

# 불완전 섹터화 및 인공잡음의 영향에 의한 광대역 DS/CDMA시스템의 용량 분석

김 해 기, 김 남  
충북대학교 전자통신 연구실  
전화 : (0431) 275-2578 / 팩스 : (0431) 274-6206

Wideband DS/CDMA system capacity analysis impacted by the man-made  
noise and imperfect sectorization

Hae ki Kim, Nam Kim  
Radio and Communication Lab. chungbuk National University  
E-mail : hkkim@osp.chungbuk.ac.kr

## Abstract

In this paper the Wideband DS/CDMA system capacity variation is analyzed by the impact of imperfect sectorization and man-made noise, which is more predominant in urban area than thermal noise. In general man-made noise is increasing as the electronic machines are increasing nowadays. It shows that user capacity and cell radius variation are much sensitive by the man-made noise.

## I. 서론

1990년대에 시작된 무선통신시장의 활성화와 무선 통신 서비스에 대한 사용자들의 요구사항들은 무선기술의 급속한 성장을 가져왔으며, 다양한 서비스 제공을 위한 무선통신 기술들이 연구되고 있다. 하지만 무선 통신자원인 주파수의 부족으로 인해 효율적인 주파수 운용기술의 연구가 진행되어 왔다. 주파수 재사용 개념은 셀룰러 무선 시스템의 스펙트럼 효율을 높이는 것이지만 서로 다른 셀에서 같은 주파수대역을 동시에 여러 사용자들이 사용함으로써 발생하는 간섭들로 인

해 시스템의 성능이 간섭에 의해서 감소하였다. 또한 경로손실과 페이딩과 새도우잉등 무수한 신호 감쇠원들에 의해서 상당히 낮은 전력으로 수신된다. 이러한 감쇠원들중 도시지역의 무선 이동통신 시스템 서비스 영역내의 인공잡음에 의한 신호의 감쇠가 발생한다는 것이다. 셀 패턴을 결정하는 것은 사용자의 분포뿐만 아니라 데이터 패턴 등을 고려한 시스템의 요구조건에 부합하는 송/수신전력을 기반으로 한 셀 설계가 요구된다. 하지만 기존의 시스템 해석에서는 경로손실과 배경잡음(background noise)만을 고려하여 셀 설계와 해석이 이루어졌지만 전기적 기기들의 사용이 급증함에 따라 인공잡음의 세기가 열잡음에 비해 상당히 커진 것을 고려하지 않았다. 인공잡음은 전기모터나 전력선, 네온사인등 전기제품에서 발생하는 것으로 전기적인 소비량이 많은 도시지역에서 우세한 영향을 미치고 있다. 도시지역에서 흔히 발생하게 되는 인공잡음의 특성은 그 영향 대역폭이 방대하며, 정형화된 특성으로 잡음을 나타낼 수 없기 때문에 특별한 대처방안이 없는 잡음특성이다. 도시지역에서 인공잡음의 발생원이 급증함으로 인해 인공잡음이 열잡음 보다 상당한 크기의 영향을 가지고 있다는 것이 도심지역에서의 특징이다. 따라서 인구밀도가 높고 전기 기기의 사용빈도가 높은 도시지역에서의 셀 설계시 이러한 인공잡음

의 영향을 배제할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 도시지역에서 발생하게 되는 인공잡음의 특성이 시스템에 미치는 영향 및 불완전한 섹터화에 따른 영향을 수학적인 모델을 사용하여 분석하였다. II장에서는 도시지역에서의 인공잡음 특성과 불완전한 섹터에 대한 수식적인 모델을 유도하였으며 III장에서는 수치해석을 통해서 시스템의 용량과 인공잡음과의 상관관계를 나타내었고 각각의 데이터율과 경로손실과의 관계를 고려한 분석을 하였고 IV장에서는 해석결과를 통한 결론을 맺었다.

