률을 일정하게 유지하는 주파수 효율을 보장하는 16QAM1/2을 사용한다. 이것은 MBS의 QoS를 보장하도록 미리 정해놓은 데이터 전송률을 유지하기 위한 방법이다. 만약 전송 과정 중에 채널 상태가 변하여 측정된 주파수 효율이 0.4로 낮아질 경우, MCS 레벨이 변경 될 수 있으며 최적의 레벨을 결정하기 위해 현재 주파수 효율을 다시 측정하게 된다. 이때 다시 6개의 MCS 레벨의 패킷들을 전송시켜 MCS 테이블을 갱신한다. 갱신된 테이블에 의해서 다시 가장 주파수 효율이 높은 MCS 레벨을 결정하고 안정적인 전송률을 보장하도록 MBS 데이터를 전송한다.

그림 7은 제안하는 MBS 중계 시스템(Proposed), 기존의 MBS 중계 시스템(Existing), 그리고 중계기를 사용하지 않은 MBS 시스템(No MMR)에서의 시간에 따른 데이터 전송률에 대한 실험 결과를 보여준다.

이 결과에서 세 시스템들의 평균 전송률은 각각 3817Kbps, 2759Kbps와 889Kbps이다. 이는 제안하는 MBS 중계 시스템의 성능이 기존의 MBS 시스템보다 약 3배 정도 향상되었으며, 기존의 중계 시스템보다는 38% 정도 향상되었음을 보여준다.

그림 8은 각각의 시스템에서 MBS 데이터 크기에 따라 전송이 완료된 시간을 비교한 것이다.

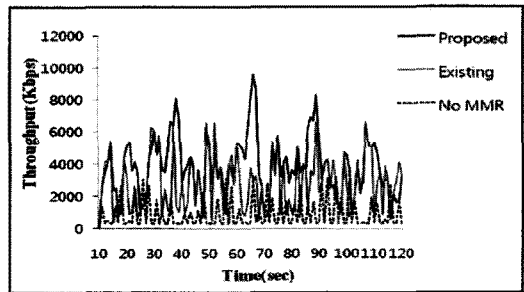


그림 7 MBS 시스템에 따른 전송률 비교

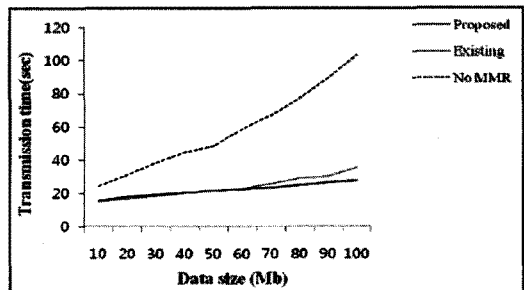


그림 8 MBS 데이터 크기에 따른 전송 시간 비교

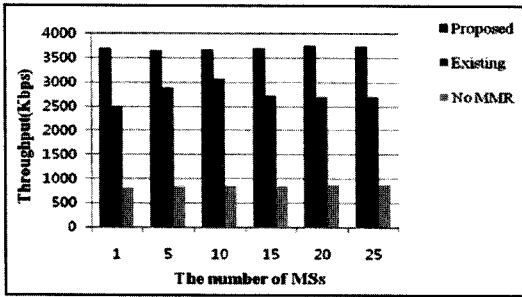


그림 9 사용자 수에 따른 평균 전송률 비교

이 결과에서 제안하는 MBS 중계 시스템은 기존의 중계 시스템보다 60Mb 이상의 데이터 전송에 대해 더 짧은 전송 시간을 보이고 있다. 또한 기존의 중계기를 사용하지 않은 MBS 시스템에 비해서 데이터의 크기가 커질수록 전송이 완료된 시간의 간격이 크게 증가함을 볼 수 있다. 이 간격의 증가는 동일한 크기의 데이터를 전송할 때 측정된 결과로서, 제안하는 MBS 중계 시스템이 기존의 MBS 시스템 보다 높은 전송 효율을 얻을 수 있음을 보여준다. 또한 제안하는 시스템에서 데이터 크기에 무관하게 거의 일정한 전송률을 볼 수 있는데, 이는 안정적인 MBS 데이터 전송을 보장한다는 것을 의미한다.

