

논문 2006-43TC-5-13

# 와이브로 기반의 셀간 간섭 제거 기술 성능 분석

## (The performance analysis for intercell interference reduction techniques in WiBro networks)

박지호\*, 오영환\*\*

(Park Chi Ho and Oh Young Hwan)

### 요약

이 논문은 와이브로 시스템에서 심각한 문제가 되고 있는 셀간 간섭에 대한 알고리즘 성능 분석에 관한 것이다. 와이브로 시스템의 경우 주파수 재사용 계수가 1이다. 이는 인접 기지국들이 같은 주파수를 사용한다는 의미이다. 인접 기지국들이 같은 주파수를 사용하므로 셀간 간섭이 생기게 된다. 셀간 간섭은 시스템의 성능과 채널 용량에 큰 문제가 되어 전체적인 성능을 저하시키는 요인이 된다. 이 논문에서는 DCA(Dynamic Channel Allocation), CS(Channel Segregation), IMUFR(Interference Mitigation Using Frequency Reuse), IDMA(Interleave Division Multiple Access), FH-OFDM, CRSA(Conceptual Random Subcarrier Allocation) 그리고 HDD 알고리즘을 적용한 셀간 간섭률을 분석하였다.

### Abstract

In this thesis, we analyze performance related to reduction scheme of intercell interference causing serious problems in WiBro system. Frequency reusing factor(FUR) is 1 in WiBro system, and it means that a adjacent cell uses same frequency band.

This channel environment raises intercell interference problem, which provokes serious problems related to system performance and channel capacity. Consequently, it affects deterioration in system performance as a whole. We analyze intercell interference when applying a various schemes such as (DCA)Dynamic Channel Allocation, CS(Channel Segregation), IMUFR(Interference Mitigation Using Frequency Reuse), IDMA(Interleave Division Multiple Access), IDMA(Interleave Division Multiple Access), FH-OFDM, CRSA(Conceptual Random Subcarrier Allocation), and HDD

**Keywords :** WiBro, Intercell, Interference

### I. 서론

휴대인터넷이 기존 정보통신 서비스와 차별화되는 가장 큰 요인은 실시간 멀티미디어 콘텐츠를 ADSL과 같이 안정적으로 공급받을 수 있는 이동성을 갖춘 데이터 서비스라는 점이다. 현재 시장에서는 보편적 인터넷 접속 서비스에 이동성을 갖춘 인터넷서비스가 등장하고 있다. 그 배경은 노트북 PC와 저가 무선 LAN 장비 보

급이 확대되면서 ADSL 기반의 태내에서도 무선으로 자유롭게 인터넷에 접속하는 사례가 늘고 있다는 점이다. 다른 요인으로는 Nespot과 같은 공중 무선 LAN을 통한 hot spot service가 제공되면서, 노트북 PC나 PDA등과 같은 휴대형 컴퓨팅 단말 등을 이용하여 공공장소에서 54Mbps급의 무선 인터넷 접속이 가능해지고 있다는 것이다. 현재 이동전화망을 통한 인터넷 서비스는 WPA (Wireless Application Protocol) 기반의 휴대폰을 통해 무선 인터넷 서비스를 제공했었다. 하지만 여러 가지 기술적인 제약에 의해 유선 환경에서 확보할 수 있는 수준의 인터넷 서비스를 제공하는데 한계가 있었다. 특히, 휴대폰의 경우에는 화면 크기가 작고, 액정의 해상도 및 데이터 전송률이 낮아서 멀티미디어 콘텐츠의 제공에는 적절하지 않다. 또한, 일반 PC와 상

\* 정회원, 대구경북과학기술연구원 (DGIST)

\*\* 정회원, 광운대학교 전자통신공학과 (Dept. of Electronic and Communications Engineering Kwangwoon University)

접수일자: 2006년1월23일, 수정완료일: 2006년5월16일

이한 데이터 입력 장치를 이용해야 하기 때문에 일반인들이 유선 인터넷과 같이 자유자재로 활용하는 데는 물리적인 한계가 있다. 휴대인터넷 서비스는 “휴대인터넷 단말을 이용하여, 정지 및 이동 중에서도 언제, 어디서나 고속으로 무선인터넷 접속이 가능한 서비스”로 정의되고 있다. 이와 같은 정의에 따른 휴대인터넷 서비스의 기본적인 개념은 아래와 같다.

- 첫째 정지 및 보행, 그리고 중속(~60km)의 이동시에도 무선 인터넷 서비스 제공.
- 둘째 실내외에서 휴대형 단말을 이용하여 끊어짐 없는 무선인터넷 접속 환경을 언제나 지원.
- 셋째 다양한 초고속 무선 멀티미디어 서비스를 원활히 제공할 수 있도록 1Mbps 이상의 전송속도를 제공.
- 넷째 핸드셋, 노트북, PDA 또는 스마트폰 등의 다양한 멀티미디어 단말이다.

휴대인터넷의 초기 단계 개념에서는 정지 및 보행자 속도의 이동성만을 고려했었다. 초기 단계 이후에 이동통신 사업자들이 휴대인터넷 사업화가 본격적으로 참여하면서 상당한 수준의 이동성을 확보하고자 하는 목표가 반영된 것이다. 휴대인터넷은 기존 IMT-2000에서 추구하는 이동 중 전송률보다 고속이며, 무선 LAN과는 달리 실내뿐만 아니라 실외 환경에서도 제공 가능한 서비스를 추구한다. 또한, 기존 이동통신 서비스와 마찬가지로 셀 간의 핸드오버를 지원하여 이동 중에도 끊어짐 없는 서비스 제공이 가능하도록 하고 있다.

