

# CDMA 이동통신 시스템의 용량 증가를 위한 분산 제어 안테나 시스템

정희원 권종형\*, 노재호\*, 이재혁\*, 정현민\*\*, 강창언\*

## A Controlled Distributed Antenna System for Increasing the Capacity in the DS/CDMA System

Jong Hyung Kwun\*, Jae Ho Roh\*, Jae Hyuck Lee\*, Hyun Meen Jung\*\*, Chang Eon Kang\*  
Regular Members

### 요약

셀룰라 이동통신 시스템에서는 장기 페이딩을 극복하고 시스템의 용량을 증가시키기 위해 수동 증계기인 Radio 포트를 사용한 시뮬캐스팅 기법을 적용하려는 추세에 있다. 시뮬캐스팅 기법은 한 셀내에 추가적으로 저가의 포트를 배치하고 고가의 기지국 장비를 공유하게 하여 적은 비용으로 기존의 서비스 영역을 확장시킬 수 있다. 그러나 시뮬캐스팅 기법을 기존의 DS/CDMA 시스템에 적용할 경우 SINR관점에서의 성능 향상이 시스템 확장 비용에 비해 두드러진 증가가 나타나지 않는다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선할 수 있는 분산 제어 안테나 시스템을 제안한다. 한 셀 내의 다수의 포트 중 특정 포트를 통해서만 신호를 송수신하도록 하는 매크로 다이버시티를 응용하여 다른 사용자로 인한 간섭을 감소시켜 그의 SINR성능을 개선한다. 양방향 링크의 셀 내의 모든 지점에서의 평균 SINR을 분석하고, DS/CDMA 시스템, 시뮬캐스팅 기법을 적용한 시스템과의 비교를 통해 시스템 용량을 증가시킬 수 있음을 확인한다.

### ABSTRACT

Simulcasting is currently being used in cellular mobile communication systems to overcome long term fading and to increase the system capacity. Simulcasting expands the service area of a system by deploying multiple low cost ports that share the high cost equipments of a base station. However, a minor drawback of this scheme lies in the fact that SINR increases when conventional DS/CDMA is used. In this paper, controlled distributed antenna system is proposed to overcome this drawback. By employing macro diversity which transmits and receives through only a single specific port, multiple access interference is reduced, improving the system performance. Increase in system capacity is shown from analyzing the average SINR in a cell for up/downlink and comparing it with a DS/CDMA system in which simulcasting is applied.

### I. 서론

이동통신 시스템에서 신호의 페이딩으로 인한 왜곡은 시스템의 용량 확장 및 서비스의 질에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 신호의 페이딩은 단기 페이딩과 장기 페이딩으로 구분되는데, CDMA 방식을 사용하는 이동통신 시스템에서는 RAKE 수신기를

사용하여, 그리고 다중 사용자 환경에서의 수신을 고려할 경우에는 채널의 예측을 통해 단기 페이딩을 극복하고 있다. 그러나 장기 페이딩으로 인한 신호의 왜곡은 단기 페이딩과는 다른 해결 방법이 필요하다[5].

시뮬캐스팅 기법은 이와같은 장기 페이딩으로 인한 영향을 극복하기 위해 연구된 기법으로 하나의

\*연세대학교 전자공학과, \*\*한국통신무선통신연구소

논문번호:98359-0814

\*이 논문은 한국통신의 정보통신 기초사업의 과제지원(과제번호 97-27)으로 수행되었습니다.

셀 내에서 적용 가능하며 다수의 안테나를 통해 동일한 정보를 송\*수신하는 방식이다. 이 방식은 실내 및 실외의 환경에서 모두 적용 가능하며 특히 실외 환경 즉 사용자 밀도가 낮은 시골 지역에 적용할 경우 다수의 포트로부터 하나의 셀을 구성하고 동일한 송신 신호를 동일 셀내의 모든 포트에서 동시에 전송하기 때문에 넓은 셀 내의 포트 사이의 사용자 이동에 따른 추가적인 핸드 오프 요구가 발생하지 않고 양질의 통화 서비스를 받을 수 있으며, 지하 공간이나 음영 지역까지 높은 수준의 통화 품질로 서비스 영역을 확대할 수 있다[8]. 그러나 기지국의 신호 복원 과정에서 한 셀 내에 산재한 모든 포트들로부터 수신된 신호가 사용되므로 신호대 잡음비가 낮은 포트의 영향으로 인해 간섭과 잡음의 누적 현상이 발생한다. 즉 기존의 시뮬케스트 시스템을 DS/CDMA 시스템에 적용할 경우, 시스템 측면에서의 부담은 적지만, 잡음과 간섭의 증가로 인해 평균적인 신호대 잡음비가 크게 증가하지 않는다[3].

본 논문에서는 이러한 시뮬케스트 기법의 단점을 보완한 분산 제어 안테나 기법을 제안하고 이 기법을 CDMA 이동 통신 시스템에 적용하여 SINR 측면의 성능을 분석하였다. 제안된 분산 제어 안테나 기법에서는 역방향 링크에서 한 셀을 구성하는 모든 포트로부터의 신호를 기지국으로 전송하고 그 중 가장 수신 전력이 큰 신호만을 선택하여 신호를 복원하는 방식을 취했으며, 순방향 링크에서도 이동국이 속해 있는 포트를 기지국에서 선택하여 해당 포트로부터 신호를 전송하도록 하였다. 특정 포트만을 통해 신호를 송수신하므로 다른 사용자에게 의한 간섭이 감소하고 결과적으로 평균 SINR 이 증가하여 간섭 제한된 CDMA 시스템의 용량을 증가시킬 수 있으며, 이러한 특정 포트로부터의 신호 선택이 가능하기 위해서는 각 포트들의 수신 신호를 기지국에서 잘 분리해 낼 수 있어야 한다. 이와 같은 신호의 분리는 각 포트와 연결된 HFC망에 시간 지연 소자의 지연 값을 독립적으로 설정함으로써 가능해질 수 있다.