그림 9는 동일한 MBS 데이터를 전송시켰을 경우, 단말 수의 증가에 따라 전송률을 비교한 것이다. 세 시스템 모두 단말의 수와 상관없이 전송률이 일정한 결과를 보이지만 특히 제안하는 MBS 중계 시스템에서의 전송률이 더 높고 일정함을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 중계 시스템의 도입과 함께 제안하는 동적인 변조 및 코딩 기법을 이용하여 MBS 성능 향상 방안을 제안한다. 제안하는 MBS 중계 시스템은 CQICH를 사용하여 중계 노드의 무선 채널 상태에 따른 현재 주파수 효율을 파악하고 최적의 MCS 레벨을 선택하게 함으로서 다운링크 상에서 향상된 MBS 데이터 서비스를 제공할 수 있다. 또한 안정적인 MBS 데이터 전송률을 유지하기 위해 중계기와 단말간에 제안하는 동적 변조 및 코딩 기법을 사용한다. 이것은 방송형 서비스에서 QoS를 보장하기 위해 중요한 연구이다. 컴퓨터 시뮬레이터 NS-2를 이용한 실험의 결과는 제안하는 MBS 중계 시스템의 성능이 기존의 MBS 시스템들보다 크게 향상되었음을 보여준다. 따라서 모바일 WiMAX의 MBS와 MMR 네트워크 기술이 실용화 되는 시점에서 제안하는 MBS 중계 시스템은 중요한 이슈가 될 것이다. 향후 연구 분야는 MBS 데이터 전송 품질 향상을 위한 시스템 자원의 효율적인 사용 방안이 될 것이다.

참고 문헌

- [1] R. Srinivasan, S. Timiri, A. Davydov and A. Papathanassiou, "Downlink Spectral Efficiency of Mobile WiMAX," in *Proc. VTC2007-Spring, IEEE 65th*, pp. 2786-2790, Apr. 2007.
- [2] IEEE, IEEE Std 802.16e-2005, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1, Feb. 2006.
- [3] T. Jiang, W. Xiang, H. Chen and Q. Ni, "Multicast Broadcast Services Support in OFDMA-Based WiMAX Systems," *IEEE Communications Magazine*, vol.45, no.8, pp.78-86, Aug. 2007.
- [4] C. Hoymann, M. Dittlich, and S. Goebbels, "Dimensioning Cellular Multihop WiMAX Networks," in *Proc. IEEE Mobile WiMAX*, pp.150-157, Mar. 2007.
- [5] C. Hoymann, K. Klagges, and M. Schinnenburg, "Multihop Communication in Relay Enhanced IEEE 802.16 Networks," in *Proc. the 17th IEEE PIMRC*, Helsinki, Finland, pp.1-4, Sep. 2006.
- [6] Chi Hyun Cho, Kyung Tae Kim, and Hee Yong Youn, "Mobile multi-hop relay system using AMC for multicast broadcast service over mobile WiMAX," in *Proc. WTS 2008*, Pomona, pp.46-52, Apr. 2008.
- [7] The network simulator-ns-2: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [8] Tao. Z, Koon, Teo K.H and Zhang. J, "Aggregation and Concatenation in IEEE 802.16j Mobile Multihop Relay (MMR) Networks," in *Proc. IEEE Mobile WiMAX Symposium*, pp.85-90, Mar. 2007.
- [9] Erwu. L, Dongyao. W, Jimin. L, Shen Gang and Jin Shan, "Performance Evaluation of Bandwidth Allocation in 802.16j Mobile Multi-hop Relay networks," in *Proc. VTC2007-Spring, IEEE 65th*, pp.939-943, Apr. 2007.
- [10] Motorola, Nokia, Texas Instruments, Altera, and Philips Semiconductors, "XTREME Physical Specification for Integrated Data and Voice Services in cdma2000 Spread Spectrum Systems," 3GPP2, C50-200010611-013R1, Jun. 2001.
- [11] Taesoo. K, Howon. L, Sik. C, Juyeop. K and Dong-ho. C, "Design and Implementation of a Simulator Based on a Cross-Layer Protocol between MAC and PHY Layers in a WiBro Compatible IEEE 802.16e OFDMA System," *IEEE Communications Magazine*, vol.43, no.12, pp.136-146, Dec. 2005.



조 치 현

2007년 성균관대학교 정보통신공학부(학사). 2009년 성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학과(석사). 관심분야는 무선 네트워크, 모바일 IPTV, 모바일 컴퓨팅



윤 회 용

1977년 서울대학교 전기공학과(학사). 1979년 서울대학교 전기공학과(석사). 1988년 Univ. of Massachusetts at Amherst 컴퓨터공학과(박사). 1988년~1991년 Univ. of North Texas. 조교수 1991년~1999년 Univ. of Texas. At Arlington 부교수. 1999년~2000년 ICU 교수. 2000년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수 및 유비쿼터스 컴퓨팅기술연구소 소장. 관심분야는 모바일컴퓨팅, 분산처리, 유비쿼터스컴퓨팅