와이브로 시스템의 용량은 간섭에 의해서 결정된다<sup>[1]</sup> 특히 이러한 방식은 모든 사용자들이 동시에 신호를 전송하고 각 사용자들은 상호 직교하는 코드를 사용하여 구별한다. 각 사용자가 서로 다른 코드를 사용하여 채널에 동시 접속하게 된다. 따라서 다중경로 페이딩(Multipath fading), 지연 확산(Variable delay spread) 등과 같은 여러 가지 요인에 의해 사용하는 직교코드 신호간의 완벽한 직교성이 이루어지지 않아 각 신호간에 임의의 시간 오프셋(Random time offset)이 발생한다. 이 결과로 다중접속간섭(MAI : Multiple Access Interference)이 발생하고, 셀 간 서로 같은 주파수를 사용하므로 셀간 간섭(Intercell Interference)이 생긴다. 이 다중접속간섭은 한명의 사용자에게 의한 간섭은 큰 문제가 되지 않지만 사용자의 수가 증가할수록 시스템의 성능과 채널 용량에 상당한 영향을 미치게 된다.<sup>[2][3]</sup> 다중접속간섭뿐만 아니라 이동멀티미디어 서비스를 제공하는 IMT-2000에서는 고속의 데이터서비스를 요구하는

사용자들로부터 저속의 음성서비스 사용자들이 받는 내부(Intra)셀 및 외부(Inter)셀간의 간섭이 상당히 증대되어 기존 시스템보다 성능이 저하될 우려가 있다. 이를 해결하기 위해 멀티서비스 환경에서의 용량문제, 상호서비스간 간섭정도 등에 관한 정확한 분석이 우선적으로 이루어져야 한다.

본 논문에서는 외부(Inter) 셀대 내부(Intra)셀 간섭비(ratio)인 Spillver ration을 이용하였으며<sup>[2][5][6]</sup>, 다중접속 간섭과 Inter셀 간섭을 고려한 Interference 확률을 구하기 위하여 DCH(Dynamic Channel Allocation), Channel Segregation, IMUFS(Interference Mitigation Using Frequency Reuse), IDMA(Interleave Division Multiple Access), FH-OFDM, CRSA(Conceptual Random Subcarrier Allocation) 그리고 HDD 알고리즘을 수학적으로 분석하였다.

## II. 본 론

### 1. 전파 간섭

효과적인 스펙트럼의 이용은 확률 통계적 성질을 갖는 환경적 파라미터와 시스템 파라미터를 분석하여 간섭을 줄임으로써 가능하다. 간섭을 분석하는데 있어 중요한 파라미터로는 중심주파수, 캐리어 주파수들간의 이격, 주파수 안정도, 방사신호의 형태, 송신전력, 안테나의 e.i.r.p., 주어진 대역폭 밖의 방사 등이 있으며, 안테나의 특성 파라미터로는 안테나 유효높이, 편파에 대한 방사패턴, 전후방비, 주 빔의 각 등이 고려되어야 한다.<sup>[6][7]</sup>

간섭전력을 결정하기 위해서는 다음의 식이 사용된다.

$$I = P_t + G_t + G_r - L_b(d) \quad (1)$$

식 1에서

$I$  : 간섭전력

$P_t$  : 간섭국의 송신 전력(dBW)

$G_t$  : 수신국 방향으로의 간섭국 안테나의 이득

$G_r$  : 간섭국 방향에 대한 수신국 안테나의 이득

$L_b(d)$  : 간섭국과 수신국 사이의 이격 거리  $d$ 에 대한 기본 전송손실

식 1은 간섭전력의 주파수 대역이 퍼 간섭국의 수신기 대역보다 좁아서 주파수 여과 없이 모든 주파수 성분이 수신되어 간섭 전력으로 적용할 때 사용할 수 있다. 만일 간섭 전력의 주파수 대역이 퍼 간섭국의 수신기 대역폭

보다 크거나 일부 겹치는 경우라면 이러한 영향을 고려해야 한다.

1.1 주파수 간섭

주파수 간섭을 설명하기 위해서는 여러 가지의 주파수와 주파수 이격 거리에 대하여 원하는 신호, 간섭 신호, 그리고 수신기 특성 사이의 상호작용을 정량적으로 표현할 필요가 있다.<sup>[8]</sup> FD(Frequency Distance)와 FDR(Frequency Dependent Rejection)은 간섭기와 수신기 사이의 간섭 결합정도를 나타내는 척도이며, 전파 간섭 평가에 필요한 기본 파라미터이다. 이것들은 만족스러운 수신기 성능에 요구되어지는 간섭기와 수신기 사이의 최소 주파수 이격이나 거리 이격에 대한 추정 값을 제공함으로써 동일/인접 채널 주파수 공유나 기타 채널 간섭 문제들을 해결하는데 도움을 준다.<sup>[9]</sup>