## II. 인공잡음의 특성 및 불완전한 섹터화에 따른 시스템 모델링

잡음은 크게 부가적 잡음과 증가적 잡음으로 구분할 수 있으며, 부가적인 잡음에서 특히 관심을 가져야 할 잡음의 형태는 다른 어느 형태보다 무선통신 시스템에 중요한 영향을 주는 것은 도시지역에서 우세한 인공잡음이다. 전기, 전자기기 및 교통기관 등의 발달에 따라 다양한 형태의 인공잡음이 발생되고 있으며, 특히 광대역 주파수대역을 점유하며 큰 진폭특성을 갖고 빈번하게 발생하는 임펄스성 잡음의 증가가 무선통신에 중요한 문제가 되고 있다. 대표적인 임펄스성 잡음은 자동차의 점화계통과 고압시설, 네온사인에 의해서 발생되고 있으며 디지털 통신 시스템에 상당한 성능저하를 유발시킬 수 있다. 또한 디지털 신호에 대한 임펄스성 잡음의 영향은 다중경로 페이딩과 결합하여 중대한 비트 에러확률을 유발시킬 수 있다. 따라서 도시지역에서의 디지털 시스템 설계와 성능평가를 하기 위해서는 이러한 인공잡음의 발생률이나 진폭 특성을 고려하여야 한다. 임펄스성 잡음은 불규칙한 랜덤잡음의 특성을 나타내기 때문에 통계확률에 의한 특성 파악이 요구된다. 통계확률적 분석방법은 Middleton에 의해 확립되었다[1,2]. Middleton은 잡음의 점유 대역폭과 수신기 수신 대역폭 사이의 관계에서 잡음의 종류를 A급, B급, C급으로 분류하였다. 이 중에서 임펄스성 잡음의 확률분포를 표현하기 위해서는 B급 잡음을 많이 사용한다. 가우스성 확률분포를 갖는 단일 잡음원이 존재할 때 시험값  $E$ 가 기준값  $E_0$ 보다 클 확률분포함수는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P(E > E_0) = 1 - E_0 \int_0^\infty J_1(rE_0) \overline{F}_1(ir) dr \quad (1)$$

여기서  $J_1$ 은 Bessel 함수이고,  $i$ 는 단위벡터,  $r$ 은 특성함수의 반경벡터이며,  $\overline{F}$ 는 특성함수로서 B급 잡음의 경우에는 다음과 같다.

$$\overline{F}_1(ir)_{(B+G)I} = \exp[-b_1 a A_{\infty} B r^a - \nabla \sigma_G^2 \frac{r^2}{2}] \quad (2-1)$$

$$\overline{F}_1(ir)_{(B+G)II} = \exp(-A_{\infty} B) \exp[A_{\infty} B \exp(-b_2 a r^2 / 2) - \sigma_G^2 r^2 / 2] \cdot [1 + O(r^a, r^4)] \quad (2-2)$$

여기서 첨자 G와 A,B는 각각 가우스 잡음성분과 A 및 B급 잡음을 나타내며 I II는 B급잡음에서의 영역 분류를 나타낸다. 또한  $A_{\infty, A}, A_{\infty, B}$ 는 각각 A,B급 잡음에 대한 임펄스지수를 나타낸다.  $\sigma_G^2$ 은 가우시안 잡음의 편차를  $0()$ 는 오차함수  $b_a$ 는 하중 모멘트,  $a$ 는 공간밀도 전달변수를 나타낸다.

그림 1은 잡음의 종류 및 주파수대역에 따른 열잡음대 잡음비를 dB 단위로 나타낸 그림이다[3].

