

IEEE 802.16j 네트워크에서 공정성 및 시스템 전송률의 향상을 위한 간섭 소거 기법

An Interference Cancellation Scheme to Enhance System Throughput and Fairness for IEEE 802.16j Networks

신봉걸 장주욱

Bong Keol Shin Ju Wook Jang

서강대학교 전자공학과 전공, 서울 마포구 신수동 121-742

* 서강대학교 실시간 인터넷 연구실

(010-6478-3475 sba@ecca1.sogang.ac.kr jjang@sogang.ac.kr)

Abstract

The co-channel interference within the cell due to frequency reuse decreases system throughput as well as fairness among MSs. In this paper, we propose a new transmission scheme which mitigates the interference suffered by MSs located on the border between two neighboring service stations (BS or RS). Our scheme enhances the SINR of MSs which otherwise have low MCS levels, hence improving fairness as well as system throughput.

Keywords : IEEE 802.16j, Fairness, Interference cancellation

1. 서론

최근 BS(Base Station)의 셀 경계에 있거나 전파 음영 지역에 있는 MS(Mobile Station)들의 전송률을 향상시키고 셀 커버리지를 확장시키는 것을 목적으로 IEEE 802.16 시스템에 RS(Relay Station)를 도입한 연구가 많이 진행되고 있다. IEEE 802.16j 네트워크[1]에서 RS는 액세스 구간에서 BS와 같은 주파수를 재사용함으로써 셀 용량을 증대시킬 수 있다.

하지만 <그림 1>과 같이 RS가 주파수를 재사용하는 경우, BS와 RS 등과 같은 서비스 스테이션들의 커버리지 경계에 위치한 MS들은 동일 채널 간섭이 심하기 때문에 낮은 MCS level을 가지게 되거나 심지어 서비스 불능에 빠지게 된다. 주파수의 재사용으로 인한 셀 내 동일 채널 간섭은 MS의 공정성을 크게 떨어뜨릴 뿐 아니라 시스템 전송률의 저하를 야기한다. 반대로 주파수를 재사용하지 않는 주파수 직교 할당 방식을 사용할 경우 RS는 BS와 다른 주파수 대역을 사용하기 때문에 셀 내 동일 채널 간섭문제가 발생하지 않지만 BS와 RS가 전체 주파수 대역을 서로 분할하여 나누어 사용하기 때문에 주파수를 재사용하는 중첩 할당 방식에 비하여 시스템 전송률 측면에서 효율이 매우 떨어진다. 즉, 시스템 전송률과 공정성은 서로 트레이드 오프 관계에 있다.

본 논문에서는 BS와 RS와 같은 서비스 스테이션들의 커버리지 경계에 위치하여 간섭의 영향을 크게 받기 때문에 낮은 MCS level을 가지는 MS들을 따로 간섭 소거 대상으로 분류하여 제안 간섭 소거 기법에 의해 SINR 값을 향상시켜 준다. MS의 SINR 값이 증가됨에 따라 MCS level 또한 증가되어 더 높은 bit rate를 가지는 변조 방식을 사용할 수 있기 때문에 공정성을 높이면서도 시스템 전송률을 향상시킬 수 있다.

본 논문 2절에서는 공정성과 시스템 전송률을 모두 증가시킬 수 있는 간섭 소거 기법을 제안하고, 3절에서는 시뮬레이션 결과를 통해 기존 연구와의 성능을 비교·분석한다. 마지막으로 4절에서는 이전의 분석을 토대로 결론을 기술하였다.