수신기에서의 간섭 전력 수준은 송수신 안테나의 이득과 전송손실의 함수이며 다음 식에 의해 보통 표현된다.

$$I = P_t + G_t + G_r - L_b(d) - FDR(\Delta f) \quad (2)$$

그리고

$$FDR(\Delta f) = 10 \log \frac{\int_0^\infty P(f)df}{\int_0^\infty P(f)H(f + \Delta f)df}$$

$H(f) = 1$ 을 가정했을때의 수신 간섭전력  
=  $\Delta f$ 의 송수신 중심주파수 이격을 갖을 때 실제 수신되는 간섭전력

식 2에서

$P(f)$  : 최대값 1로 정규화된 간섭전력 스펙트럼 밀도 (Power Spectral Density) (W/Hz)

$H(f)$  : 수신기 주파수 선택성 또는 수신기 주파수 응답

$\Delta f$  :  $f_t - f_r$

여기서

$f_t$  : 간섭기 동조 주파수

$f_r$  : 수신기 동조 주파수

FDR은 동조 거절(OTR : On-tune Rejection)과 오프셋 주파수 거절(OFR : Off-Frequency Rejection)로 나누어질 수 있다. OFR은 간섭기와 수신기가 동조주파수를 벗어날 때 일어나는 추가적인 거절을 의미한다.

$$FDR = OTR + OFR(\Delta f)dB \quad (3)$$

식 3에서

$$OTR = 10 \log \frac{\int_0^\infty P(f)df}{\int_0^\infty P(f)H(f)df}$$

$$OFR(\Delta f) = 10 \log \frac{\int_0^\infty P(f)H(f)df}{\int_0^\infty P(f)H(f + \Delta f)df}$$

OTR은 보정 계수라고도 불리며 종종 다음 식으로 근사화 된다.

$$OTR = K \log \left( \frac{B_T}{B_R} \right) \quad B_R \leq B_T$$

$B_R$  : 수신기 3dB 대역폭(Hz)

$B_T$  : 송신기 3dB 대역폭(Hz)

K=10 (Non-coherent 신호일 경우)

=20 (펄스 신호일 경우)

여러 개의 간섭이 존재하는 경우에는 식 4와 같이 각각의 간섭전력을 더해 줘야 한다.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_k \quad (4)$$

신호의 간섭 원은 크게 다음 네 가지 형태로 분류할 수 있다.

- 동일 채널(Co-channel)
- 인접 채널(Adjacent-channel)
- 간도 감소(Desensitization)
- 상호 변조(Inter-modulation)

1.2. 인접 채널 간섭

인접 채널 간섭은 인접 채널에서 운용되는 간섭 신호나 송신기 불요 방사에 기인한다. 인접채널 간섭 수준은 수신기의 RF 신호 거절 특성에 따라 다르다. 인접채널 간섭영향은 원하는 신호와 간섭 신호사이의 상호 작용의 결과로 나타난다. 이러한 것들은 FD, FDR이나 상대적 RF 보호비에 의해 나타낼 수 있다.

FD는 송신기와 수신기의 동조 주파수 차이의 함수로서 표시되는 최소 거리 이격이다. 인접 채널 간섭 수준은  $FDR(\Delta f)$ 에 의존한다. 보호비란, 원하는 신호와 간섭 신호가 같은 주파수를 사용하거나  $\Delta f$ 의 주파수 차이를

가질 때 최소로 요구되어지는 비이다. 특정 수신기의 허용할 수 있는 최대 간섭 전력(IM)이 결정된다면 수신기 성능은 아래 조건이 성립되어야 보장된다.

$$L_b(d) + FDR(\Delta f) \geq P_t + G_t + G_r - I_M \quad (5)$$

### 2.1 간섭제거 알고리즘

이동통신에서 간섭은 3가지로 나누어진다.

- 첫째, 시간 차이에 의한 간섭으로 동일 주파수이고, 동일한 기지국에서 방사된 전파가 여러 경로를 거치면서 전파의 도달 시간 차이에 의해 발생한다.
- 둘째, 동일 채널 간섭으로 다른 기지국으로부터 방사되는 동일 주파수에 의한 것이다.
- 셋째, 인접채널 간섭으로 인접하는 주파수 채널에 의한 영향이 지배적이다.

와이브로는 주파수 재사용 계수가 1이므로 인접 기지국 간에 동일한 주파수를 사용하므로, 기지국간 간섭으로 통신 품질에 영향을 준다. 제한된 장소에서 기지국 수가 많을수록 가입자를 더 많이 사용할 수 있지만 동일 채널 간섭이나 인접 채널 간섭으로 QoS에 영향을 주므로 가입자가 증가함에 따라 다른 주파수(Frequency Assignment)를 사용하게 된다. 가입자 측면에서 보면 특정 가입자가 기지국과 통신할 경우 그 기지국과 통신하는 나머지 가입자는 모두 Interference이다. 즉, Interference Limited System이다.

이러한 문제점에 대한 대책으로는 사용 주파수(FA) 확대, 기지국 세분화, 섹터 분할, 최적 전파 환경 구축, 순방향/역방향 전력제어등 여러 가지가 있을 수 있다. 와이브로는 모든 기지국이 같은 주파수를 사용하므로 동일 채널 간섭이나 셀간 간섭이 문제가 된다. 이에 대한 방책으로서 가입자가 많아질수록 주파수를 확대하여야 하고, 기지국을 더 세분화하여 3섹터로 구분하는 서비스를 고려하여야 한다. 또한, 순방향 전력제어에 의해 기지국의 송신전력을 되도록 줄인다.