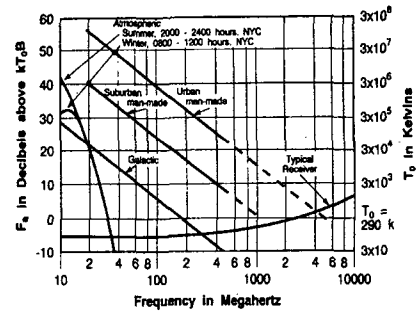


그림 1. 열잡음 대 부가적인 잡음비(dB)

지구국에서는 사용자들에 대해서 일정한 SIR 또는 SNR을 유지하여야 하며 요구되는 SIR을  $SIR_{req}$ 라고 정의한다. 무선링크의 성능을 평가하기 위해서 수신된 신호의 세기가 아닌 수신된 신호의 세기 대 간섭비 혹은 신호 대 간섭과 잡음비를 이용해 시스템의 BER확률을 결정짓는다. 시스템의 성능을 유지하기 위한 최소한의 SIR 또는 SNR을  $(SIR)_{req}$ 라고 한다면,

$$(SIR)_{req} = \frac{1}{WR} (E_b/N_0)_{req}$$

가 되고  $R$ 은 데이터율을 나타내고  $W$ 는 대역폭으로서  $WR = PG$ 으로 처리이득을 나타낸다.  $(SIR)_{req}$ 가 주어졌다고 하면, CDMA 셀룰러 시스템의 용량변화는 SIR의 통계적인 변화에 의존하는 것이며, 시스템 용량은  $\Pr(SIR < (SIR)_{req})$ 로 제한된다. 시스템을 설계할 때 시스템 부하를 최적으로 유지하는 것보다는 부하를 약간 낮게 운용하는 것이 전력소비 및 전력제어기법을 보다 활용하게 되는 것이다. 따라서 시스템을 효율적으로 운용하기 위한 조건은 아래와 같다.

$$Load_{(cell)} \leq Load_{(cell_{max})}$$

수신된 신호전력을  $P_R$ 이라고 정의한다면,

$$P_R(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) - PL(\text{dB}) - \sigma_z(\text{dB}) + G_{BS}(\text{dB})$$

로 표현 가능하다.

여기서  $P_t$ 는 송출전력을  $PL$ 은 경로손실로서 거리에 따른 신호의 감쇠를 나타내며,  $\sigma_z(\text{dB})$ 는 새도우잉에 의한 손실을 나타내며  $G_{BS}$ 는 기지국에서의 안테나 이득을 나타낸다. 또한 잡음특성은 열잡음 뿐만 아니라 도시지역에서의 인공잡음을 고려한다면 전체적인 잡음은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$N_{urban} = N_{th} + N_{man-made}$$

$N_{th}$ 는 열잡음이고  $N_{man-made}$ 는 도시지역에서 그 특성이 뚜렷한 인공잡음이다. 따라서 수신된 신호 대 간섭비 ( $SIR$ ) 혹은 신호 대 잡음과간섭비 ( $SINR$ )은 다음과 같이 표현 가능하다

$$SIR = \frac{P_R}{N_{urban} + I}$$

불완전한 전력제어를 통해서 수신되는 전력  $P_R$ 은 대수정규분포(log normal distribution)로 아래와 같이 표현된다.

$$f(P_R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}P_R} \exp\left[-\frac{(\ln P_R - m)^2}{2\sigma^2}\right]$$

여기서  $\sigma$ 는 정규분포함수의 표준편차로서 불완전한 전력제어를 통해서 측정된 결과 표준편차는 1~2dB값을 갖는 것으로 측정되었다[4].

현재 셀룰러 시스템에서는 셀을 3섹터로 구분해서 사용하고 있지만 안테나의 지향성을 120°만큼 예리하게 한다고 하여도 안테나의 부엽특성으로 인해서 다른 섹터로부터 간섭전력을 받게 된다. 셀룰러 시스템에서의 섹터화와 섹터사이의 중첩되는 각을  $v$ 라고 하면 아래와 같은 그림으로 표현할 수 있다.

