

## 인체에서의 전자파 흡수율을 고려한 DS/CDMA 시스템의 성능 분석

○ 조 광 윤, \* 강 희 곡, \*\* 정 봉 수, \*\*\* 조 성 인, \*\*\*\* 조 성 준

\* 한국전자통신연구원  
\*\* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과  
\*\*\* (주) 터보테크 W-CDMA 소프트웨어R&D 연구소  
\*\*\*\* 국립순천대학교 정보통신공학과

### Performance Analysis of DS/CDMA System Considering Specific Absorption Rate in the Human

○ Kwang Yun Cho, \* Hee Gok Kang, \*\* Bong Soo Jeong, \*\*\* Sung Eon Cho, \*\*\*\* Sung Joön Cho

\* Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)  
\*\* Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.  
\*\*\* W-CDMA software R&D institute of TurboTek, Co. Ltd.  
\*\*\*\* Dept. of Computer & Communication Eng., Sunchon National Univ.

#### 요 약

본 논문에서는 이동국의 안테나로부터 방사되는 전파의 일부가 인체에 흡수되므로써 기지국에서 수신되는  $E_b/N_t$  의 감소에 대해 조사하였고, 감소된  $E_b/N_t$  를 기준으로하여 전파의 인체 흡수가 DS/CDMA BPSK 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

분석 결과, 인체에서의 흡수가 30 [%]에서 40 [%]로 증가할 때 기지국에서의  $E_b/N_t$  값이 약 0.5 [dB] 정도 감소함을 알 수 있으며, 40 [%]에서 50 [%]로 증가할 때에는 약 0.6 [dB] 정도 감소함을 알 수 있었다. 또한 시뮬레이션을 통해 사용자 수가 15 명일 때 약 2.5 [dB]의  $E_b/N_t$  값에서 음성 서비스가 가능하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 이러한  $E_b/N_t$  값을 만족시키려면, 흡수율이 10 [%] 증가 할 때마다 안테나 방사 전력을 약 20 [mW] 이상 증가시켜야 한다는 것도 알아내었다.

#### 1. 서 론

전자파는 일반적으로 방송과 통신분야 뿐만 아니라 의 료분야에도 사용되어 생활에 도움을 주고 있으나, 타 기 기의 오동작 유발 등 불요전자파로 인한 부정적인 측면도 나타나고 있고<sup>[1][2]</sup>, 어떤 형태로든 생체에 영향을 끼쳐 열 작용, 자극작용, 기타 비열작용을 일으키고 있다는 것이 모의 인체 실험, 수치 해석적 연구 및 안전 기준 연구를 통하여 밝혀지고 있다<sup>[3]-[5]</sup>.

더욱이, 매년 100 [%] 이상 사용이 증가하고 있는 휴대 용 무선전화 시스템은 대개 통화가 이루어지는 동안 인체 로부터 수 센티미터 이내에 근접하게 되어 인체는 안테나 의 근거리 장 (near field)에 위치하게 되고, 안테나 방사 출력 에너지 흡수로 인한 조직 내의 온도 상승이 초래된 다. 이러한 조직 내 에너지 흡수량은 단위 질량 조직이 단위 시간에 흡수하는 에너지의 량, 즉 흡수율 (SAR : specific absorption rate)을 이용하여 평가되고 있고<sup>[3]-[5]</sup>, 안테나와 인체 모델과의 거리에 따라 25 [%] ~ 50 [%] 정도의 방사 출력이 인체의 머리와 손에서 흡수가 되며,

안테나와 인체 모델과의 거리가 멀어질수록 흡수율은 감 소하는 반면, 안테나의 효율은 증가한다는 것이 밝혀지고 있다<sup>[6][7]</sup>.