이러한 간섭 제거에 대한 기술로는 여러 가지가 있다.

#### 2.1 DCA(Dynamic Channel Allocation)

CIR을 측정하여 DCA를 적용한다. 그림1과 같이 Interference Sensing을 하여 여러 라디오 채널들을 센싱하여 간섭이 가장 적은 채널을 선택하는 방법이다.

그림 2는 CS(Channel Segregation)으로 채널을 시간 영역과 주파수 영역으로 분리하여 환경이 좋은 채널을

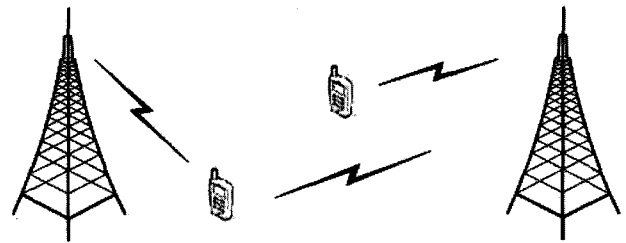


그림 1. 셀간 간섭 센싱  
Fig. 1. Intercell interference Sensing.

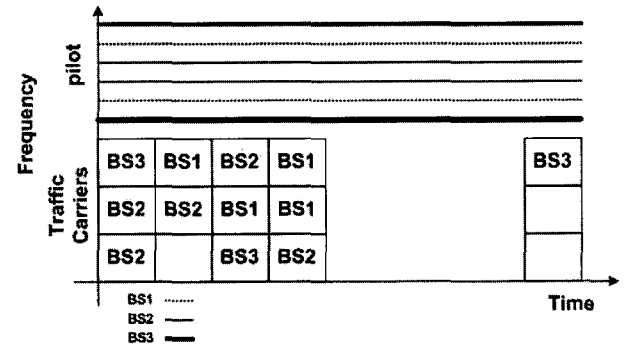


그림 2. 채널 격리  
Fig. 2. Channel Segregation.

선택적으로 사용하는 방법이다.

### 2.2 IMUFS(Interference Mitigation Using Frequency Reuse)

셀의 중앙 사용자(Cell Center Users : CCU)는 주파수 재사용 계수 1을 적용한다. 그리고 셀 가장자리 사용자(Cell Edge Users : CEU)는 주파수 재사용 계수를 3으로 한다. 이러한 주파수 재사용 계수를 적용하여 인접 셀들과의 간섭을 제거할 수 있다. 이 경우, 전체 서브 밴드가 16개로 할 때 각각의 서브 밴드는 1/16 대역폭을 가진다.

- CEU가 0이면 CCU는 16
- CEU가 1이면 CCU는 13
- CEU가 2이면 CCU는 10

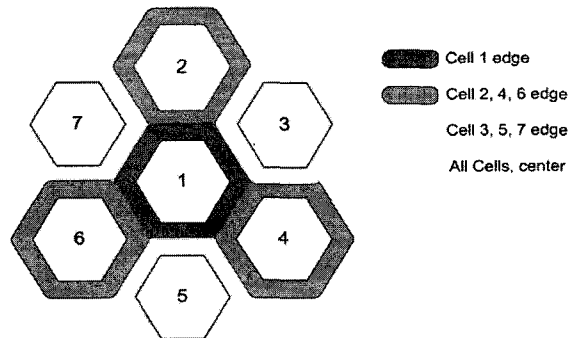


그림 3. 주파수 재사용으로 간섭 완화  
Fig. 3. Interference Mitigation Using Frequency Reuse.

2.3 IDMA(Interleave Division Multiple Access)

BS1과 BS2 사이의 사용 대역에 IDMA로 BS1과 BS2를 Multiplexing하는 채널을 사용하여 셀간 간섭을 제거한다. 그림 4에서 자세히 보여준다.

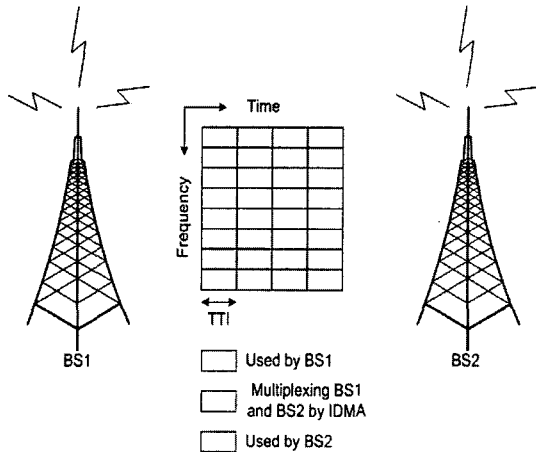


그림 4. 인터리브 분할 다중 처리  
Fig. 4. Interleave Division Multiple Access.

2.4 FH-OFDM

이 방법은 Frequency Hopping하는 방식으로 주파수 영역에서 사용하는 주파수 대역을 이동하면서 대역을 할당하는 방법이다. 이 경우 주변 셀들과 겹치지 않게 처리하면 셀간 간섭을 줄일 수 있다. 그림 5에서 자세히 보여준다.

