

불완전 전력제어된 DS/CDMA 셀룰러 시스템에서 최대비 합성 다이버시티 및 선택 다이버시티의 영향

正會員 金 南 秀*

Effect of the MRC Diversity and Selection Diversity to the Imperfect Power Controlled DS/CDMA Cellular System

Nam-Soo Kim* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 불완전 전력제어된 DS/CDMA 셀룰러 이동통신 시스템에서 시스템의 성능을 개선하기 위한 방법으로 안테나 다이버시티를 적용하였을 때, 시스템의 용량에 미치는 효과를 분석하였다. 안테나 다이버시티 방법으로는 최대비 합성 다이버시티방식과 선택다이버시티를 적용하였으며, 각 방식에서 수신전력의 확률 밀도함수를 유도하여 오수신율을 구하였다. 분석에는 멀티셀에 의한 간섭, Voice activity, 다이버시티 경로 수 등을 파라메타로 하였다. 분석결과 다이버시티를 채택할 때 시스템 용량을 증가시킬 수 있었으며, 최대비 합성 다이버시티 방식이 선택 다이버시티 결과보다도 우수하였다.

ABSTRACT

We analyze the effect of the system capacity with antenna diversity which improves the system performance of a imperfect power controlled DS/CDMA cellular system. The MRC(Maximal ratio combining) antenna diversity and the selection antenna diversity are applied for the analysis, and the outage probability is calculated from the derived probability density function of the received power for each diversity. To analyze the effect of the various parameter, the multi-cell interference, Voice activity, and the number of a diversity path, etc. are considered. It is shown that the system capacity increases with a diversity and that the MRC diversity is more effective to increase the system capacity than the selection diversity.

I. 개 요

DS/CDMA(Direct sequence code division multiple access) 방식은 가입자 용량의 증가와 간섭신호에 강한 점등의 장점으로 디지털 셀룰러 방식으로 사용되고 있으며, 향후 개발될 개인통신 시스템 및 차세대

*청주대학교 정보통신과
論文番號:97172-0520
接受日字:1997年 5月 20日

이동통신 방식으로 많은 주목을 받고 있다[1, 2].

DS/CDMA 시스템이 가진 최대한의 가입자 용량을 수용하기 위해서는 근·원거리문제(Near-far problem)를 해결하여야 하며, 이를 위하여 역방향링크(Reverse link)의 완벽한 전력제어가 전제되어야 한다. 그러나 현실적으로는 무선 전송채널에서 발생하는 페이딩의 영향으로 완벽한 전력제어는 불가능하기 때문에 불완전한 전력제어에 의한 시스템 가입자 용량의 저하를 분석한 여러 논문들이 최근 발표되고 있다[3].

한편 시스템의 성능개선을 위한 방식으로 다이버시티 기술이 사용되는데 다이버시티 방식에는 시간, 공간, 주파수, 각도, 편파, 경로 다이버시티등 다양한 방식이 있다. 각각의 방식은 그 나름대로의 장단점을 가지고 있으며, 대부분 이론적으로는 우수한 특징을 가지고 있다고 하더라도 스펙트럼 효율, 실제 구현상의 문제점등으로 셀룰러 방식에 적용되고 있는 다이버시티 방식은 많지 않으며, 그 중에서 공간 다이버시티 및 경로 다이버시티 방식이 현재 적용되고 있다.

지금까지 발표된 논문들은 전력제어가 불완전할 때 시스템의 가입자 용량 감소만을 분석하였거나[3, 4], 또는 페이딩 채널에서 다이버시티 기법을 적용하였을 때 DS/CDMA 시스템의 성능 개선 등을 독립적으로 분석하였다[5, 6, 7]. 그러나 현실적으로는 DS/CDMA 셀룰러 시스템에서 완벽한 전력제어가 이루어지지 않고 있으며, 시스템의 성능향상을 위하여 다이버시티 기법을 사용하고 있다. 1996년 5월 M.Zorzi는 이 두 가지를 동시에 고려한 논문을 발표하였는데 다이버시티 기법으로 선택 다이버시티만을 고려하였으며, 더욱이 각 파라메타 변경시 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션으로 성능을 분석하였다[8]. 그러나 Zorzi의 논문은 DS/CDMA 시스템의 중요한 요소중의 하나인 Voice activity monitoring을 고려하지 않았고, 해석적(Analytical)인 방법이 아니라 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 분석 방법을 사용하므로서 몇 가지 파라메타를 변경하는 경우에도 수 많은 시뮬레이션을 다시 해야하므로 시스템의 성능분석에 매우 긴 시간이 소요되는 단점이 있다.