지금까지의 시뮬케스트 기법의 관련 연구들은 셀 내의 평균 SINR이 아닌 셀 경계 지점에서의 최악(Worst Case)의 SINR을 기준으로 성능을 비교하였고,

계산상의 편의를 위해 정사각형 형태의 셀 배치를 가정하였으나[2], 본 논문에서 제안된 시스템은 기존의 DS/CDMA 시스템의 성능 및 시뮬케스트 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 성능과 정확하게 비교 분석하기 위해 정육각형 형태의 셀을 가정하였고, 장기 페이딩을 고려한 한 셀 내의 평균 SINR과 한 셀 내 SINR의 통계적 분포를 계산하여 다른 시스템과 비교하였다.본 논문의 2장에서는 분산 제어 안테나 시스템의 기본 구조와 특성에 대하여 살펴보고, 3장에서는 장기 페이딩 신호 간섭량을 계산하여 제안된 시스템의 성능을 분석한다.4장에서는 DS/CDMA 시스템, 시뮬케스트 기법을 적용한 시스템과의 비교 결과를 보이고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 분산 제어 안테나 시스템

본 논문에서 제안하는 분산 제어 안테나 시스템은 시뮬케스트 기법을 적용한 시스템의 구조와 유사하게 각 포트와 기지국, 시간 지연 소자와 HFC망으로 구성된다[3]. 그러나 특정 포트를 통해 신호를 전송할 수 있게 하는 안테나 포트 제어기와 가장 SINR이 큰 포트를 선택하기 위해 필요한 수신 전력 탐색기를 기지국에 추가적으로 설치해야 한다. 그리고 특정 포트의 신호만으로 정보 신호를 복원하기 위해서는 각 포트로부터의 신호가 기지국에서 적절히 분리되도록 시간 지연 소자를 첨가하여 설정해야 한다.

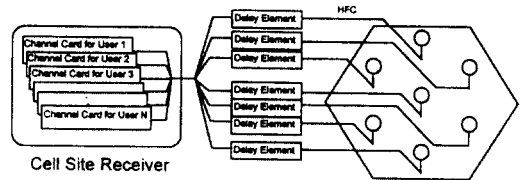


그림 1. 분산 제어 안테나 시스템의 역방향 링크 구성도

제안된 분산 제어 안테나 시스템의 역방향 링크는 그림 1과 같이 구성된다. 한 사용자로부터의 신호는 다수의 포트에서 독립적으로 수신된 후 각각 HFC를 통해 기지국으로 전송된다. 이 때 각 포트의 신호들

은 고유한 시간 지연 소자를 통과한 후에 기지국에 수신된다. 이렇게 수신된 신호는 각 사용자별로 분리되어 해당 사용자의 채널카드로 보내진다. 각 사용자의 채널카드는 역방향 링크의 시간 지연 소자에 설정된 시간 지연 값을 이용하여 해당 사용자의 신호를 포트별로 분리해 낸다. 기지국은 분리된 각 포트 신호의 SINR을 측정하여 특정 사용자에 대해 가장 SINR이 큰 포트의 신호를 선택하고 이 신호를 복조하여 해당 사용자의 신호를 복원한다.

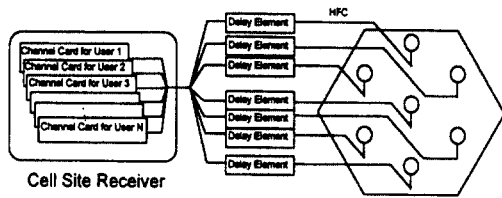


그림 2. 분산 제어 안테나 시스템의 순방향 링크 구성도

제안된 분산 제어 안테나 시스템의 순방향 링크는 그림 2와 같이 구성된다. 기지국의 송신단에서는 역방향 링크의 포트 선택을 기준으로 각 사용자에게 할당될 포트를 결정한다. 순방향 링크의 안테나 포트 제어기는 각 사용자에게 할당된 채널 카드들로부터 받은 전송할 신호들을 사용자-포트간 할당표에 따라 포트별로 다중화 한다. 하나의 포트에 전송할 신호들이 다중화된 후 각 포트별로 합쳐진 신호는 HFC망을 통해 각 포트에 전송되고 안테나를 통해 전송된다. 이때 안테나 포트 제어기는 간단한 다중화기로 구성 가능하며 기존의 안테나 다이버시티[1]와 동일한 효과를 얻을 수 있다.

제안된 시스템은 특정 포트의 신호만을 선택하여 사용자의 신호를 복원한다. 따라서 PN 코드의 상관관계 특성을 사용하여 각 포트 신호를 분리해 내기 위해서는 페이딩 현상을 고려한 모든 포트의 다경로 신호가 서로 한 칩 이상의 시간 간격을 두고 기지국에 수신되어야 기지국의 사용자 카드에서 포트별로 분리할 수 있다. 그런데 각 포트의 수신신호들은 페이딩 현상에 의해 서로 다른 시간 지연 프로파일을 갖고 이 프로파일의 중요성분들 사이의 시간 간격은

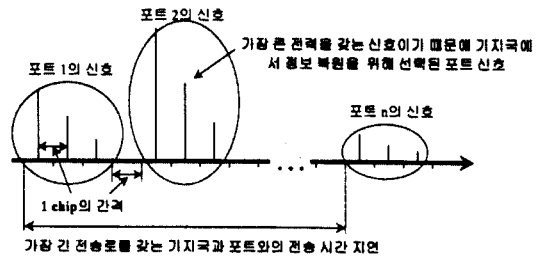


그림 3. 기지국에 전송된 특정 사용자 신호의 시간 지연 프로파일

전파 환경에 따라 다르다. 결과적으로 시스템 설계자는 각 포트 신호의 시간 지연 프로파일을 충분히 고려하고 미리 포트들과 기지국 사이의 전송로의 길이의 차이에 의한 기지국에 수신되는 시간 지연 차이를 정확히 예측하여 다른 포트로부터의 중요 다경로 성분들이 서로 겹치지 않도록 한 칩 이상의 시간 간격을 확보해야 한다. 만약 다경로 성분들이 분리되지 않는다면 다른 포트의 다경로 성분들에 간섭 성분으로 첨가되어 시스템의 성능을 악화시킬 수 있다. 제안된 시스템의 기지국의 해당 사용자 채널카드에서 본 전체 신호의 프로파일 형태는 그림 3과 같다. 각 포트가 3개의 주요 다경로 성분을 갖는다고 가정할 때, 포트 2로부터의 신호가 가장 크므로 포트 2로부터 수신된 신호가 주요 수신 신호가 되어 기지국의 RAKE 수신기의 입력단으로 들어간다.