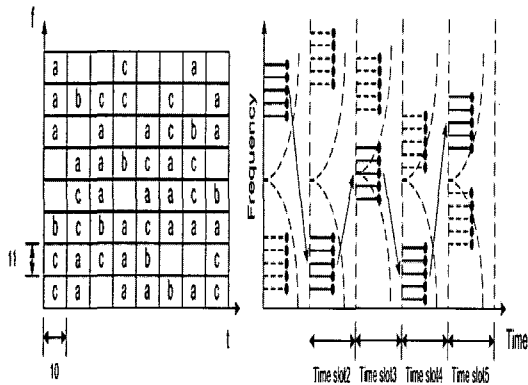


그림 5. FH-OFDM  
Fig. 5. Frequency Hopping-OFDM.

2.5 CSUA(Conceptual Random Subcarrier Allocation)

셀당 서브캐리어를 주변 셀들과 다르게 할당하여 서로 겹치지 않게 설정하는 방법으로 그림 6에서 자세히 보여준다.

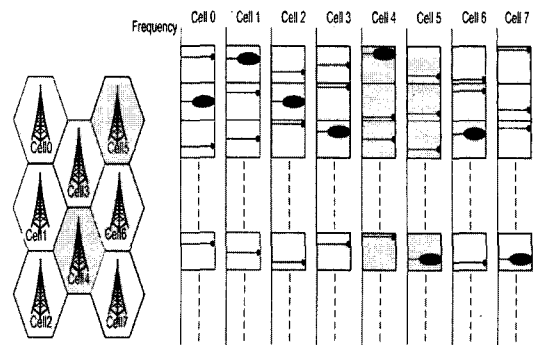


그림 6. 랜덤 서브캐리어 할당  
Fig. 6. Conceptual Random Subcarrier Allocation.

2.6 HDD

HDD는 TDD 밴드와 FDD 밴드의 두 주파수 밴드를 사용한다. 그리고 셀 안에서도 두 지역으로 나눈다. 셀의 중앙 부분은 TDD DL(Down Link)와 TDD UP(Up Link)를 사용한다. 그리고 셀의 바깥부분은 TDD DL과 FDD UL을 사용하여 셀간 간섭을 줄일 수 있다. 그림 7에서 자세히 보여준다.

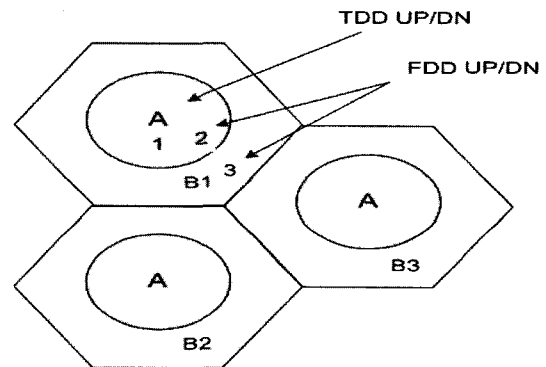


그림 7. 하이브리드 다중 전송 방식  
Fig. 7. Hybrid Division Duplexing.

이 논문에서는 위의 셀간 간섭 제거 기술에 대해 수치적으로 셀간 간섭을 분석하였다. 모든 셀은 동일한 모양의 크기이며, 동일한 수의 사용자가 접속되어 있고 모든 사용자는 셀 전체에 균일하게 분포되어 있는 경우를 고려하여 전파 감쇄 지수에 따라 거리에 반비례하는 전파 전파 모델을 사용하였다. 본 논문에서는 일반적인 정육각형 셀 구성 모델을 사용한다. 즉, 중심점으로부터 꼭지점까지의 거리가 R인 정육각형 셀이 겹침이나 빈틈이 없이 촘촘히 구성된 형태를 갖는다<sup>[9]</sup>. 이 셀 구조는 셀  $C_{0,0}$ 의 중심점을 정점으로  $60 \times 60$  마다 기본형 셀 배치가 반복되는 대칭 구조를 가지고 있다. 한 셀과의 중심 거리는 D, 한 셀에 속해있는 임의의 한 단말로부터의 중심 셀까지

국과의 거리는  $D_x$ 로 정의 한다. 또한 그 단말로부터 그 셀 기지국까지의 거리를  $d_x$ 라 한다. 셀 중심과 한 변의 사이의 거리를 H라 하면  $H = R\sqrt{\frac{3}{2}}$  이고 인접하는 두 셀 중심간의 기본 거리는  $2H = R\sqrt{3}$ 이 된다. 중심 셀 과 특정 셀군 중 하나인  $C_{n,i}$ 와의 거리를 D라 하면  $D = R\sqrt{3} \sqrt{n^2 + i^2 - n \cdot i}$ 가 된다. 이때  $n=1,2,3,\dots$ 이고  $i=0,1,2,\dots,n-1$ 이다. D값 중 최대는  $i=0$ 일 때이며,  $D_{\max}(n) = \sqrt{3}Rn$ 이 된다. 또한 D 값 중 최소는  $i = \left\lfloor \frac{(n-1)}{2} \right\rfloor$ 일 때로

$$D_{\min}(n) = \sqrt{3}R\sqrt{n^2 + \left\lfloor \frac{(n-1)}{2} \right\rfloor^2 - n\left\lfloor \frac{(n-1)}{2} \right\rfloor}$$