따라서 본 논문은 불완전 전력 제어된 DS/CDMA 셀룰러 시스템에 다이버시티를 적용하였을 때의 가입자 용량의 변화를 해석적(Analytical)인 방법에 의

하여 분석하였다. 분석에는 멀티 셀로부터의 간섭, Voice activity, 불완전 전력제어, 그리고 다이버시티 경로 수를 파라메타로 하여 각각의 상황에서 오수신율(Outage probability)을 유도하고, 오수신율로부터 가입자 용량의 변화를 분석하였다. 특히 본 논문에서 고려한 다이버시티 방법으로는 가장 성능이 우수하다고 알려진 최대비 합성(Maximal ratio combining) 다이버시티[9]와 선택 다이버시티(Selection diversity)를 사용하였을 때의 가입자 용량의 변화를 구하였고, 그 영향을 서로 비교하였다. 본 논문의 구성은 제2장에서 분석하고자 하는 시스템의 모델을 서술하였고, 제3장에서 오수신율(Outage probability)의 유도, 그리고 제4장에서는 다이버시티를 고려할 때의 확률밀도함수를 언급하였으며, 제5장에서는 다이버시티 방법 및 각 파라메타 변경시 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량을 계산하였고 계산 결과를 고찰하였다. 끝으로 제6장에서 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델

일반적인 셀룰러 시스템의 셀 설계는 지형과 기타의 영향을 고려하여 셀 통화 영역을 정하고 있다. 그러나 전파자원을 효율적으로 사용하기 위해서, 그리고 이론적인 해석을 용이하게 하기 위하여 정육각형으로 배열된 셀 배치를 주로 예를 들고 있다. 그림 1에 일반적인 이동통신 시스템의 정육각형 셀 배치 구조를 나타내었고, 자신의 셀 뿐만 아니라 타 셀로부터의 간섭을 나타내고 있다.

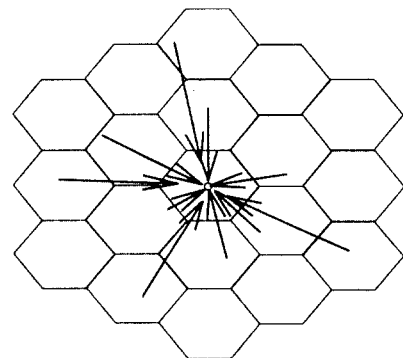


그림 1. 이동통신 시스템의 셀 구조 및 간섭
Fig. 1 The cell pattern and interference model of mobile system

먼저 희망하는 이동국의 송신전력을 완벽하게 전력 제어한다면, 기지국이 수신한 이동국의 신호전력은 페이딩의 영향과는 무관하게 일정한 값을 갖는다. 그러나 실제로는 완벽한 전력제어가 불가능하므로 기지국에서 수신되는 전력 P 가 일정하지 않고 변동하는데, 그 변동하는 수신전력의 확률 밀도함수는 대수정규(Log-normal)분포를 갖는다고 알려져 있고 다음 식과 같이 쓸 수 있다[3].

$$f(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma P} \exp\left\{-\frac{(\ln P - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

여기서 σ 는 표준편차인데, 만일 전력제어가 완벽하다면 σ 는 0 dB가되지만 실제 수신전력의 표준편차를 측정 한 결과는 1내지 2 dB 이다[10, 11]. 그리고 μ 는 평균값이다. 표준편차 σ 및 평균값 μ 는 상용로그값 (dB)과 각각 다음과 같은 관계가 있다[12].

$$\begin{aligned} \sigma_{dB} &= 4.343 \sigma \\ \mu_{dB} &= 4.343 \mu \end{aligned} \quad (2)$$