본 논문에서는 논문 [3]의 포트 배치를 적용하였으며, 셀 당 포트의 수는 1개, 4개, 7개 일 경우를 가정하고 성능 분석을 하였다. 기존의 이동통신 환경에서 DS/CDMA 시스템, 시뮬케스트 기법을 적용한 시스템과 성능 비교를 위해 트래픽이 균일하게 분포한다고 가정하고 포트도 균일하게 배치한다. 참고로 포트와 기지국 간의 연결은 포트의 개수가 적을 때 가장 효과적인 성형 연결 방식을 사용하였다[9].

제안된 시스템은 전파 환경의 영향, 또는 호의 분포에 따라 가변적으로 포트들을 클러스터링(Clustering) 할 수 있으므로 기지국 영역 결정의 유연성을 갖도록 할 수 있다. 전파 환경이 열악한 지점에서는 포트의 동적 할당이 가능하고, 지역적으로는 멀리 떨어져 있어도 지역의 동질성에 따라 같은 기지국

으로의 편입이 가능하다. 그리고 제안된 시스템은 같은 기지국내 포트에서의 이동국 이동에 따른 추가적인 핸드 오프 요구 부담이 없다. 다른 포트로 수신된 신호일지라도 같은 셀 내에서는 동일한 기지국의 제어를 받기 때문에 포트간에 발생하는 이동국의 이동이나 수신 전력 변화는 기지국의 변경을 요하는 핸드 오프가 아니라 송신 포트의 스위칭만이 필요할 뿐이다. 역방향 링크의 경우 모든 포트로부터 송신된 신호는 최종적으로 기지국에 전송되고 기지국은 이 신호들 중 가장 큰 전력의 포트만을 변함없이 복원하면 된다. 즉 구획화로 인해 구획간의 이동시 발생하는 소프트 핸드 오프 요구나 마이크로 셀 확장으로 인한 소프트 핸드 오프 요구 증가와 같은 추가적인 핸드 오프 요구의 증가가 없다.

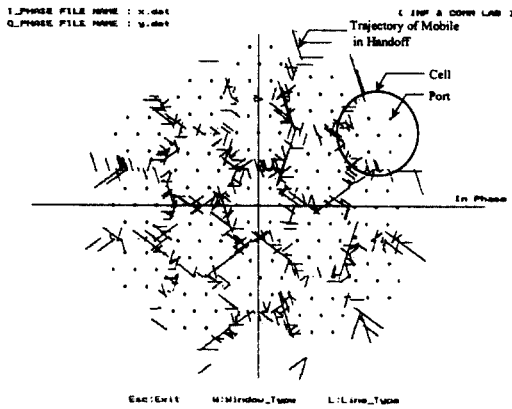


그림 4. 분산 제어 안테나 시스템의 핸드오프 영역

그림 4는 7개의 포트로 구성된 분산 제어 안테나 시스템의 핸드 오프 영역을 모의 실험을 통해 그려본 결과이다. 사용된 핸드 오프 알고리즘은 IS-95에서 제시하는 상대적 전력 측정용 기반으로 한 알고리즘을 사용하였고 음영효과는 8 [dB]라 가정한 결과이다. 동일 셀 내부의 포트 간에는 핸드 오프가 발생하지 않으며 셀의 경계에서만 소프트 핸드 오프가 발생하는 모습을 보여주는 결과이기도 하다[3].

트래피의 양에 따라 특정 기지국에 해당하는 포트의 범위를 조절할 수 있는 동적인 부하의 균형화도 제안된 시스템의 장점이다. 즉 호의 발생 빈도가 시

간에 따라 자주 변하는 시스템의 경우 시스템이 운용 중에 있더라도 사용자의 활동도가 높은 지역에 동적으로 부하를 수반할 그룹을 변경할 수 있으므로 같은 시스템으로도 어느 정도까지는 최대의 가입자를 수용할 수 있도록 할 수 있다. 그리고 제안된 시스템은 쉽게 시스템이 상승화(Upgrade) 할 수 있는 장점이 있다. 기지국간의 경계에서 발생하기 쉬운 전파 환경 취약 지점이나 상습 음영 지역을 추가적으로 서비스하기 위해 기존의 셀룰라 시스템과 같이 고가의 기지국을 증설할 필요가 없으며, 단지 저가의 포트만 증설하고 이 포트에 의한 인접 포트의 간섭을 줄여주기 위해 포트 상호간의 출력 전력을 조절하면 된다.

### III. 성능 분석

CDMA 시스템은 수신 전력에 의해 소프트 핸드 오프 과정이 발생하기 때문에 간섭에 대한 계산과정에 반드시 두 개 이상의 기지국간의 전파 손실을 비교해야 한다. 이러한 비교 과정에서 서로 다른 셀로부터의 신호를 수신할 경우의 경로 손실 상의 상관 관계를 고려해야 하는데, 본 논문에서는 소프트 핸드 오프 성능 분석 과정에서 고려된 전파 지연 손실 모델 [10]을 가정한다.