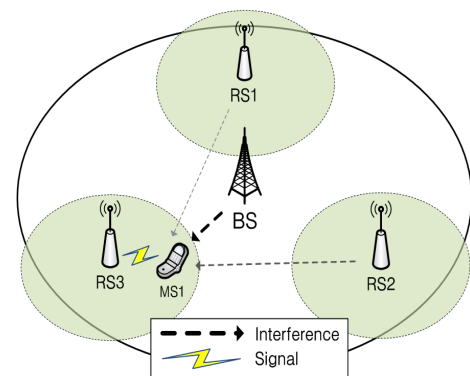


그림 1. 주파수 재사용에 따른 동일 채널 간섭

“이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2010-001588)”

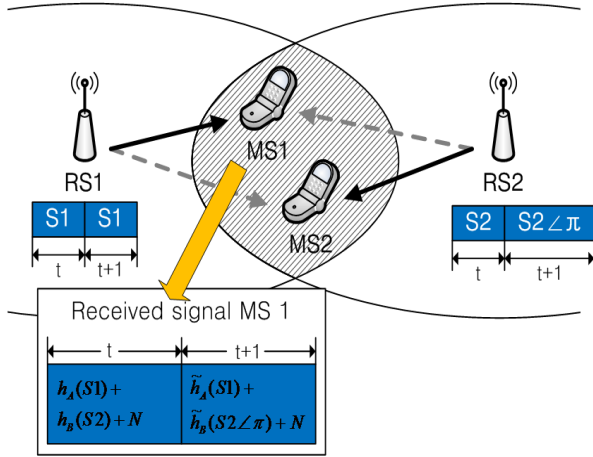


그림 2.2-간섭 구역에서의 간섭 소거 기법

2. 제안 간섭 소거 기법

우리는 BS 와 RS 와 같은 서비스 스테이션들의 커버리지 경계, 즉 여러 서비스 스테이션으로부터 받게 되는 신호들의 세기가 비슷한 지역에 위치한 MS 들의 SINR 값을 향상시킴으로써 전송률을 향상시킬 수 있는 간섭 소거 기법을 제안한다. IEEE 802.16j 시스템에서는 MS 의 SINR 값에 따라 적합한 변조 방식을 택하는 AMC(Adaptive Modulation Coding) 기법을 사용하고 있다. 여기서 SINR 은 잡음 신호 N 과 간섭 신호 $I = \sum_i I_i$ 를 합한 신호의 세기 대비 서비스 받는 RS 또는 BS 로부터 받고자 하는 신호 세기의 비율을 말하며 따라서 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR = \frac{S}{I + N} \quad (1)$$

이와 같이 주파수 중첩 할당 방식에서 MS 가 서비스 받는 스테이션 이외의 신호들은 모두 간섭 신호로 작용하기 때문에 서비스 스테이션들의 커버리지 경계에 위치한 MS 들의 SINR 값은 매우 낮다.

하나의 BS 에 3 개의 RS 가 배치되어 있는 토폴로지를 기반으로 <그림 2>와 같이 두 서비스 스테이션의 커버리지 경계에 위치한 MS 들은 자신이 서비스 받는 신호의 세기와 다른 하나의 서비스 스테이션으로부터 받게 되는 간섭 신호의 세기가 비슷하기 때문에 간섭의 영향이 매우 크다. 간섭의 영향으로 인하여 MS 들은 낮은 SINR 값을 가지게 되고 이것은 MS 가 낮은 MCS level 을 갖게 한다. 결국 커버리지 경계에 위치한 MS 들의 전송률이 떨어지며, 심한 경우 서비스 불능에 빠진다. 만약 t 프레임에서 RS1 이 MS1 에게, RS2 가 MS2 에게 각각 서비스 하고 있는 경우, MS1 에 있어서 RS2 로부터 수신된 신호는 간섭으로 작용한다. 마찬가지로 MS2 에 있어서 RS1 로부터 수신된 신호는 간섭으로 작

용한다. 이와 같이 간섭으로 작용하는 신호를 소거하기 위해 2 개의 송신 안테나에서 하나의 수신 안테나로 전송할 때 사용하는 STC(Space Time Code) 기법[2]을 응용한다.