한편 동일 셀 내에 k 개의 DS/CDMA 이동국이 동시에 통화한다면, $(k-1)$ 개의 간섭 이동국들은 기지국으로부터 각각 전력제어를 받으므로 상호독립이고, 수신된 신호의 전력밀도함수는 각각 대수 정규분포를 한다. 그러므로 $(k-1)$ 개의 이동국으로부터의 다중역세스 간섭전력 P_i 는 각 간섭전력의 합으로 나타낼 수 있다[3].

$$P_i = \sum_{i=1}^{k-1} P_i \quad (3)$$

여기서 P_i 는 i 번째 DS/CDMA 이동국으로부터 기지국이 수신한 전력이다. 그리고 각각의 이동국은 기지국으로부터 독립적으로 전력제어를 받고 있으므로 $k-1$ 개의 이동국으로부터 수신한 수신전력의 확률 밀도함수는 역시 대수정규 분포를 갖는데 표준편차가 비교적 작은 4 dB 이내에는 Fenton 이 제시한 방법[12]으로 계산 할 수 있으며, 상대적으로 큰 4 dB 내지 12 dB사이의 값을 갖는 경우에는 Schwartz와 Yeh의 방법으로 계산한다[13]. 실제 DS/CDMA 셀룰러 시스템의 수신전력의 표준편차를 측정 한 결과가 4 dB 미만[10, 11]이므로 Fenton이 계산한 결과를 이용하면,

$k-1$ 개의 간섭 이동국으로부터 수신된 전력의 확률 밀도함수는 역시 대수 정규분포를 갖으며, 표준편차 $\sigma_f(k-1)$ 및 평균값 $m_f(k-1)$ 은 각각 다음 식과 같이 주어진다[12].

$$\sigma_f(k-1) = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{k-1} \exp \sigma^2 + \frac{k-2}{k-1}\right)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} m_f(k-1) &= \ln(k-1) + m_d + \frac{\sigma^2}{2} - \frac{1}{2} \\ &\quad \ln\left(\frac{k-2}{k-1} + \frac{1}{k-1} e^{\sigma^2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

그러므로 식(4)와 식(5)을 식(1)에 대입하면 $k-1$ 개의 DS/CDMA 간섭파에 대한 확률 밀도함수를 구할 수 있다.

한편 간섭은 동일 셀 간의 간섭 뿐만 아니라 멀티셀로부터의 간섭도 존재하므로 Jansen[3]은 인접셀에 의한 간섭을 고려하기 위하여 간섭 교정계수, F_m 을 다음과 같이 정의하였다.

$$F_m = \frac{I_m}{I_h} = \frac{I_m}{(N-1)S_p} \quad (6)$$

여기서 I_m 은 인접셀의 이동국으로부터의 간섭이고, I_h 는 동일셀에 있는 이동국으로부터의 간섭전력이다. N 는 셀당 이동국의 수이고, S_p 는 완벽한 전력제어시 이동국으로부터 수신한 전력이다. 일반적으로 이동통신 환경에서 가정하는 거리에 따른 전파 감쇄지수를 4로 가정하고 주위 셀(Number of tiers)을 10 층이상 고려하면 F_m 은 0.326이 되고, 단일 셀만 존재하는 경우에는 F_m 은 0 이다.

III. 오수신율

셀룰러 시스템을 설치운용하기 위하여 중요한 요소 중의 하나는 셀 반경을 정하는 것이다. 셀 반경은 오수신율을 기준으로 설정하게 되는데, 오수신율 P_{out} 은 신호전력과 간섭전력의 비가 기준값(Threshold 또는 Protection ratio), q 보다 작을 확률을 나타내며 성공할 확률 P_{suc} 과는 다음의 관계가 있다.

$$P_{out} = 1 - P_{suc} \quad (7)$$

그리고 성공할 확률 P_{Suc} 은 다음 식으로 표현할 수 있다[14].

$$P_{Suc} = P\left(\frac{S}{I} > q\right) = \int_0^\infty f_I(x) \int_{qx}^\infty f_S(y) dy dx \quad (8)$$

여기서 S 는 신호전력, I 는 간섭전력이고 q 는 기준 값이다. 그리고 $f_S(\cdot)$ 는 희망파 전력의 확률 밀도함수이고, $f_I(\cdot)$ 는 간섭파 전력의 확률 밀도함수이다.