제안된 시스템에서 간섭의 양을 계산하기 위해서  $N_c$ 개의 육각형 형태의 셀이 분포된 경우의 영역을 가정하고  $N_p$  개의 포트에 한 셀을 구성했다고 가정한다. 그리고 셀 내의 사용자는 균일하게 분포한다고 가정하고 그때의  $S, S_o, S_c$ 의 영역은 다음과 같다. 여기서  $N_c$  개의 셀로 구성된 전체 영역을  $S$ 로 하고, 중앙에 위치한 기지국의 육각형 셀 영역을  $S_o$ 로 하며,  $S$ 의 영역 중 중앙의 셀 이외의 전체 영역을  $S_c$ 로 정하자. 역방향 링크의 총 간섭( $I_t$ )은 아래의 식 (1)과 같이 동일 셀 다른 사용자 간섭( $I_{sc}$ )과 다른 셀 사용자 간섭( $I_{sc}$ )의 합이다.

$$I_t = I_{sc} + I_{sc} \quad (1)$$

그런데 위의 (1)에서  $I_{sc}$ 는 소프트 핸드 오프 과정을 고려하여  $S_o$  영역내에 위치한 사용자의 간섭인  $I_{s_o}$ 와  $S_c$  영역

내의 사용자의 간섭인  $I_{So}$ 로 구분하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{oc} = I_{\bar{s}_0} + I_{s_0} \quad (2)$$

$r_{ij}(x, y)$ 는 이동국과  $i$ 번째 셀의  $j$ 번째 포트사이의 거리를 나타낸다. 제안된 시스템은 기지국에서 가장 큰 수신 전력의 포트 신호만을 복원하고 전력 제어의 기준값으로 사용하므로  $i$ 번째 기지국에 의한 경로 손실은 다음과 같다.

$$r_i^m(x, y)10^{\zeta_i/10} = \min_{j=0}^{N_p-1} [r_{ij}^m(x, y)10^{\zeta_{ij}/10}] \quad (3)$$

이때  $R_i(x, y)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$R_i(x, y) = r_i(x, y) / r_o(x, y) \quad (4)$$

모든 이동국 신호는 해당 기지국에서 단위 전력으로 수신되도록 완벽하게 전력 제어되고 소프트 핸드 오프 과정 중 가장 큰 SINR을 갖는 셀을 선택하여 신호를 전송한다고 가정하면  $S_0$  영역내의 다른 셀 사용자 간섭  $I_{s_0}$ 는 식 (5)와 같다.

$$I_{s_0} = \sum_{i=1}^{N_c-1} \iint_{S_0} R_i^m(x, y) E[10^{(\zeta_i - \zeta_0)/10}; r_i^m(x, y)10^{\zeta_i/10} \langle r_o^m(x, y)10^{\zeta_0/10} \rangle] \kappa dA(x, y) \quad (5)$$

여기서  $K$ 는 셀 내의 사용자 밀도이다. 또한  $S_0$  영역내의 다른 셀 사용자 간섭  $I_{s_0}$ 는 식 (6)과 같이 표현될 수 있다.

$$I_{\bar{s}_0} = \sum_{i=1}^{N_c-1} \sum_{j=1}^{N_c-1} \iint_{\bar{s}_0} R_i^m(x, y) E[10^{(\zeta_i - \zeta_0)/10}; r_i^m(x, y)10^{\zeta_i/10} \langle r_j^m(x, y)10^{\zeta_j/10} \rangle] \kappa dA(x, y) \quad (6)$$

평균 동일 셀 다른 사용자 간섭  $I_s$ 는 다음과 같다.

$$I_{SC} = \frac{1}{N_p} \sum_{j=1}^{N_p-1} \iint_{S_0} r_{0j}^{-m}(x, y) E[10^{-\zeta_{0j}/10}] \kappa dA(x, y) + \frac{1}{N_p} \iint_{S_0} r_{00}^{-m}(x, y) E[10^{-\zeta_{00}/10}] \kappa dA(x, y) \quad (7)$$

결국 총 간섭  $I_t$ 는 다음과 같고

$$I_t = I_{s_0} + I_{\bar{s}_0} + I_{SC} \quad (8)$$

평균  $SIR$ 은 다음과 같다.

$$E_b / I_0 = SIR \times \frac{W}{R_b} \quad (9)$$

여기서  $VAF$ 는 역방향 링크의 음성 활성화 요소이고 완벽한 전력 제어를 가정하면  $S=1$ 이다. CDMA 시스템의 특성상 평균  $E_b / I_0$ 는 다음과 같다.

$$E_b / I_0 = SIR \times \frac{W}{R_b} \quad (10)$$

경로 손실은 거리의  $m$ 제곱에 비례하기 때문에 2번째 결합(Tier) 밖의 셀들은 중심의 셀에 거의 영향을 주지 않으므로  $N_c = 18, m = 4, VAF = 0.4$ , 그리고 각 셀에는 40명의 사용자가 균일하게 분포한다고 가정하고 IS-95의 파라미터들을 적용한 제안된 시스템의 역방향 링크 평균  $E_b / I_0$ 를 수치적으로 연산한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 제안된 시스템의 역방향 링크 평균  $E_b / I_0$  [dB]

포트수 영역폭(dB)	3	4	6	7
0	10.63	11.45	12.74	13.70
2	10.17	11.00	12.29	13.24
4	8.85	9.67	10.97	11.92
6	6.70	7.52	8.83	9.79
8	3.84	4.64	5.99	6.99
10	0.29	1.15	2.49	3.63

순방향 링크의 전력 제어는 역방향 링크의 전력 제어와는 다르다. 역방향 링크의 전력 제어는 같은 셀 내의 모든 사용자의 신호가 특정 값으로 동일하게 기

지국에 수신되도록 각각 전력 제어되지만 순방향 링크의 경우는 같은 셀 내의 사용자일지라도 모든 사용자가 동일한 전력으로 기지국의 신호를 수신하도록 완벽하게 전력 제어되지 않는다. 따라서 각 이동국은 각각 다른 수신 전력을 갖는다. 소프트 핸드 오프를 고려하면 하나의 이동국이 소프트 핸드오프 지역에 위치할 때 동시에 두 개의 셀로부터 신호를 수신하게 되고 인접 이동국에는 두 개의 신호가 모두 간섭 신호로 작용한다. 이러한 현상을 모델링하기 위해 아래 식에 의해 정의되는 A 영역을 고려해야 한다.