먼저 t 프레임에서 RS1 과 RS2 는 기존 방법과 마찬가지로 MS1 과 MS2 에 각각 S1, S2 신호를 전송한다. 다음 t+1 프레임에서 RS1 은 그대로 S1 신호를, RS2 는 S2 신호와 180° 의 위상차를 가지는 반전 신호 -S2 를 전송한다. 이 때의 RS1 과 MS1, RS2 와 MS2 의 채널 상태를 각각 h_A, h_B 라고 하면 h_A 와 h_B 는 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} h_A &= a_1 e^{j\theta_1}, \\ h_B &= a_2 e^{j\theta_2} \end{aligned} \quad (2)$$

따라서 MS1 과 MS2 가 t 프레임과 t+1 프레임에 수신하는 신호 $r_1(t), r_1(t+1), r_2(t), r_2(t+1)$ 는 수식 (3)과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} r_1(t) &= h_A S_1 + h_B S_2 + n_1 \\ r_1(t+1) &= h_A S_1 - h_B S_2 + n_1' \\ r_2(t) &= h_A S_1 + h_B S_2 + n_2 \\ r_2(t+1) &= h_A S_1 - h_B S_2 + n_2' \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 MS1 과 MS2 는 수식 (3)과 (4)를 통해 각각 자신의 받고자 하는 신호 S_1, S_2 를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{S}_1 &= h_A^* (r_1(t) + r_1(t+1)) = 2a_1^2 S_1 + h_A^* n_1 + h_A^* n_1' \\ \tilde{S}_2 &= h_B^* (r_2(t) - r_2(t+1)) = 2a_2^2 S_2 + h_B^* n_2 - h_B^* n_2' \end{aligned} \quad (4)$$

쉽게 비교하기 위해 모든 채널 상태를 같다고 가정하고 각 자원 할당 기법을 사용하였을 시 2 프레임 동안의 전송 횟수와 SINR 값을 <표 1>에 정리하였다. (SINR 에서 간섭 신호 I_i 는 간섭 신호의 세기가 큰 것부터 정렬한 것이다.) 주파수 직교 할당 방식의 경우

표 1. 기존 방식과의 비교

	주파수 직교 할당 방식	주파수 중첩 할당 방식	제안 방식
전송 횟수 (2 프레임)	2	2	1
SINR	$\frac{S}{N}$	$\frac{S}{I_1 + I_2 + I_3 + N}$	$\frac{2S}{2(I_2 + I_3) + N}$
주파수 대역 사용	분할하여 사용	모두 사용	모두 사용

2 프레임 동안 두 번 전송할 수 있고 동일 채널 간섭의 영향을 받지 않기 때문에 다른 할당방식에 비해 SINR 값이 크지만 전체 주파수 대역폭을 4 개의 서비스 스테이션이 나누어 사용하기 때문에 시스템 전송률이 크게 떨어진다. 이것은 다음 절에서 확인할 수 있다. 주파수 중첩 할당방식의 경우 제안 방식과 비교하였을 때 두 배 많은 전송 횟수를 가지지만 동일 채널 간섭의 영향을 매우 크게 받기 때문에 SINR 값이 훨씬 낮다. 제안 방식을 사용하였을 때 MS 는 2 프레임 당 하나의 패킷을 전송 받을 수 있으나 가장 영향을 크게 끼치던 간섭 신호의 소거로 인해 SINR 값이 크게 증가하였기 때문에 기존 방식들보다 더 높은 bit rate 를 가지는 변조 방식을 사용하여 전송함으로써 전송률을 향상시킬 수 있다.

하지만 동일 채널 간섭의 영향을 받는 모든 MS 들에 대하여 이러한 간섭 소거 기법을 사용하여 전송률을 향상시킬 수 있는 것은 아니다. 자신이 서비스 받는 RS 나 BS 와 같은 서비스 스테이션으로부터 받고자 하는 신호의 세기가 증가하는 것과 마찬가지로 다른 서비스 스테이션으로부터 받게 되는 간섭 신호의 세기도 증가하기 때문에 수식 (5)를 만족하는 MS 들을 간섭 소거 대상으로 분류한다.

$$\frac{2S}{I_1 + I_2 + I_3 + N} > \frac{2S}{2(I_2 + I_3) + N} \quad (5)$$

간섭 신호의 영향을 똑같이 받는 경우 받고자 하는 신호의 세기가 2 배 증가하면 SINR 값이 3dB 만큼 증가하게 되며 이것은 MCS level 의 증가로 더 높은 bit rate 를 가지는 변조 방식을 사용할 수 있게 해준다. 따라서 수식 (5)는 수식 (6)과 같이 단순화되며 수식(6)을 만족시키는 MS 들을 대상으로 간섭 소거 기법을 사용한다.