DS/CDMA 시스템에서 기준값 q 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$q = \frac{1}{PG} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{min} (1 + F_m) \quad (9)$$

여기서 $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{min}$ 는 수신기가 희망하는 성능을 유지하기 위한 최소한의 비트당 에너지 대 잡음전력밀도인데, 물론 수신기에 따라서 이 값은 달라진다. 그리고 PG 는 처리이득(Processing gain)이며, F_m 은 식(6)에서 정의한 간섭 교정계수이다.

한편 DS/CDMA 시스템에서는 다수의 사용자로부터의 간섭을 줄이기 위한 방법의 하나로 통화하지 않는 동안에는 송신하지 않도록 하는 음성감시 방식(Voice activity monitoring)을 사용한다. 음성감시 방식을 적용한 시스템의 오수신율은 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{ow}^a = \sum_{k=1}^N P_{out}(k) \binom{N}{k} a^k (1 - a^{N-k}) \quad (10)$$

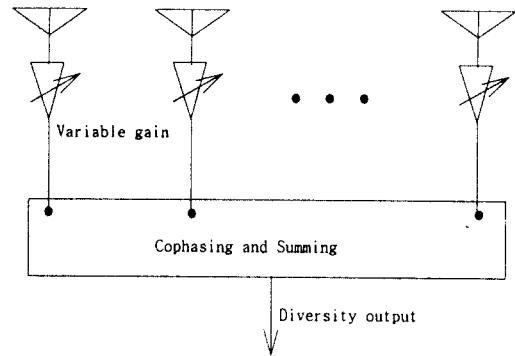
여기서 N 는 전체 가입자수이고, k 는 통화를 하는 사용자(Active user)이다. 그리고 a 는 통화율(Voice activity factor)이다.

IV. 다이버시티

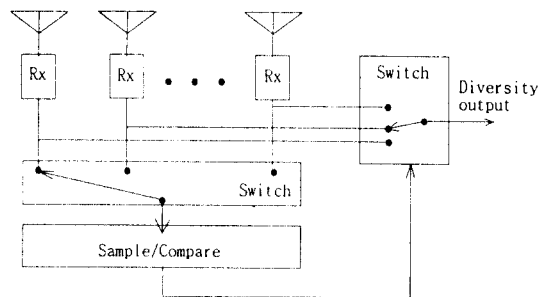
수신기의 성능을 개선하기 위한 방법으로 안테나 다이버시티 기법이 주로 사용되고 있으며, 그 중에서 최대비 합성(Maximal ratio combining)방법이 가장 성능이 우수하다고 알려져 있다[9]. 최대비 합성다이버시티 방식은 각 다이버시티 가지(Branch)에 입력된 신호에 입력된 신호의 진폭 및 복조된 위상을 곱해준

후 각 가지의 출력을 합성하는 방식이다. 한편 스펙트럼 확산통신 방식에 적용하는 다이버시티 기법의 하나인 레이크 수신기(Rake receiver)는 다중경로에 의한 신호지연을 이용하여 성능을 개선하고 있는데 코우히어런트 레이크 수신기도 기능상 최대비 합성 방식을 사용하고 있다[15].

그리고 다이버시티 시스템의 구현시 구조가 간단하면서도 시스템의 성능을 개선하기 위한 방법으로 선택 다이버시티가 있다. 선택 다이버시티는 안테나를 통하여 수신된 신호를 계속하여 비교한 후, 가장 신호 대 잡음비가 우수한 것을 선택하는데 실제 이 방식을 적용할 때에는 신호대 잡음비를 계산하기보다



(a) 최대비 합성 다이버시티
(a) MRC diversity



(b) 선택 다이버시티
(b) Selection diversity

그림 2. 최대비합성 다이버시티와 선택 다이버시티의 구성도
Fig. 2 Block diagram of the MRC diversity and selection diversity

수신신호의 세기가 가장 큰 것을 선택한다. 그림 2는 최대비 합성 다이버시티와 선택 다이버시티 방법을 보여주고 있다.