한편, 인체 흡수로 인한 방사 출력의 손실은 통신 시스 템 성능을 평가하는데 있어 중요한 수치인 기지국에서의 비트 에너지 당 잡음 전력 스펙트럼 밀도 비 ( $E_b/N_o$ )의 감소로 이어지고, 결국은 시스템의 성능이 나빠진다. 또 한, 특정 통신 서비스 품질을 만족시키기 위해서는 흡수 로 인해 감소된 만큼의 안테나 방사 출력의 증가가 필요 하며, 이것은 다시 인체 흡수의 증가라는 우려를 일으킬 뿐만 아니라, 시스템 측면에서도 흡수로 인한 손실에 대 처하기 위한 효율적인 안테나 설계, 전력제어 및 배터리 수명 등의 문제점을 야기시킨다.

따라서, 본 논문에서는 이동국 안테나의 방사 출력과 인체에서의 흡수율과의 관계에 대해 조사 분석하고, 인체 흡수로 인해 감소된 DS/CDMA BPSK 이동 통신 시스템 의 역방향 링크 에서의  $E_b/N_o$ 를 기준으로 하여, 안테나 방사 출력의 인체 흡수가 DS/CDMA BPSK 이동 통신

시스템의 성능에 미치는 영향을 평가한다.

## II. 인체에서의 흡수율을 고려하는 DS/CDMA BPSK 시스템

### 1. 시스템 모델

본 논문에서는 인체에서의 흡수율을 고려한 DS/CDMA BPSK 이동 통신 시스템의 성능을 분석하기 위해서 그림 1과 같은 해석 모델을 가정한다.

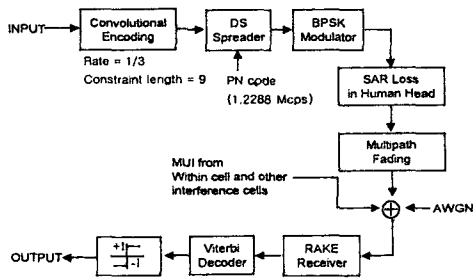


그림 1. 해석 모델

그림 1에서 보는 바와 같이 송신단의 데이터 열은 컨벌루션 부호화에 의해서 부호화된 후, DS Spreader 단에서 PN 코드에 의해 스펙트럼이 확산되고 BPSK Modulator 단에서 BPSK 변조된 후 안테나를 통해서 방사된다. 안테나에서 방사된 출력은 인체 흡수로 인해 손실이 생기고, 채널 상에서 다중 경로 페이딩 (multipath fading), AWGN, 셀 내부 및 인접 간섭 셀로부터의 다중 사용자 간섭을 받아 열화되어 수신된다. 수신단에서는 먼저 RAKE 수신기에서 PN 코드로 확산된 스펙트럼을 역 확산시키고 BPSK 복조 후 채널 상에서 광대역 신호에 발생하는 주파수 선택성 페이딩을 보상한 후, 비터비 복호기에서 복호되고 판정기에서 데이터 열을 복원한다.

### 2. 성능해석

DS/CDMA BPSK 이동 통신 시스템의 역방향 링크 버짓에서의 비트 에너지 당 총 잡음 전력 스펙트럼 밀도비  $E_b/N_t$ 는 다음과 같다.<sup>[8]</sup>

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{C/R_b}{N_0 + (K/F - 1) \nu C/W} \quad (1)$$

여기서,  $K$ 는 동일 셀 내의 사용자 수,  $F$ 는 주파수 재사용 효율,  $\nu$ 는 음성 활성화율 (voice activity),  $C$ 는 기지국에서 수신되는 1명의 사용자 전력,  $W$ 는 채널 대역폭,  $R_b$ 는 데이터 전송률을 나타낸다.