이 된다. 이때,  $[x]$ 는  $x$ 을 넘지 않는 최대 정수이다. 타 셀 간섭량에서 가장 비중이 큰 첫 번째 셀과의 거리가  $D = D_{\max}(n)$ 을 만족하므로  $D_{\max}(n) = \sqrt{3}Rn$ 로 근사화하여 계산에 사용한다. 다음으로 단말이 송신한 전력은 식 6과 같다.

$$P_x = P_0 d_x^r \tag{6}$$

- $P_x$  : 중심으로부터  $d_x$  만큼 떨어져 있는 단말이 송신한 전력
- $C_x$  : 셀 중 하나
- $P_0$  : 기지국에 수신된 전력

여기서  $r$ 는 거리에 따른 전파 감쇄 지수로서 환경에 따라 2~6 범위의 값을 일반적으로 사용한다.<sup>[10]</sup>

식 6의 전력은 중심 셀의 기지국에 도달하여 다음과 같은 개별 간섭이 된다.

$$I_x = P_0 d_x^r D_x^{-r} \tag{7}$$

앞에서 정한 가정하에서 사용자 밀도는  $\rho = \left( \frac{2N_0}{3\sqrt{3}R^2} \right)$ 이 된다. 자기 셀 간섭은  $P_0(N_0 - 1)$ 만큼 되고, 타 셀 간섭은 식 8과 같이 계산할 수 있다.

$$I_{\text{other}} = \frac{2N_0P_0}{3\sqrt{3}R^2} \oint_{\text{other}} \left( \frac{d_x}{D_x} \right)^r dA \tag{8}$$

이 타 셀 간섭 계산은 간단히 해결할 수 없으며  $r=4$ 와 같이 특별한 조건 하에 근사식으로 해결한다.<sup>[11]</sup>

모든 단말이 정육각형 셀에 균일하게 분포하는 경우 송출 전력의 총합은 식 9와 같다.

$$P_s = \oint_R P_x \rho dA = \oint_R P_0 d_x^r \rho dA \tag{9}$$

여기서 셀의 중심에서 셀 외곽까지의 거리  $H = R\sqrt{\frac{3}{2}}$ 이다.  $P_s$ 의 최소 최대값을 구하면 식 10과 식 11과 같다.

$$P_s^{\max} = 2\pi\rho P_0 \frac{1}{\gamma+2} R^{r+2} \tag{10}$$

$$P_s^{\min} = 2\pi\rho P_0 \frac{1}{\gamma+2} H^{r+2} \tag{11}$$

최대 최소값의 평균으로  $P_s$ 을 취하면 식 12와 같다.

$$P_s = \frac{2\pi\rho N_0 P_0 R^r}{3\sqrt{3}(r+2)} \left\{ 1 + \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{r+2} \right\} \tag{12}$$

또한, 반경이 등가거리  $r_e$ 인 원에 모든 단말이 분포하는 경우 모든 단말로부터 송출되는 전력의 합이  $P_s = P_e N_0 = N_0 P_0 r_e^r$ 이므로 식 12에서 식 13을 구할 수 있다.

$$r_e^r = \frac{2\pi R^r}{3\sqrt{3}(r+2)} \left\{ 1 + \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{r+2} \right\} \tag{13}$$

여기서 등가 거리를 셀의 반경 R에 대한 비율로 정규화 하면 식 14와 같다.

$$\left( \frac{r_e}{R} \right)^r = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}(r+2)} \left\{ 1 + \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{r+2} \right\} \tag{14}$$

따라서 등가 전력  $P_e$ 는 식 15와 같다.

$$P_e = \frac{2\pi P_0 R^r}{3\sqrt{3}(r+2)} \left\{ 1 + \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{r+2} \right\} \tag{15}$$

### 3. 1 간섭 상한

단말들은 정육각형 셀에 고루 분포하는 것과 등가적으로 등가거리  $r_e$ 인 원에 분포하는 경우 중심 셀에 가장 근접한 곳에 집중되거나 가장 먼 곳에 집중 되면 최대 간섭과 최소 간섭이 발생한다. 그 거리는 각각  $D - r_e$ 와  $D + r_e$ 가 된다. 식 13과 식 15에  $r_e$ 와  $D_x = D - r_e$ 을 적용하면 간섭량 상한은 식 16과 같다.<sup>[13]</sup>

$$\begin{aligned}
I_{other}^{\max}(T) &\leq 6N_0P_e \sum_{n=1}^T n(\sqrt{3}Rn - r_e)^{-r} \\
&= 6N_0P_e (\sqrt{3}R)^{-r} \sum_{n=1}^T \frac{n}{\left(n - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \\
&= \frac{4\pi N_0P_0}{(r+2)(\sqrt{3})^{r+1}} \sum_{n=1}^T \frac{n}{\left(n - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \\
&= N_0P_0I_{co} \sum_{n=1}^T \frac{n}{\left(n - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \quad (16)
\end{aligned}$$

여기서  $I_{co}$ 는 식 17과 같이 정의 한다.