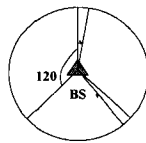


그림 2. 불완전 섹터화된 셀룰러 시스템

안테나의 불완전한 섹터화된 모델은 섹터당 서로 중첩되는 각으로 그림 2와 같이 표시될 수 있다. 여기서  $v$ 는 섹터가 서로 중첩되는 각을 나타내며,  $D$ 가 셀에서의 섹터수라면 섹터화된 시스템에서 중첩각에 따른 이득은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G_s \equiv \frac{P_{sector}}{P_{nonsector}} = \left(\frac{1}{D} + \frac{2v}{360}\right)$$

다중셀에 의한 간섭을 고려한다면 간섭보정계수  $f$ 는 다른 셀에서 받는 간섭전력  $I_{other}$ 와 셀내에서 받는 간섭전력  $I_{home}$ 의 비로 구할 수 있다[4].

$$F \equiv \frac{I_{other}}{I_{home}} = \frac{I_{other}}{(N-1)P_R}$$

여기서  $N$ 은 셀당 사용자의 수이고  $P_R$ 은 완전 전력 되어된 시스템에서 기지국으로 수신되는 사용자들의 전력에 해당된다. 이러한 모든 조건을 고려한다면 수신되는 신호 대 간섭비 ( $SIR$ )은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$SIR = \frac{P_R}{(P_t(1+F) \cdot G_s) + N_{urban}}$$

### III. 시스템 용량분석 및 성능 평가

결과그림 3은 사용자수와 송출전력을 나타낸 것이다. 요구되는  $(E_b/N_o)_{req}$ 를 만족하기 위해서 기지국에서 송출해야 하는 송출전력을 경로손실에 따라서 나타내었다.  $(E_b/N_o)_{req}$ 는 6.5dB이고 음성활성인자는 0.45, 완전한 섹터화( $v=0$ )이고 기지국안테나의 이득은 10 dB 간섭보정계수  $F=0.47$ ,  $N_{man-made}$ 는 열잡음에 비해서 35dB가 높고 새도우잉에 의한 손실이 8dB인 경우에 사용자 수와 경로손실에 따른 기지국에서의 송출전력을 나타낸 것이다.

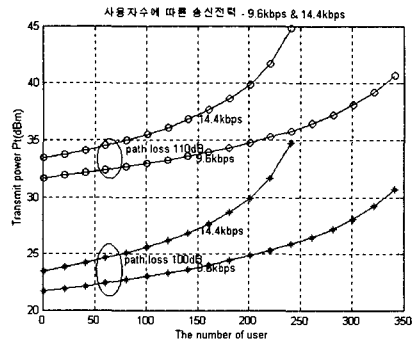


그림 3. 경로손실과 데이터율에 따른 송출전력비교  
사용자수가 100명인 경우에 기지국에서의 송출전력은 경로손실이 100dB이고 데이터율이 9.6kbps인 경우 23 dBm의 송출전력이 요구되지만 14.4kbps의 데이터 서비스를 위해서는 26dBm으로 3dB의 송출전력차를 보인다. 하지만 시스템의 부하가 늘어나는 경우 즉, 사용자수가 200명인 경우 송출전력은 경로손실이 100dB인 경우 9.6kbps의 서비스를 제공하기 위한 기지국의 송출

전력은 25dBm으로 100명의 사용자서비스를 위한 23dBm보다 2dB증가하였지만 14.4kbps의 데이터 서비스를 위해서는 30dBm으로 100명의 사용자서비스를 위한 송출전력보다 4dB증가함을 알 수 있다.

결과그림 4는 서로 다른 데이터율을 가지는 경우에 인공잡음을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에서의 시스템의 용량변화를 분석한 결과이다.