역방향 링크 DS/CDMA 이동 통신 시스템에서  $N$ 개의 인접 간섭 셀을 갖는 셀 기지국에서의 평균  $SIR$ 은 다음과 같다.<sup>[9]</sup>

$$SIR = \frac{\sum_{l=1}^L \alpha_l^2}{\frac{N_0}{2E_b} + \frac{2E[\alpha_l^2]}{3N} \left[ \left(1 + \frac{M}{5}\right) LK - 1 \right]} \quad (2)$$

여기서,  $N$ 은 처리이득,  $M$ 은 인접 셀의 수,  $L$ 은 RAKE 수신기의 가지 수,  $K$ 는 다중 사용자 수이고,  $\alpha_l$ 은  $l$ 번째 경로의 채널 감쇠를 나타내는 레일리 분포를 가지는 랜덤 변수이며,  $\sum_{l=1}^L \alpha_l^2$ 는 자유도가  $2L$ 인 chi-square 분포를 따르는 랜덤 변수로 확률밀도함수는 다음과 같다.<sup>[10]</sup>

$$f(\mu) = \frac{\mu^{L-1} e^{-\mu/2\sigma^2}}{(2\sigma^2)^L (L-1)!} \quad (3)$$

여기서,  $\mu = \sum_{l=1}^L \alpha_l^2$ 이다.

따라서, 인접 간섭 셀이  $M$ 개이고 RAKE 수신기를 사용하여 수신할 때의 오류 식은 다음과 같다.

$$P_{RAKE}(e) = \int_0^\infty f(\mu) Q \left( \sqrt{\frac{\mu}{\frac{N_0}{2E_b} + \frac{2\sigma^2}{3N} \left[ \left(1 + \frac{M}{5}\right) LK - 1 \right]}} \right) d\mu \quad (4)$$

열악한 채널 환경을 극복하여 신뢰할 수 있는 통신을 위해서 부호율  $R=1/3$ , 구속장  $K_c=9$ , 생성다항식  $G_1=557$ ,  $G_2=663$ ,  $G_3=771$ 인 컨벌루션 부호를 이용하면 오류의 상한식은 다음과 같다.<sup>[11]</sup>

$$P_{Conv} = (11d^{18} + 32d^{20} + 195d^{22} \dots) \quad (5)$$

여기서,  $d = 2\sqrt{P(1-P)}$ 이고,  $P$ 는 채널 상의 오류율의 미한다.

### III. 수치해석 및 검토

본 논문에서는 역방향 DS/CDMA BPSK 채널을 기준으로 6개의 인접 간섭 셀이 존재하고, 채널 대역폭은 1.2288 [MHz]로 처리이득이 127이고, 4개의 다중 경로 수를 가지며, 각 경로에서 수신되는 신호는 레일리 페이딩을 받는다고 가정할 때, 가지의 수가 4인 RAKE 수신기와 부호율  $R=1/3$ , 구속장  $K_c=9$ 인 컨벌루션 부호를 사용하고 이동국 안테나 방사 출력 중 일부의 인체 흡수를 고려한 DS/CDMA BPSK 시스템의 성능을 수치 해석 및 시뮬레이션을 통해 분석한다.

그림 2는 이동국 안테나 실효 방사 출력의 인체 흡수에 따른 기지국에서의  $E_b/N_t$ 를 나타낸다. 인체에서의 흡수가 30 [%]에서 40 [%]로 증가할 때 기지국에서의

$E_b/N_f$  값이 약 0.5 [dB] 정도 감소함을 알 수 있으며, 40 [%]에서 50 [%]로 증가할 때에는 약 0.6 [dB] 정도 감소함을 알 수 있다.

그림 3은 다중사용자  $K=15$ 명 일 때 RAKE 수신기의 가지수  $L$ 에 따른 BER 성능을 나타낸다. RAKE 수신기의 가지수  $L=2$  일 때 성능 개선 폭이 가장 크고  $L$ 이 증가함에 따라 성능 개선 폭이 작아졌다.  $L>4$ 이 되면 RAKE 수신기에 의한 성능 개선은 거의 이루어지지 않고 포화되게 된다. 이것으로부터 우리는 다중경로의 수를 4 개정도 고려하는 것이 적당함을 알 수 있다.