$(x,y) \in A$  영역,

$$\text{if } |r_i^{-m}(x,y)10^{-\xi_i/10} - r_k^{-m}(x,y)10^{-\xi_k/10}| \leq P_{th} \quad (11)$$

여기서  $P_{th}$ 는 사용자가 핸드 오프 되기 위해 설정된 임계치로서 시스템에 따라 다르게 결정되는데 두 개의 파워로트 신호 차이가  $P_{th}$  보다 크면 핸드 오프 과정이 초기화된다. 본 논문에서는 페이딩 현상을 고려하지 않은 경우 하나의 셀 영역의 90% 되는 영역의 지점에서 핸드 오프가 발생하지 않도록  $P_{th}$ 를 설정하였다. 역방향 링크와 마찬가지로  $r_{ij}(x,y)$ 는 이동국과  $i$ 번째 셀의  $j$ 번째 포트사이의 거리를 나타낸다. 이때 제안된 시스템의 특성상  $r_i(x,y)$ 는 다음과 같다.

$$r_i^m(x,y)10^{\xi_i/10} = \text{Min}_{j=0}^{N_p-1} [r_{ij}^m(x,y)10^{\xi_{ij}/10}] \quad (12)$$

동일 셀 다른 사용자 간섭  $I_s$ 는 다음과 같다.

$$I_{sc} = \frac{1}{N_p} \sum_{j=1}^{N_p-1} \iint_{S_0} \{(P_i - P_1)r_{0j}^{-m}(x,y)E[10^{-\xi_{0j}/10}]\}dA(x,y) + \frac{1}{N_p} \iint_{S_0} \{(P_i - P_1)r_{00}^{-m}(x,y)E[10^{-\xi_{00}/10}]\}dA(x,y) \quad (13)$$

여기서  $P_i$ 는 순방향 링크의 모든 채널을 통해 전송되는 신호의 출력 전력을 말하고  $P_1$ 는 그 중 한 사용자를 위한 순방향 트래픽 채널의 전력을 뜻한다. 다른 셀 사용자 간섭  $I_s$ 는 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{oc} = \iint_{S-A} \sum_{i=1}^{N_c-1} P_i R_i^m(x,y)E[10^{\xi_i-\xi_0/10}]dA(x,y) + \iint_A \sum_{i=1}^{N_c-1} (\text{Max}_{2.of,n} [r_i^{-m}(x,y)E[10^{-\xi_i/10}]] - K_0[r_i^{-m}(x,y)E[10^{-\xi_i/10}]]dA(x,y) \quad (14)$$

여기서  $\text{Max}_{2.of,n}[*]$ 는  $n$ 개의 항 중에서 가장 큰 2개를 합한 값이다.  $K_1[*]$ 는  $\text{Max}_{2.of,n}[*]$ 에 의해 선택된 2개의 항 중에서  $i$ 에 의한 항이 포함될 경우의 그 값을 말한다. 즉  $K_0[r_i^{-m}(x,y)10^{-\xi_i/10}]$ 는  $\text{Max}_{2.of,n} [r_i^{-m}(x,y)10^{-\xi_i/10}]$  중에  $r_0^{-m}(x,y)10^{-\xi_0/10}$  이 존재할 경우, 식 (15)와 같으며, 다른 경우일 때는 0이다.

$$K_0[r_i^{-m}(x,y)10^{-\xi_i/10}] = r_0^{-m}(x,y)10^{-\xi_0/10} \quad (15)$$

순방향 링크의 경우 기지국에 의해 수신된 신호는 역방향 링크의 신호처럼 기지국에서 수신된 신호의 크기가 동일하게 전력 제어되지 않기 때문에 이동국에 의해 수신된 신호의 크기는 다음과 같다.

$$S = \iint_S \{P_1 r_0^{-m}(x,y)E[10^{-\xi_0/10}] - P_1 K_0[r_0^{-m}(x,y)E[10^{-\xi_0/10}]]\}dA(x,y) \quad (16)$$

위의 역방향 링크 계산과 유사하게 총 간섭은 다음과 같고

$$I_t = I_{oc} + I_{sc} \quad (17)$$

이때 신호대 간섭의 비는 다음과 같다.

$$SIR = \frac{S}{I_i} \times VAF_f \quad (18)$$

여기서  $VAF_f$ 는 순방향 링크의 음성 활성화 요소이다. 결국 순방향 링크의 평균  $E_b/I_0$ 는 다음과 같다.

$$E_b/I_0 = SIR \times \frac{W}{R_b} \quad (19)$$

$VAF_f$ 이 0.42이고, 각 셀에는 40명의 사용자가 균일하게 분포한다고 가정하고 IS-95의 파라미터들을 적용한 포트 7개인 제안된 시스템의 순방향 링크 평균  $E_b/I_0$ 를 수치적으로 연산한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 제안된 시스템의 순방향 링크 평균  $E_b/I_0$  [dB]

음영효과 [dB]	포트수	3	4	6	7
0		15.17	16.81	19.24	20.86
2		15.09	16.80	19.14	20.71
4		14.84	16.62	18.78	20.67
6		14.49	16.47	18.01	20.43
8		14.07	16.43	17.28	20.27
10		13.50	16.12	16.25	20.07