최대비 합성방식은 수신된 신호의 포락선의 크기에 따라서 곱해주는 계수가 비례하며, 각 가지의 수신기는 수신되는 신호의 위상이 일치하는 참조 신호(Reference signal)를 곱해준다. 즉 각 다이버시티 경로의 출력은 다시 합성기에 의하여 더해짐으로서 성능을 개선시킨다. 만일 각 가지로 들어온 신호가 서로 독립이라면, 최종 출력신호의 확률 밀도함수 f_{mrc} 는 각 다이버시티 경로의 확률 밀도함수를 서로 컨볼루션 하면 얻을 수 있고 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$f_{mrc} = f_{s1} \otimes f_{s2} \otimes \dots \otimes f_{sm} \quad (11)$$

여기서 \otimes 는 컨볼루션을 의미하며, $f_{s1}, f_{s2}, \dots, f_{sm}$ 은 각 다이버시티 경로 1, 2, ..., m에서 각각의 출력 확률 밀도함수이다. 그런데 각 다이버시티 경로의 출력 확률 밀도함수는 불완전 전력제어인 신호의 확률 밀도함수와 같이 대수 정규분포를 하고, 이 대수 정규 분포된 함수가 각각 독립이라고 가정하면 합쳐진 신호 역시 대수 정규분포를 한다. 따라서 최대비 합성 다이버시티 출력 신호는 앞의 식(1)과 같은 형태의 확률 밀도함수 f_{mrc} 를 가지며, 안테나 경로 수에 따른 희망신호의 표준편차 및 평균전력 역시 다중역세스 간섭을 계산할 때와 동일한 방법으로 식(4)와 식(5)을 이용하여 구할 수 있다.

선택 다이버시티를 통과한 후의 출력신호에 대한 누적 분포함수(cdf; Cumulative distribution function)는 각 가지의 수신전력의 누적분포함수를 곱한 값이며[6], 따라서 선택 다이버시티 출력의 확률 밀도함수 f_{sd} 는 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$f_{sd} = \frac{d}{dx} [P_1(x) P_2(x) \dots P_m(x)] \quad (12)$$

여기서 m 는 다이버시티 가지의 수이며, $P_m(x)$ 는 m 번째 수신기의 누적분포함수를 나타낸다.

V. 계산 결과 및 고찰

앞 절에서 유도한 안테나 다이버시티의 영향을 고

려하기 위하여 다음과 같은 파라메타를 가지고 계산을 하였다. 참고문헌 [16]에서는 수신기에서 시스템의 성능을 만족시키기 위해 필요한 최소 $(E_b/N_0)_{min}$ 는 7 dB로 가정하고 있다. 따라서 본 논문의 계산 예에서도 $(E_b/N_0)_{min}$ 는 7 dB로 정하였다. 그리고 현재 사용하고 있는 셀룰러 방식인 IS-95 DS/CDMA의 처리이득이 128이므로, 계산에 사용한 처리이득은 128로 정하였다. 시스템의 용량은 오수신율이 0.01 이하가 될 때에 한 셀당 최대 사용자수로 정의하였다.

그림 3은 처리이득이 128이고 멀티 셀일 때, 식(7) 및 식(10)을 이용하여 전력제어 오차와 Voice activity의 변화에 따른 가입자 용량의 변화를 나타내고 있다. 이미 예측한 바와 같이 Voice activity 파라메타, a 가 큰 경우 가입자의 용량은 감소하며 전력제어 오차가 큰 경우 용량은 감소하는 것을 알 수 있다. a 가 0.3이고 전력제어가 완벽한 경우는 시스템의 용량이 65명에서, 전력제어 오차가 1 dB, 2 dB, 3 dB, 4 dB로 증가함에 따라서 시스템 가입자 용량은 31명, 17명, 9명, 그리고 3명으로 각각 47.7%, 26.2%, 13.8%, 그리고 4.6%로 감소함을 알 수 있다. 그리고 전력제어 오차가 3 dB이하인 경우는 a 값에 무관하게 가입자의 용량이 10명 이하로 급격히 감소하므로 전력제어 오차에 의한 가입자 용량 변화는 매우 민감한 것을 알 수 있다. 이 결과는 Jansen에 의한 결과와 동일하다[3].