$$I_{co} = \frac{4\pi}{(r+2)(\sqrt{3})^{r+1}} \quad (17)$$

$m > 1$ 이고  $n > 0$ 일 때 수렴하는 Riemann-Zeta 함수를 적용하기 위해 식 16을 변형하고  $T$ 가  $\infty$ 로 접근할 때의 간섭 상한식을 구하면 식 18과 같다.<sup>[12]</sup>

$$\begin{aligned}
I_{other}^{\max}(\infty) &\leq N_0P_0I_{co} \cdot \\
\lim_{T \rightarrow \infty} &\left[ \sum_{n=1}^T \frac{n - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}}{\left(n - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} + \sum_{n=1}^T \frac{\frac{r_e}{\sqrt{3}R}}{\left(n - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \right] \\
&= N_0P_0I_{co} \cdot \\
\lim_{T \rightarrow \infty} &\left[ \sum_{n=0}^{T-1} \frac{1}{\left(n+1 - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^{r-1}} + \frac{r_e}{\sqrt{3}R} \sum_{n=0}^{T-1} \frac{1}{\left(n+1 - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \right] \\
&= N_0P_0I_{co} \cdot \left\{ \zeta\left(r-1, 1 - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right) + \frac{r_e}{\sqrt{3}R} \zeta\left(r, 1 - \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right) \right\} \quad (18)
\end{aligned}$$

### 3. 2 간섭 하한

$N_0$ 개의 단말이 모두  $D+r_e$  위치에 있을 때 중심 셀로의 간섭이 최소가 된다. 따라서 상한선을 구하는 방식과 같은 방법으로 최소 간섭 하한선을 계산할 수 있다. 즉, 식 13과 식 15에  $r_e$ 와  $D_x = D+r_e$ 을 적용하여 간섭량 하한은 식 19와 같다.<sup>[13]</sup>

$$\begin{aligned}
I_{other}^{\min}(T) &\leq 6N_0P_e \sum_{n=1}^T n(\sqrt{3}Rn + r_e)^{-r} \\
&= N_0P_0I_{co} \sum_{n=1}^T \frac{n}{\left(n + \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \quad (19)
\end{aligned}$$

식 19를 변형하고  $T$ 가  $\infty$ 로 접근할 때의 간섭 하한식을 구하면 식 20과 같다.<sup>[13]</sup>

$$\begin{aligned}
I_{other}^{\min}(\infty) &\geq N_0P_0I_{co} \cdot \\
\lim_{T \rightarrow \infty} &\left[ \sum_{n=0}^{T-1} \frac{1}{\left(n+1 + \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^{r-1}} - \frac{r_e}{\sqrt{3}R} \sum_{n=0}^{T-1} \frac{1}{\left(n+1 + \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right)^r} \right] \\
&= N_0P_0I_{co} \cdot \left\{ \zeta\left(r-1, 1 + \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right) - \frac{r_e}{\sqrt{3}R} \zeta\left(r, 1 + \frac{r_e}{\sqrt{3}R}\right) \right\} \quad (20)
\end{aligned}$$

## III. 결 과

식 18과 식 20을 이용하여 이상적인 타셀 간섭의 최댓값  $I^{\max}(T=\infty)$ 와 최솟값  $I^{\min}(T=\infty)$ 을 구하고 특정 계층까지 타셀 간섭의 합  $I^{\max}(T)$ 와  $I^{\min}(T)$ 을 식 16과 식 19를 이용하여 구하면 여러 가지 전파 감쇄 지수에 대해 타셀 겹 수에 따른 간섭의 정규화 값

$\frac{I^{\max}(T)}{I^{\max}(T=\infty)}$  및  $\frac{I^{\min}(T)}{I^{\min}(T=\infty)}$ 을 계산할 수 있다. 이 때  $I^{\max}(\infty)$ 와  $I^{\min}(\infty)$ 을 계산 시 사용하는 Riemann-Zeta 함수는 무한급수 합으로 계산하는 대신 식 21과 같은 급수 근사식으로 계산하였다.<sup>[12]</sup>

$$\zeta(m, n) = \sum_{i=0}^N \frac{1}{(n+i)^m} + \frac{1}{(m-1)(N+n)^{m-1}} + R_N \quad (21)$$

그림 8과 그림 9는 각각  $r=3.0$ 일 때와  $r=4.0$ 일 때 계산식에 의한 셀 간 간섭률의 결과이다. 각 셀에서 사용자 수를 10명에서 100명까지 증가 시키면서 임의의

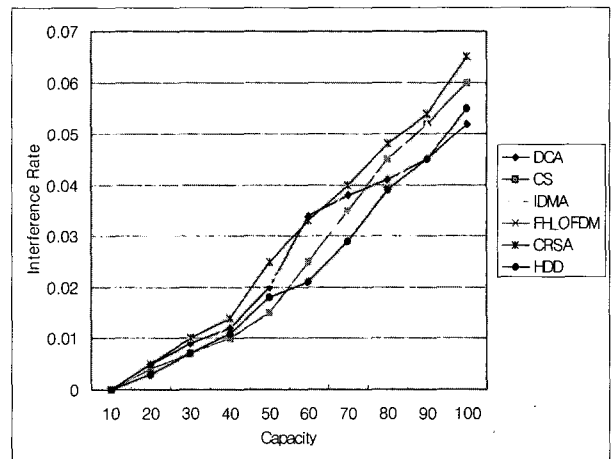


그림 8. 셀간 간섭 확률 ( $r=3.0$ )  
Fig. 8. probability of intercell interference ( $r=3.0$ ).