$$I_1 > I_2 + I_3 \quad (6)$$

가장 간섭의 영향을 크게 미치는 서비스 스테이션으로부터 받는 간섭신호의 세기가 다른 나머지 서비스 스테이션으로부터 받는 간섭신호들의 세기의 합보다 큰 경우 간섭 소거 기법에 의해 MS 의 전송률을 향상시킬

표 3. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
System bandwidth	10 MHz
FFT size	1024
Null Sub-carriers	184
Pilot Sub-carriers (DL)	120
Data Sub-carriers (DL)	720
Frame duration	5 ms
Number of Data Symbols	47

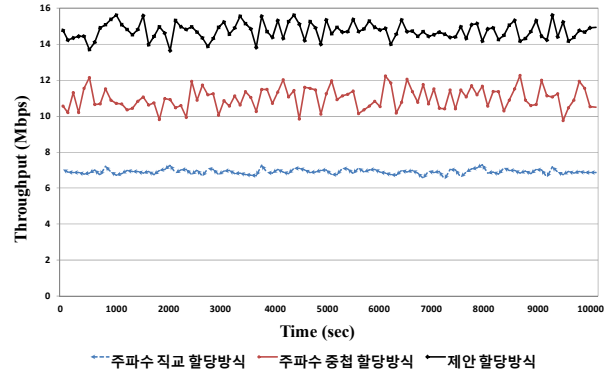


그림 4. 기존 할당방식과 제안 할당 방식의 시스템 전송률

수 있지만 그렇지 않은 MS 의 경우 전송률의 향상을 기대하기 어렵다. 따라서 자신이 받고자 하는 신호의 세기와 다른 하나의 서비스 스테이션으로부터 수신하게 되는 신호의 세기가 비슷한, 즉 두 서비스 스테이션의 커버리지 경계에 위치한 MS 들이 주로 간섭 소거 대상으로 분류된다.

3. 성능 평가

기존 연구[1][3]들과 비교하였을 때 제안 방식의 성능의 우수성을 검증하기 위해 C++을 사용하여 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 및 평가하였다. 시뮬레이션 파라미터 값은 <표 3>에 명시하였다. 셀 중심에 하나의 BS 가 위치하며, 고정된 세 개의 RS 가 120° 의 간격으로 위치한 토폴로지를 사용하였다. BS 의 셀 반경은 1km, 전송 파워는 30W 로 설정하였으며, RS 의 셀 반경은 600m, 전송 파워는 20W 로 설정하였다. 또한 SINR 값에 따른 MCS level 에 대한 정의는 <표 4>에 나타내었다.[4] 이동성을 가진 MS 들에 대하여 시스템 전송률과 공정성의 두 성능 지표를 가지고 기존 할당방식들과의 성능 비교를 하였다.

3.1 시스템 전송률

<그림 4>에서 볼 수 있듯이 주파수 직교 할당방식의 경우 전체 주파수 대역을 각 서비스 스테이션이 나누어 사용하기 때문에 주파수 중첩 할당 방식과 제안 방식에 비해 효율성이 크게 떨어진다. 제안 방식의 경우

표 4. MCS level 에 의한 요구 SINR 값과 slot 당 bit 수

MCS level	SINR	Bits/slot
64 QAM 3/4	18.5 dB	216
64 QAM 2/3	16.5 dB	192
16 QAM 3/4	12.5 dB	144
16 QAM 1/2	9.0 dB	96
QPSK 3/4	6.5 dB	72
QPSK 1/2	3.5 dB	48
BPSK 1/2	0.5 dB	24