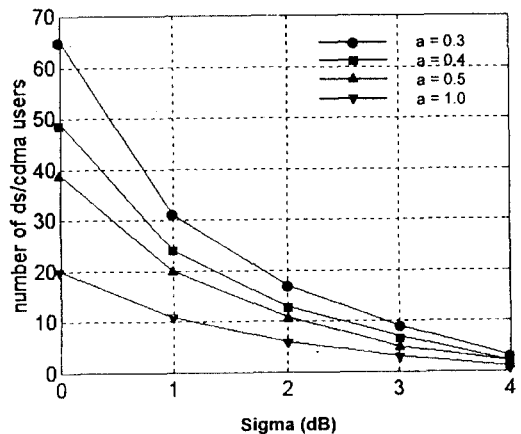


그림 3. 전력제어 오차 및 통화율에 따른 가입자 용량의 변화 (no diversity, processing gain = 128, multi-cell)
Fig. 3 The capacity of a DS/CDMA system as function of power control error and voice activity (no diversity, processing gain = 128, multi-cell)

그림 4는 안테나가 2개인 선택 다이버시티를 채택하였을 때 식(7), 식(10), 그리고 식(12)를 사용하여 계산한 가입자 용량의 변화를 보여주고 있다. 완벽한 전력제어시에 다이버시티를 채택하지 않은 경우와 선택 다이버시티를 채택한 경우를 비교하면 a 가 1 및

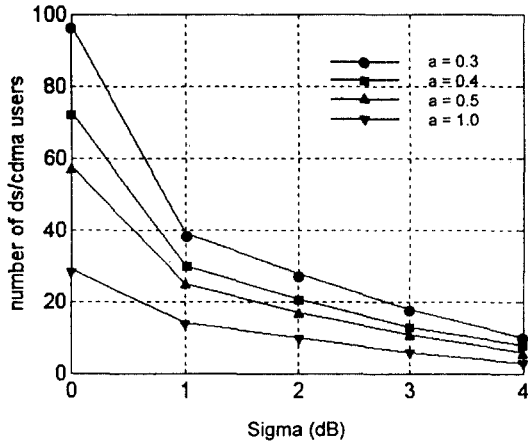


그림 4. 선택 다이버시티에 의한 가입자 용량의 변화 (Ant.= 2)
Fig. 4 The capacity of a DS/CDMA system with selection diversity as function of the power control error and voice activity (Ant. = 2)

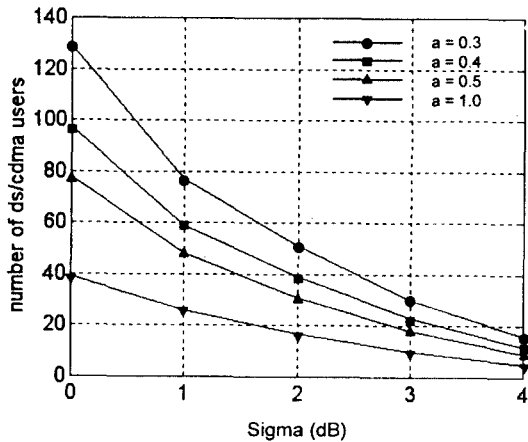


그림 5. 최대비 합성 다이버시티에 의한 가입자 용량의 변화 (Ant. = 2)
Fig. 5 The capacity of a DS/CDMA system with MRC diversity as function of the power control error and voice activity (Ant. = 2)

0.3일 경우 각각 45% 및 49.2%, 그리고 전력제어 오차가 1 dB일 때에는 각각 27.3% 및 25.8%로 선택 다이버시티를 채택한 경우 가입자 용량이 증가함을 알 수 있었다.

그림 5는 안테나가 2개인 최대비 합성 다이버시티를 채택하였을 때 식(7), 식(10), 그리고 식(11)을 사용하여 계산한 가입자 용량의 변화를 보여주고 있다. 완벽한 전력제어시에 다이버시티를 채택하지 않은 경우와 최대비 합성 다이버시티를 채택한 경우를 비교하면 a 가 1 및 0.3 일 경우 각각 95% 및 98.5%, 그리고 전력제어 오차가 1 dB일 때에는 각각 136% 및 148%로 최대비 합성 다이버시티를 채택한 경우 가입자 용량이 현저히 증가함을 알 수 있었다.