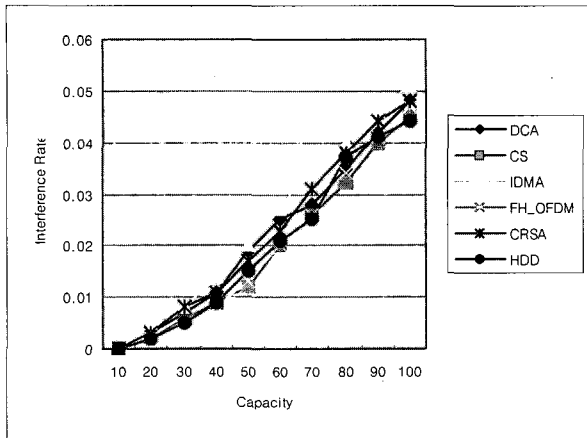


그림 9. 셀간 간섭 확률 ( $r = 4.0$ )

Fig. 9. probability of intercell interference ( $r = 4.0$ ).

위치에 분포시키는 완벽한 전력 제어가 이루어지도록 하였다.

그림 8에서 보듯이  $r = 3.0$  이하 일 경우의 각 셀간 간섭 제거 알고리즘에 대한 간섭률의 결과이다.

그림 9에서 보듯이  $r = 4.0$  이하 일 경우의 각 셀간 간섭 제거 알고리즘에 대한 간섭률의 결과이다.

#### IV. 결 론

이 논문은 와이브로 시스템에서 가장 문제시 되고 있는 셀간 간섭 제거 알고리즘에 대한 결과를 나타내고 있다. 와이브로 시스템의 경우 주파수 재사용 계수가 1이다. 이 말은 인접 기지국들과 같은 주파수를 사용한다는 의미이다. 인접 기지국들과 같은 주파수를 사용하므로 셀간 간섭이 문제화 되고, 그로 인하여 셀 용량이 줄어들어 성능이 떨어지는 결과를 가져오므로 그에 대한 해결책이 필요하다. 하여 이 논문에서는 Dynamic Channel Allocation, Channel Segregation, Interleave Division Multiple Access, FH-OFDM, Conceptual Random Subcarrier Allocation 그리고 HDD 알고리즘에 대해 셀간 간섭 제거 알고리즘에 대한 분석 결과를 나타내었다. 물론 수치적인 해석이고, 환경과 측정 방법에 대해 가정이 포함되어 있어 실측과는 차이가 있을 수 있으나, 그 적용에 대해서는 참조할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] Klein S. Gilhousen, et al. "On the Capacity of a Cellular CDMA System", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 2, pp.303-312,

May. 1991.

- [2] Alexandra Duel-Hallen, Jack Holtzman, And Zoran Zvonar, "Multiuser Detection for CDMA Systems", IEEE personal Comm, pp.46-58, April 1995.
- [3] S.Moshavi, "Multi-User Detection for DS-SS communications", IEEE Comm. Magazine, pp.124-136, Oct. 1996.
- [4] H.Holma and J. LaMaane. "Uplink Admission Control and Soft Capacity with MUD in CDMA", proc. IEEE VTC, pp.431-435. 1999.
- [5] A.J.Viterbi, A.M.Viterbi, Zehavi, "Other cell interference in cellular power-controlled CDMA", IEEE Transactions of E.Comm, Vol.42, pp.1501-1504, February/March/April 1994.
- [6] D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, John Wiley & Sons, New York, 1992.
- [7] 이범선, 조삼모, 유명완, 박정일, 신윤미 한국전자통신연구원 "ITU-R에서의 주파수공유 관련 기준 분석" 한국전자과학기술 수탁 연구과제
- [8] ITU-R 권고 337-3의 부속서
- [9] David Lee. CeXu, "The Effect of Narrowbeam Antenna and Multiple Tiers on System Capacity in CDMA Wireless Local Loop," IEEE Communications Magazine, Vol. 35, No9, pp.110-114., September, 1997.
- [10] T. S. Rappaport, Wireless Communications, 2nd Ed, Prentice Hall, NJ, pp.139, 2002.
- [11] Kyoung II Kim, "CDMA Cellular Engineering Issues," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 42, No. 3, pp.345-350, August, 1993.
- [12] I. S. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, Table of Integrals, Series, and Products, 5th ed., Academic Press : San Diego, pp.1101, 1994.
- [13] 김호준, 전주대학교 정보기술컴퓨터공학과 "다중 셀 CDMA 셀룰라 시스템에서 Riemann-Zeta 함수를 이용한 간섭과 용량 근사식" 한국통신학회. Vol.28, NO.7A pp503-510. July, 2003.



저 자 소 개



박 지 호(정회원)  
 1998년 남서울대학교 정보통신  
 공학과 학사 졸업.  
 2001년 광운대학교 전자통신  
 공학과 석사 졸업.  
 2003년 광운대학교 전자통신  
 공학과 박사 수료

.2006년 현재 대구경북과학기술연구원  
 IT 연구부 연구원  
 <주관심분야 : 이동통신, 무선 네트워크, USN>

오 영 환(정회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제 42권 TC편 제5호 참조  
 <주관심분야 : 통신망>