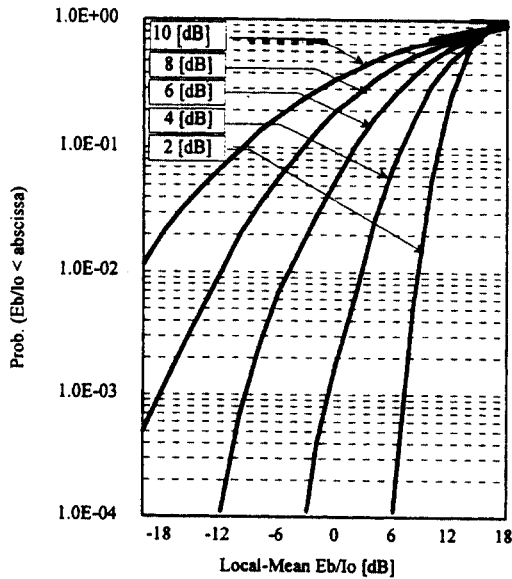


그림 5. 분산 제어 안테나 시스템의 역방향 링크  $E_b/I_0$ 에 대한 누적 확률분포

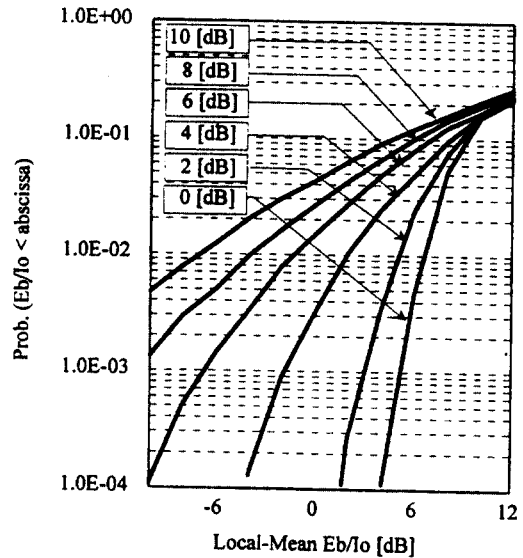


그림 6. 분산 제어 안테나 시스템의 순방향 링크  $E_b/I_0$ 에 대한 누적 확률분포

양방향 링크의 평균  $E_b/I_0$ 는 전체적인 시스템의 품질과 성능을 판단하는 객관적인 근거가 된다. 그러나 또 하나의 중요한 기준은 한 셀 내에서의  $E_b/I_0$ 의 통계적 분포를 알아보는 것이다. 즉 한 셀 내에서 특정  $E_b/I_0$  값 이상의  $E_b/I_0$ 를 갖는 확률을 살펴보는 것도 중요하다. 그림 5는 제안된 시스템을 7개의 포트 구성했을 때 역방향 링크  $E_b/I_0$ 의 누적 확률 분포를 음영 효과 0[dB]부터 10[dB]까지의 경우로 나타내고, 그림 6은 순방향 링크의  $E_b/I_0$ 의 누적 확률 분포를 나타낸다.

그림 5에서 0[dB]의 음영 효과일 때는 누적 확률 분포가 계단 함수의 형태를 갖는 데 이 경우는 완벽한 전력 제어에 의해 특정한 셀 내의 사용자가 갖는 간섭의 양은 평균적으로 상수이기 때문이다. 그러나 음영 효과의 영향이 커질수록 성능이 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 그림 6은 순방향 링크의 곡선을 나타내는 것으로 역방향 링크와 유사하게 음영 효과의 영향이 커질수록 성능이 감소한다. 8[dB]의 음영 효과를 고려했을 때 역방향 링크의 경우 셀의 95% 이상의 지점에서 -4[dB] 이상의  $E_b/I_0$ 를 유지하고 순방향 링크의 경우에는 2 [dB] 이상을 유지한다.

### IV. 수치 해석 결과

본 논문에서 제안된 분산 제어 안테나 시스템을 기존의 시스템인 DS/CDMA 시스템, 시물캐스팅 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 용량과 비교하였다. 8[dB]의 음영 효과를 가정하였으며, 제안된 시스템은 한 셀당 7개의 포트가 구성하였다. 역방향 링크의 결과를 그림 7과 그림 8에 제시하였다. 그림 7은 각 시스템의 음영 효과를 고려한 평균  $E_b/I_0$  값을 보여주고 있다. 그림 7에서 기존의 DS/CDMA 시스템은 시물캐스팅 시스템과 유사한 성능을 보였다. 이와 같은 결과는 시물캐스팅 시스템의 경우 다른 셀 사용자 간섭은 감소하지만, 동일 셀 내의 모든 포트로부터의 신호를 수신하기 때문에 동일 셀 다른 사용자 간섭은 크게 감소하지 않기 때문으로 해석된다. 결과적으로는 앞서 언급하였던 동일 셀 다른 사용자 간섭이 다른 셀 사용자 간섭보다 전체 간섭에 차지하는 비중이 더 크고 상대적으로 낮은  $E_b/I_0$  를 갖는 포트 신호들이 수신 신호에 비해 큰 간섭과 잡음의 영향을 받으면서 잡음과 간섭을 누적시키기 때문에 DS/CDMA 시스템에 비해 큰 성능 개선 효과는 없는 것으로 해석된다.

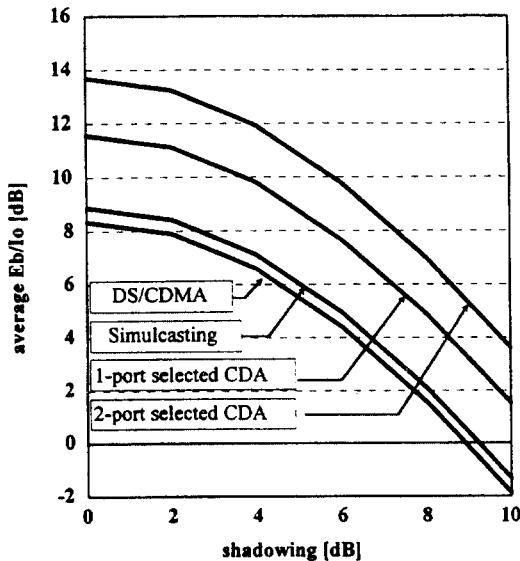


그림 7. 역방향 링크의 평균  $E_b/I_0$  성능 비교

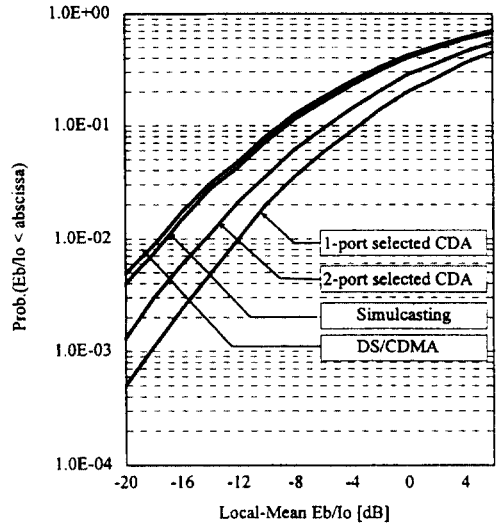


그림 8. 역방향 링크의 8 [dB] 음영 효과에서의  $E_b/I_0$  누적 확률 분포 비교

제안된 시스템을 변형시켜 한 개의 포트 대신 두 개의 포트를 선택하여 신호를 처리한 결과를 그림 7에 제시하였다. DS/CDMA 시스템, 시물캐스팅 시스템 보다는 어느 정도의 성능 개선이 있었지만 두 번째 큰 전력을 갖는 포트에서의 간섭과 잡음이 추가됨으로 인해 가장 큰 SIR과 두 번째 SIR의 확률적 평균이 되어 용량은 제안된 시스템보다는 감소하였다.