그림 6은 안테나의 개수 증가에 따라서 선택 다이버시티 및 최대비 합성 다이버시티의 영향을 동시에 비교하기 위하여 그림 4 및 그림 5를 재구성한 것인데, 수신 안테나의 개수가 동일한 경우 최대비 합성 다이버시티 방법이 선택 다이버시티 방법보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 그리고 안테나의 개수가 증가할수록, 최대비 합성 다이버시티 방식이 선택 다이버시티 방식보다 용량증가율이 현저함을 알 수 있다.

그림 7은 a 를 0.3으로 고정하였을 때, 다이버시티를 사용하지 않은 시스템과 다이버시티를 사용한 시스템

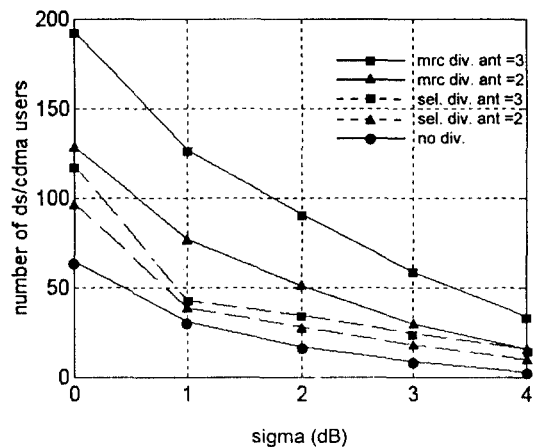


그림 6. 최대비 합성 다이버시티와 선택 다이버시티의 성능 비교
Fig. 6 Performance comparisons of the MRC diversity and the selection diversity

템의 용량의 변화를 나타낸 것이다. 세로축은 각 전력제어 오차사 다이버시티를 사용하지 않았을 때를 기준으로 하여, 다이버시티를 사용하였을 때를 정규화한 값이다. 예를 들면 전력제어 오차가 1 dB일 때 다이버시티를 사용하지 않은 가입자 용량은 31명이었는데, 안테나를 3개 사용하는 최대비 합성 다이버시티는 127명으로 4.1배가 증가한 것이다.

이 그림 7에서 보는 바와 같이 안테나 2개를 사용한 최대비 합성 다이버시티 방식이 안테나를 3개 사용하는 선택 다이버시티 시스템보다도 성능이 우수함을 알 수 있다.

그리고 일반적으로 전력제어 오차가 클수록 안테나 다이버시티의 효과는 증가하고 있다. 다이버시티 시스템의 성능변화 추세와 마찬가지로 안테나수가 증가함에 따라서 가입자 용량은 비례하여 증가하지는 않는다는 것을 알 수 있다.

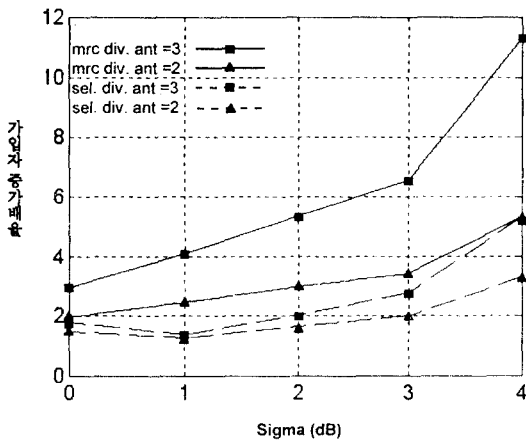


그림 7. 다이버시티 방식에 따른 정규화된 가입자 증가배율
Fig. 7 Normalized capacity increase of a DS/CDMA system with diversity

VI. 결 론

본 논문에서는 전력제어 오차와 다이버시티에 의한 DS/CDMA 시스템의 가입자 용량변화를 해석적인 방법에 의하여 유도하였다. 해석에 적용한 다이버시티 방법으로는 다이버시티 방식중 가장 성능이 우수하다고 알려진 최대비 합성 다이버시티와 선택 다

버시티를 적용하였다. 전반적으로 그림 6에서 보는 바와 같이 선택 다이버시티보다는 최대비 합성 다이버시티 방식이 성능이 우수하며, 결국 시스템의 가입자 용량을 증가율이 우수함을 계산결과 알 수 있었다. 안테나 수의 증가에 따른 가입자 용량의 증가율은 그림 7에 나타내었으며, 안테나의 숫자가 증가함에 따라서 가입자의 용량은 증가하지만 그 증가율이 선형적으로 비례하지는 않음을 알 수 있었다.