그림 4로부터 시뮬레이션의 경우는 약 2.5 [dB], 수치 해석의 경우는 약 5 [dB]의  $E_b/N_f$  값에서 음성 통신의 서비스 기준인  $BER=10^{-3}$  을 충분히 만족하고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 1의 사용자 수가 15 명 일 때, 안테나 방사 출력의 인체 흡수에 따라 기지국에서 수신되는  $E_b/N_f$  값 [dB]의 변화에서 살펴보면, 기지국에서 2.5 [dB]의  $E_b/N_f$  값을 얻기 위해서는 흡수율이 30 [%]인 경우에는 안테나 방사 출력 100 ~ 200 [mW] 사이의 값에서는 모두 2.5 [dB]를 얻고 있는 것을 볼 수 있으며, 40 및 50 [%] 인 경우에는 각각 약 103 및 125 [mW] 이상의 안테나 방사 출력 값이 필요함을 볼 수 있다. 그리고 5 [dB]의  $E_b/N_f$  값은 인체 흡수가 30 [%] 가 일어나는 경우에만 안테나 방사 출력이 180 [mW]이상이면 얻어지는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 인체에서 흡수가 일어나지 않는 경우의 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율 성능을 보여주고 있다. 125 [mW]의 안테나 실효 방사 출력은 음성 통신을 위한 성능 요구 기준인  $BER=10^{-3}$ 을 달성하지 못하나, 200 [mW]의 경우는 음성통신의 요구 조건을 만족하고 있고, 300 [mW]일 때는 데이터 통신을 위한 요구 조건인  $10^{-5}$ 까지 만족하고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 인체에서 흡수가 30 [%] 일어날 경우의 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율 성능을 보여주고 있는데, 안테나 실효 방사 출력이 200 [mW]와 300 [mW]인 경우 음성 통신을 위한 성능 요구 기준인  $10^{-3}$ 의 BER 을 달성하고 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 이동국 안테나 방사 출력 일부의 인체 흡수가 기지국에서의  $E_b/N_f$  에 가져오는 영향에 대해 조사 분석하고, 인체 흡수로 인해 감소된  $E_b/N_f$  를 기준으로 하여, 안테나 방사 출력 일부의 인체 흡수가 DS/CDMA BPSK 셀룰러 이동 통신 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

분석 결과, 인체 흡수가 30 [%]에서 40 [%]로 증가할 때 기지국에서의  $E_b/N_f$  값이 약 0.5 [dB] 정도 감소함을

알 수 있었으며, 40 [%]에서 50 [%]로 증가할 때에는 약 0.6 [dB] 정도 감소함을 알 수 있었다. 그리고, 시뮬레이션을 통해 사용자 수가 15이면 약 2.5 [dB]의  $E_b/N_f$  값에서 음성 통신의 서비스 기준인  $10^{-3}$  의 BER을 충분히 달성한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 서비스 기준을 만족시키기 위해서는 인체 흡수율이 10 [%] 증가할 때마다 안테나 방사 출력값을 약 20 [mW] 이상 증가시켜야 한다는 것도 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 송학현, "무선단말기 전자파 안전기준에 관한 고찰," *전파진흥*, pp. 25-39. 1998. 2.
- [2] 고성선, 이은기, "전자파의 인체영향에 대한 고찰," *전파진흥*, pp. 59-68. 1996. 8.
- [3] 김채영, 이승학, 정백호, "FDTD 방법을 이용한 휴대폰 전파의 인체 흡수전력량 산출," *한국전자과학기술회 논문지*, 제9권, 제4호, pp. 491-497, 1998. 8.
- [4] 이애경, 조광윤, 이혁재, "평면파에 노출된 인체 두부의 전력 흡수 해석," *한국전자과학기술회논문지*, 제8권, 제6호, pp. 665-680, 1997. 12.
- [5] 최형도, "이동통신단말기의 비흡수율(SAR) 측정기술," *전파진흥*, pp. 14-25. 1997. 6.
- [6] Michael A. Jensen, and Yahya Rahmat-Samii, "Em interaction of handset antennas and a human in personal communications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no 1, pp. 7-17, Jan. 1995.
- [7] Gianluca Lazzi, Feffrey Johnson, Shyam S. Pattnaik, and Om P. Gandhi, "Experimental study on compact, high-gain, low SAR single- and dual-band patch antenna for cellular telephones," *Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol 1, pp. 130-133, Jun. 1998.
- [8] *CDMA 이동전화 기술*, 포항종합제철 주식회사, 1994.
- [9] 오창현, 조성연, 노제성, 조성준, "이동통신 단말기의 전자파 간섭해석 연구," *한국전자통신연구원*, 최종보고서, 1999. 12.
- [10] J. Proakis, *Digital Communication*, McGraw-Hill, 3th Edition, 1995.
- [11] A. J. Viterbi, "Error bounds for convolution codes and asymptotically optimum decoding algorithm," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-13, no. 4, pp. 260-269, April 1967.