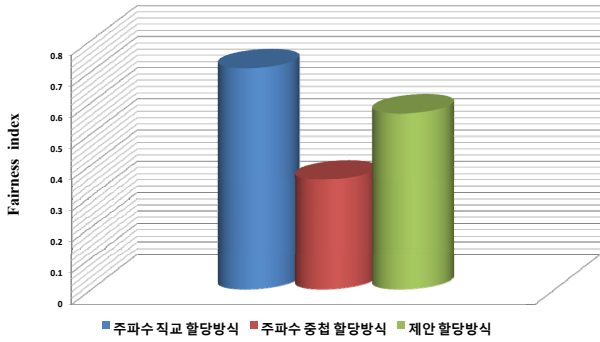


그림 5. 기존 할당방식과 제안 할당 방식의 공정성

RS 들이 주파수 중첩 할당 방식과 마찬가지로 주파수를 재사용하면서 서비스 스테이션들의 커버리지 경계에 위치한 MS 들의 SINR 값을 향상시켜줌으로써 시스템 전송률을 향상시킬 수 있다. 주파수 직교 할당방식과 비교하였을 때 약 113.1%의 성능 향상을 보이며, 주파수 중첩 할당방식에 비해 약 34.1% 성능이 개선됨을 보였다.

3.2 공정성

공정성의 측정을 위해 일반적으로 사용되는 Jain's fairness index[5]를 사용하였으며 수식 (7)과 같이 나타내어진다.

$$I_{Jain} = \frac{(\sum_{i=1}^N R_i)^2}{N \sum_{i=1}^N R_i^2} \quad (7)$$

R_i 는 MS i 의 전송률을 의미하며, N 은 서비스 받고 있는 MS 들의 전체 수를 의미한다. I_{Jain} 은 0 과 1 사이의 값을 가지고 모든 MS 들이 같은 전송률을 가질 때 1의 값을 가진다. 또한 I_{Jain} 의 값이 1에 가까울수록 공정성이 높다는 것을 뜻한다.

주파수 직교 할당 방식의 경우 셀 내 동일 채널 간섭이 발생하지 않기 때문에 커버리지 경계에 위치한 MS 들이 간섭에 대한 영향이 전혀 없기 때문에 SINR 이 주파수 중첩 방식보다 훨씬 큰 값을 가지며 따라서 공정성이 매우 크다. 제안 방식의 경우 MCS level 이 낮은 MS 들의 SINR 값을 향상시켜주기 때문에 공정성의 향상을 기대할 수 있으며 주파수 중첩 할당방식과 비교하였을 때 약 60.5% 성능이 개선됨을 <그림 5>를 통해 확인할 수 있다.

4. 결론

기존의 IEEE 802.16j 네트워크에서 RS 가 주파수를 재사용하는 주파수 중첩 할당방식의 경우 모든 서비스 스테이션이 같은 주파수 대역을 사용하기 때문에 MS 에

게 동일 채널 간섭을 야기했다. 주파수 직교 할당방식의 경우 이러한 동일 채널 간섭 문제를 해결할 수 있지만 시스템 전송률이 크게 떨어진다. 본 논문에서는 서비스 스테이션들의 커버리지 경계에 위치한 MS 들을 따로 간섭 소거 대상으로 구분하여 동일 채널 간섭을 소거할 수 있는 기법을 제안하였다. 이러한 간섭의 소거를 통해 낮은 MCS level 을 가지는 MS 들의 SINR 값을 향상시켜 높은 bit rate 를 가지는 변조 방식을 사용함으로써 간섭이 심한 지역에 위치한 MS 의 전송률을 향상시켜 줄 수 있으며, 공정성 역시 향상되었다.

참고문헌

- [1] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Multiple Relay Specification", June 2009.
- [2] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE j.Select. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [3] K.M.Park, C.G.Kang, D.Y.Chang, S.H.Song, J.G.Ahn and J.T.Ihm, "Relay-enhanced Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services", in *Proc. of 16-th international conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, pp.430-35, Aug. 2007.
- [4] H.Zeng and C.Zhu, "System-Level Modeling and Performance Evaluation of Multi-hop 802.16j Systems", *IWCMC 2008*, Crete Island, Greece, August 2008.
- [5] Dianati, M. Shen, X and Naik, S, "A new fairness index for radio resource allocation in wireless networks", *Wireless Communications and Networking Conference*, 2005 IEEE, March 2005.