그림 8는  $E_b/I_0$ 의 누적 확률 분포를 나타낸 값이다. x 축상의 좌표는 기준이 되는  $E_b/I_0$  값을 의미하고 y 축 상의 좌표는 한 셀 내에서 고르게 분포된 사용자가 기준  $E_b/I_0$  값 이하의  $E_b/I_0$  를 갖는 확률을 의미한다. 전체 셀 영역을 소프트 핸드 오프 서비스하면서 95%이상의 영역에 속할 수 있는 SIR을 기준으로 비교한다면, 역방향 링크에서 제안된 시스템이 DS/CDMA 시스템, 시물캐스팅 시스템 보다는 약 6[dB]의 성능이 개선되었고 포트 2개를 선택하는 변형된 시스템 보다는 약 3[dB]의 성능 개선을 확인할 수 있다.

그림 9와 그림 10은 순방향 링크의 비교 결과를 제시한다. 그림 9는 각 시스템의 음영 효과를 고려한 평균  $E_b/I_0$  값을 보여주고 있으며, 역방향 링크와 유사하게 그림 9에서 기존의 DS/CDMA 시스템이 가장



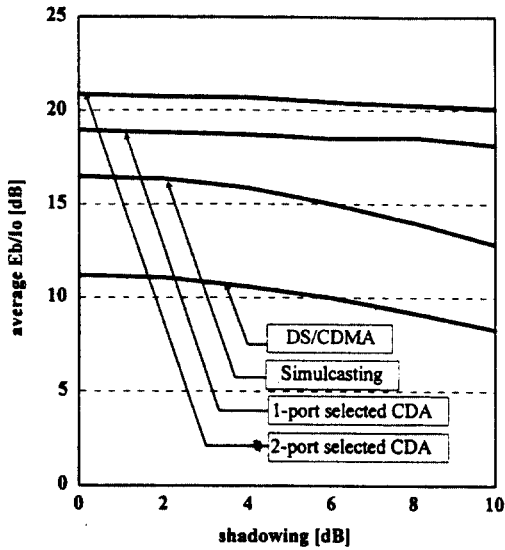


그림 9. 순방향 링크의 평균  $E_b/I_0$  성능 비교

저조한 성능을 보였고, 제안된 시스템이 가장 우수한 성능을 보였다. 그러나 순방향 링크의 경우 역방향 링크와는 달리 시뮬캐스팅 기법을 적용한 CDMA 시스템의 성능이 기존의 DS/CDMA 시스템보다 약 6[dB] 정도 개선되었다. 그 이유는 순방향 링크에서는 역방향 링크와는 달리 기지국에서 송신된 신호가 모든 이동국에 동일한 전력으로 수신되도록 동적으

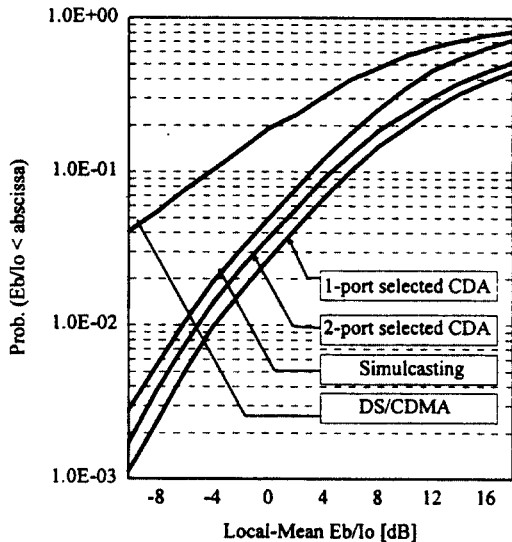


그림 10. 순방향 링크의 8 [dB] 음영 효과에서의  $E_b/I_0$  누적 확률 분포 비교

로 전력 제어되지 않기 때문이다. 따라서 수신 전력의 크기에 따라 수신단의  $E_b/I_0$  는 큰 영향을 받게 된다. 여러 개의 포트를 셀 내에 균일하게 배치하는 시뮬캐스트 기법이나 제안된 시스템의 경우에는 이동국의 수신 신호 전력이 DS/CDMA 시스템보다 일정한 수준으로 유지되기 때문에 평균적으로 높은  $E_b/I_0$  를 갖는다. 시뮬캐스트 기법과 제안된 시스템의 성능의 차이는 신호를 전송하는 매크로 다이버시티 (Macro Diversity)에 기인하는데, 제안된 시스템은 전파 환경이 가장 양호한 포트에만 신호를 전송하기 때문에 시뮬캐스트 기법을 적용한 시스템에 비해 상대적으로 간섭의 양을 감소시킬 수 있다. 따라서 그림 9처럼 약 4[dB]의 성능 개선 효과를 얻을 수 있다.

그림 10은 역방향 링크에서의  $E_b/I_0$ 에 대한 누적 확률 분포를 나타낸 값이다. x축 상의 좌표는 기준이 되는  $E_b/I_0$  값을 의미하고 y축 상의 좌표는 한 셀 내에서 고르게 분포된 사용자가 해당  $E_b/I_0$  값 이하의  $E_b/I_0$  를 갖는 확률을 의미한다. 전체의 셀 영역을 소프트 핸드 오프 서비스하면서 95% 이상의 영역에 속할 수 있는 SIR을 기준으로 비교한다면, 역방향 링크에서 제안된 시스템은 DS/CDMA 시스템보다 약 8[dB]의 성능이 개선되었고, 시뮬캐스트 시스템보다는 약 1.2 [dB]의 성능이 개선되었고 포트 2개를 선택하는 변형된 시스템보다는 약 1.2 [dB]의 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 분산 제어 안테나 시스템은 기존의 DS/CDMA 시스템, 시뮬캐스트 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템보다 양방향 링크에서 뚜렷한 성능 개선의 효과가 있었다. 시뮬캐스트 시스템과의 비교에서는 순방향 링크보다 역방향 링크에서 더욱 성능이 개선되었는데, CDMA 시스템에서는 역방향 링크의 간섭이 전체 시스템의 성능에 더 큰 영향을 주는 인자이므로 제안된 시스템은 CDMA 이동통신 시스템의 용량 증가와 간섭량 감소를 위한 방법으로 적합하다.