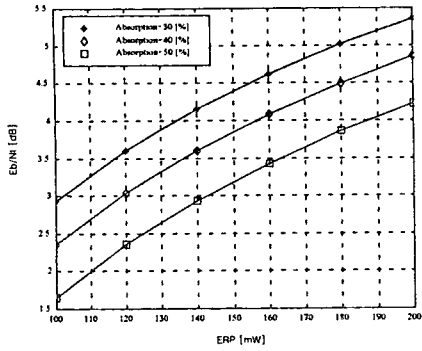


그림 2. 안테나 방사 출력의 인체 흡수에 따라 기지국에서 수신되는  $E_b/N_t$  값 [dB] ( $K=15$ )

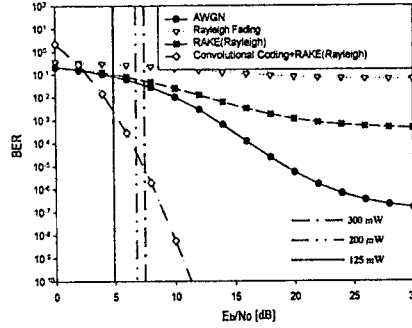


그림 5. 안테나 실효 방사 출력의 흡수가 일어나지 않는 경우의 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율

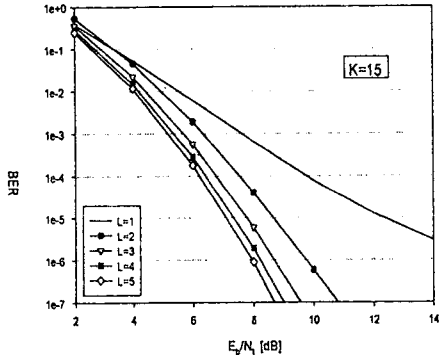


그림 3. RAKE 수신기와 컨벌루션 부호 사용 시 RAKE 수신기의 가지 수  $L$ 에 따른 비트 오율 ( $N=127, K=15, L=4, R=1/3, K_c=9$ )

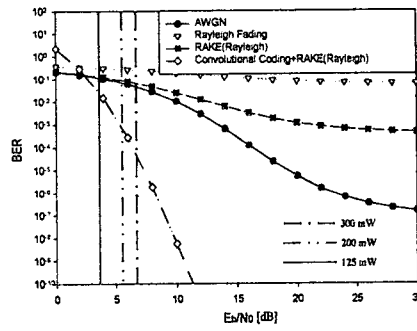


그림 6. 안테나 실효 방사 출력이 30 [%] 흡수될 경우의 DS/CDMA BPSK 시스템의 오율

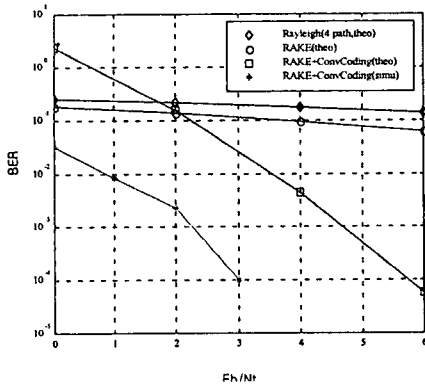


그림 4. DS/CDMA BPSK 시스템의 비트 오율 성능 ( $N=127, K=15, L=4, R=1/3, K_c=9$ )