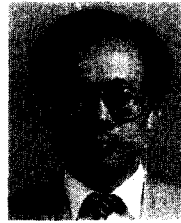
음성 통화율을 변화시키면서 가입자의 용량을 비교하였고, 전력제어 오차가 커질수록 음성통화율에 따른 가입자 용량의 변화는 둔감하였다. 그리고 전력제어 오차가 커질수록 다이버시티 안테나에 의한 성능 향상 및 가입자 용량증가는 효과적이라는 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구의 결과는 DS/CDMA 셀룰러 시스템의 가입자 용량과 전력제어, 통화율, 그리고 다이버시티의 효과에 대한 이론적 근거로 사용할 수 있으며, 향후에는 Fast 페이딩에 의한 성능변화 연구를 계속 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. EIA/TIA, IS-95 Mobile station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system, Feb. 1993.
2. ANSI J-STD-008, Personal station-base station compatibility requirement for 1.8 to 2.0 GHz CDMA personal communication system, Mar. 1995.
3. M. Jansen, R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. on veh. technol.*, vol. 94, no. 1, pp. 67-75, Feb. 1995.
4. R. Prasad, et al, "Effect of imperfect power control on cellular code division multiple access system," *IEE, Electronic letters*, vol. 28, no. 9, pp. 848-849, April 1992.
5. M. sunay and P. McLane, "Diversity combining for DS CDMA system with synchronization errors," *ICC 96*, pp. 83-89, 1996.
6. R. van Nee and R. Prasad, "Spread-spectrum path

- diversity in a shadowed Rician fading land-mobile satellite channel," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 42, no. 2, pp. 131-136, May 1993.
7. K. Wu and S. Tsaur, "Selection diversity for DS-SSMA communications on Nakagami fading channel," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 43, no. 3, pp. 428-438, Aug. 1994.
 8. M. Zorzi, "Power control and diversity in mobile radio cellular system in the presence of Ricean fading and log-normal shadowing", IEEE Trans. on Veh. technol., vol. 45, no. 2, pp. 373-382, May 1996.
 9. M. D. Yacoub, Foundation of mobile radio engineering, CRC press, 1993.
 10. A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," IEEE J. Select. Areas Communi., vol. 11, pp. 892-899, Aug. 1993.
 11. A. M. Viterbi and A. J. Viterbi and E. Zehavi, "Performance of power controlled wideband terrestrial digital communication," IEEE Trans. Communi., vol. 41, pp. 559-569, Apr. 1993.
 12. L. F. Fenton, "The sum of log-normal probability distribution in scatter transmission systems," IRE Trans. on Communi., System, vol. C5-8, pp. 57-67, Mar. 1960.
 13. S. C. Schwartz and Y. S. Yeh., "On the distribution function and moments of power sum with log-normal components," BS저, vol. 61, no. 7, pp. 1441-1462, Sep. 1982.
 14. J. Linnartz, Narrowband land-mobile networks, Artech House. Inc., 1993.
 15. J. Proaks, Digital communications, McGRAW-Hill, Inc., 3rd ed, 1995.
 16. K. Gilhousen, et al, "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. on Veh. technol., vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.



金 南 秀(Nam-Soo Kim) 정회원

1957년 10월 16일생

1981년 2월:광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 3월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 7월~1994년 2월:한국전자통신연구소 무선기술 연구실 선임연구원, 실장역임

1991년 1월~10월:BNR(Bell Northern Research) 방문연구원

1994년 3월~현재:청주대학교 정보통신공학과 교수
※주관심분야: 디지털 이동통신, 무선시스템