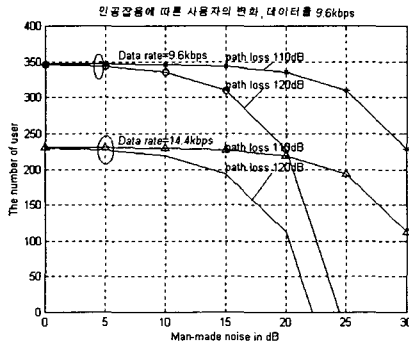


그림 4. 데이터율에 따른 인공잡음의 영향

경로손실은 110dB와 120dB의 경우에 대해서 인공잡음이 시스템에 미치는 영향을 분석해보면, 먼저 경로손실이 110dB일 때 인공잡음이 시스템에 미치는 영향보다 120dB일 때 그 영향이 더욱 뚜렷이 나타나며 데이터율이 14.4kbps인 경우에 그 영향이 더욱 증가함을 알 수 있다. 인공잡음이 무선시스템에 미치는 영향은 데이터율이 더욱 적은 서비스에서 그 영향이 심각한 것을 알 수 있다.

결과그림 8은 섹터사이의 중첩된 각에 따라서 각각의 데이터율에 따른 시스템 용량을 경로손실이 110dB와 120dB의 경우에 대해 분석한 결과이다.

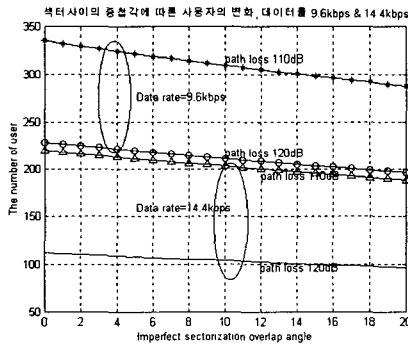


그림 8. 불완전한 섹터화와 경로손실에 따른 사용자의 변화

섹터사이의 중첩되는 각은 0°부터 20°까지 변화하면서 각 경로손실값에 따른 사용자수의 변화는 거의 완만한 곡선을 그린다. 불완전 섹터화에 따른 변화는 데이터율이 높은 경우에서보다 데이터율이 적은 경우에 셀사이의 중첩각에 의한 사용자의 변화량이 더욱 심하다는 것이다. 경로손실이 110dB이고 데이터율이 9.6kbps라고 가정한 분석결과에서 중첩각이 0°일 때 335명에서 10°일때는 310명으로 25명의 사용자가 감소함을 알 수 있다. 하지만 경로손실이 120dB인 경우에는 9.6kbps의 데이터율에서는 228명에서 221명으로 7명의 사용자 감소를 보였다. 따라서 셀사이의 중첩각에 따른 시스템 영향은 경로손실이 증가하는 경우에는 거의 영향을 미치지 않지만 경로손실이 작은 피코셀과 같은 서비스영역에 대해서는 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

### VI. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 셀설계시 가장 기본적인 단계에서의 시스템 모델링과 여러 측정 파라미터값을 이용한 시스템 모델을 통해 인공잡음이 전체적인 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 도시와 같이 전기적 기기의 사용이 많은 지역에서 인공잡음은 시스템의 전체 용량에 상당한 영향을 미칠 수 있으며, 결코 간과될 수 없는 잡음원으로 해석되었다. 이러한 해석 결과를 통해 도시지역에서의 셀 설계시 기본적인 자료를 제공할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] E. N. Skomal, "Man-made noise in the M/W frequency range: an RFI problem area identified and analyzed," *Microwave J.* pp. 44-47, Jan, 1975
- [2] R. Hanning, "Calculating the noise voltages induced in telephone lines by electric railways," *IEEE 1982 Inter. Syno. on EMC*, pp. 370-376, 1982.
- [3] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, CRC Press, 1993.
- [4] A. M. Viterbi, A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE Journal of Selected Areas Comm.*, vol. 11, pp. 829-899, Aug. 1993
- [5] Tero Ojanpera and Ramjee Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Comm.*, Artech house, 1998