### V. 결 론

본 논문에서는 CDMA 이동통신 시스템에서 용량

을 증가시키기 위해 기존의 시물캐스팅 기법의 단점을 개선하는 분산 제어 안테나 시스템을 제안하고, 그 성능을 분석하였다. 기존의 DS/CDMA 방식은 각 셀을 하나의 전방향 안테나로 구성했지만 제안된 시스템은 한 셀을 다수의 포트에 구성하여 동일 셀 내에서는 동일한 신호를 전송한다. 또한 시물캐스팅 기법의 단점인 잡음 및 간섭의 누적 현상을 극복하기 위해 역방향 링크에서는 가장  $SINR$ 이 큰 포트의 신호만을 선택하여 복조하고 순방향 링크에서도 그 포트만으로 신호를 전송한다. 즉 매크로 다이버시티를 적용하기 때문에 다른 사용자로부터의 간섭을 감소시켜 성능 향상을 얻을 수 있었다. 본 논문에서의 성능 분석은 사용자의 평균  $E_b/N_0$ 를 기준으로 하였고 기존의 DS/CDMA 시스템과 시물캐스팅 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템을 제안한 시스템을 비교하였다. 성능 분석을 위한 채널 환경은 0[dB]부터 10[dB]까지의 장기 음영 페이딩 효과가 존재하는 채널을 가정하였고, 전력 제어와 기지국간의 소프트 핸드 오프를 가정하였다.

분석 결과 분산 제어 안테나 시스템은 기존 DS/CDMA 시스템에 비해 역방향 링크의 경우 6[dB], 순방향 링크의 경우 10[dB] 정도의 성능이 개선되었고 시물캐스팅 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템보다는 역방향 링크의 경우 6[dB], 순방향 링크의 경우 6[dB] 정도의 성능이 개선되었다. 제안된 시스템의 한 셀을 구성하는 포트의 개수를 증가시킬수록 성능 개선 효과도 증가했다.

결과적으로 제안된 시스템을 가장 효과적으로 적용할 수 있는 부분은 비교적 트래픽이 작은 지역의 셀룰라 시스템 구축 부분과 트래픽의 분포가 균일하지 않은 지역의 시스템 구성 부분이다. 트래픽이 셀 내의 한 부분에 집중적으로 분포할 경우에 분산 제어 안테나 시스템은 유동적으로 포트를 배치할 수 있기 때문에 효율적으로 적용될 수 있다. 트래픽이 작은 지역의 경우 기존 매크로셀의 영역을 하나의 포트의 영역으로 대체한다면 기지국의 설치를 포트의 설치로 대체할 수 있다. 따라서 분산 제어 안테나 시스템의 각 포트는 간단한 아날로그 소자만으로 구성할 수 있으므로 기존의 기지국에 비해 훨씬 저렴하게 시스

템을 구성할 수 있다. 또한 셀 간의 소프트 핸드 오프가 해당 포트를 스위칭하는 작업으로 대체될 수 있으므로 소프트 핸드 오프로 인한 시스템의 부담도 크게 감소한다. 다른 셀에 영향을 주는 간섭의 양도 기존의 매크로 셀을 사용할 때보다 평균적으로 감소하기 때문에 개선된 통화 품질로 기존의 시스템에 구조변경이나 주파수 사용 패턴의 변화없이 서비스 영역을 확장할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. R. C. Bernhardt, "Macroscopic diversity in frequency reuse radio systems," IEEE Journal on selected area in comm., vol. SAC-5, No. 5, pp. 862-870, 1987.
2. K. J. Kerpez, "A radio access system with distributed antennas," IEEE Trans. Vehicle Technol., vol. 45, No. 2, May, 1996.
3. 권중형, 노재호, 정현민, 강창언, "Simulcasting 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 호처리에 관한 연구," 한국 통신 학회 논문지, vol. 22, No. 12, Dec. 1997.
4. Lee, W. C. Y., "Mobile cellular telecommunication system," McGraw hill publication, New york, 1985.
5. W. C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA," IEEE Trans. Vehicle Technol., vol. 40, No. 2, pp.291-302, 1991.
6. Y. R. Jean-Yves, S. A. Mahmoud, "Selection diversity combining with multiple antennas for MM-wave indoor wireless channel," IEEE journal on commun., vol. 14, No. 4, May, 1996.
7. A. Paulraj, L. G. Kazovsky, "Radio on fiber distributed antenna systems," Stanford Center for Telecommunications, Jun. 1997.
8. T. S. Rappaport, Wireless Communication, Prentice-hall, New york, 1996.
9. H. Yanikomeroglu, E. S. Sousa, "Antenna interconnection strategies for PCS," IEEE Journal

on commun., vol. 15, No. 7, Sep. 1997.

10. V. K. Garg, K. Smolik, and J. E. Wilkes, "Other cell interference in cellular power-controlled CDMA", IEEE Trans. Commun., vol. 42, No. 2/3/4, Feb/Mar/App. 1994.

권 종 형(Jong Hyung Kwun)정회원

1972년 7월 6일생

1996년 2월:연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1998년 8월:연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 8월~현재:연세대학교 전자공학과 박사과정

<연구분야> 이동통신, 통신시스템

노 재 호(Jae Ho Roh) 정회원

한국통신학회 논문지 제22권 12호 참조

이 재 혁(Jae Hyuck Lee) 정회원

1994년 2월:연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1996년 2월:연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년~현재:연세대학교 전자공학과 박사과정

정 현 민(Hyun Meen Jung) 정회원

한국통신학회 논문지 제22권 12호 참조

강 창 언(Chang Eon Kang) 정회원

한국통신학회 논문지 제22권 12호 참조