

다중경로페이딩이 DDLMS 기반 스마트안테나의 성능에 미치는 영향

종신회원 홍영진*

Impact of Multipath Fading on the Performance of the DDLMS Based Spatio Temporal Smart Antenna

Young-Jin Hong* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 코드분할다중접속(CDMA)시스템의 기지국에 설치할 수 있는 시공간 배열 스마트안테나의 성능이 다중경로 환경의 다양한 파라미터의 변화에 어떻게 반응하는지 살펴보았다. 이 논문에서 사용된 스마트안테나는 공간분산구조로 적응배열안테나를, 시간분산구조로 다중경로의 숫자에 따른 finger의 레이크 수신기로 구성되어 있으며 빔형성 방법으로 Decision Directed LMS 방법을 사용한다. 스마트안테나는 다중경로 신호의 입사각분산의 정도와 다중경로(finger)의 숫자에 민감하게 반응하는 한편 지연분산의 정도와는 거의 반응하지 않음이 컴퓨터 모의실험으로 증명되었다. 레이크 수신기의 핑거 숫자의 증가가 스마트안테나의 성능을 비선형적으로 개선시키는 효과를 수반함 역시 모의실험으로 보여졌다. 본 논문의 빔형성 과정에서 가중치벡터의 갱신은 PN상관기가 수신신호를 역확산시킨 후에 이루어진다.

Key Words : spatio temporal, DOA spread, doppler shift, rake receiver

ABSTRACT

The performance variations of a spatio temporal smart antenna which is equipped at the basestation of CDMA cellular communication network due to the parametric change of multipath fading environment are studied in this paper. The smart antenna of interest employs space diversity based adaptive array structure in conjunction with rake receiver that has fingers the number of which is the same as that of multipath links. The beamforming is achieved via LMS(Least Mean Square) algorithm in which a reference signal is generated using decision directed formula. It has been shown by computer simulation that the performance of our smart antenna of interest depends significantly upon not only the degree of desired signal's DOA(Direction of Arrival)spread but the number of fingers of the rake receiver. The relative insensitivity of the smart antenna's performance on desired signal's delay spread has also been observed. Computer simulation has shown that the increase of the number of fingers brings in a nonlinear enhancement of the performance of our smart antenna. The renewal of weight vector in the beamforming procedure is taken place at post PN despread stage.

I. 서 론

20세기 후반 AT&T 벨연구소에서 AMPS(Advanced

Mobile Phone System)의 고안으로 상용화되기 시작한 무선 이동전화는 초기의 차량 이동통신 위주의 쓰임새에서 2세대 디지털 셀룰라와 3세대 IMT-

* 동명대학교 전기전자공학과(gryjhong@tu.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-10-470, 접수일자 : 2008년 10월 22일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 31일

2000을 거쳐 4세대 IMT-advanced의 표준을 논하는 단계로까지 발전하였다. 이러한 무선통신의 발전을 유도하는 핵심적인 기술의 테마는 무선자원의 단위인 스펙트럼 사용량을 최소화하면서 동시에 실어 보내는 신호의 전송량을 최대화하는 방법이었다.

주파수효율의 향상방법으로 가장 먼저 채택된 것이 CDMA(Code Division Multiple Access)기술^[14]로 2,3,4세대 이동통신 기술표준의 근간을 이루고 있다. 3세대, 4세대 표준의 구현을 위해 소요되는 초고속의 전송속도와 그에 따른 네트워크 용량의 폭발적인 증가 요구에 대응하기 위한 방편으로 CDMA 기지국에 스마트안테나를 장착하는 방법이 제안되었다^{[5][9]}. 원하는 신호의 방향에 최대의 빔을 형성하여 궁극적으로 주파수효율을 향상시키는 것이 스마트 안테나 기술이며 CDMA 기지국에 장착하는 스마트안테나의 빔형성 알고리즘은 트레이닝 신호를 이용하는 고전적인 방법과 채널예측을 이용하는 방법, 그리고 앞의 두 가지를 융합하는 방법 등이 있다. LMS(Least Mean Square) 알고리즘은 고전적 방법을 대표하고 시공간배열 알고리즘^[5], MCG[Modified Conjugate Gradient] 알고리즘^[6] 등이 채널예측방법을 이용한다. 고전적인 방법과는 달리 채널예측방법은 PN 코릴레이터 전후의 공분산값을 이용하여 스마트안테나의 가중치벡터를 갱신한다. [8]에서는 채널예측방법인 MCG 알고리즘과 고전적 방법인 DDLMS(Decision Directed LMS) 알고리즘을 융합한 방법을 제안하였다. 이 방법은 PN 코릴레이터에 의해 역확산된 수신신호가 다른 간섭신호보다 높은 전력수준을 유지한다는 가정을 전제하였으며 과도상태에서 우수한 가중치벡터의 수렴특성을 나타냄을 보였다.

다른 모든 방식의 통신시스템처럼 CDMA 네트워크도 다중경로신호가 항상 존재하며 그에 따른 성능열화와 대처방식에 대한 수많은 연구가 진행되어 왔다^{[10][13]}. 기지국안테나에 도달하는 다중경로신호는 각 경로가 서로 다른 전파지연특성을 가질 뿐 아니라 서로 다른 입사각(DOA)을 갖는다. 스마트안테나의 공간분산구조는 이처럼 원하는 방향으로 빔을 형성하는 기능뿐만이 아니라 단수안테나의 결여 기능인 다중경로 신호의 입사각분산(DOA spread)에 대응하는 역할을 담당하며^[14] 이러한 구조의 스마트안테나는 시공간배열(spatio temporal) 스마트안테나라고 불린다.

이처럼 스마트 안테나의 채용이 다중경로 페이딩으로 인한 CDMA 시스템 성능 열화를 감소시키는

효과에 대한 관찰이 활발했던 반면^{[15][17]} 다중경로 페이딩을 구성하는 여러가지 파라미터와 CDMA 시스템 기지국의 스마트안테나 성능과의 상호관계를 규명하고 관찰하는 연구는 소홀하였다. 어떤 특정 지역별로 다중경로 페이딩의 유형을 통계화 혹은 추정할 수 있다면 그 지역 기지국의 스마트안테나 채용의 경제성을 판정하기 위하여 앞의 연구는 대단히 중요한 역할을 하게 될 것이다. 또한 다중경로 페이딩 환경에서 스마트 안테나의 빔형성 알고리즘의 변화가 어떤 영향을 초래하는지도 흥미 있는 이슈라고 할 수 있다.

따라서 이러한 이론적 필요성에 의거, 본 논문은 CDMA 네트워크에서 Decision Directed 신호가 참조신호인 LMS 방법(DDLMS)을 빔형성 알고리즘으로 사용하는 시공간배열 스마트안테나 설치되었을 때 다중경로 페이딩의 여러 인자의 변화에 따른 스마트 안테나의 성능 변화를 관찰하였다. 앞에서도 언급하였듯이 이 같은 상호관계를 규명하려는 시도는 그 예가 드물었다.

본 논문에서는 스마트안테나가 PN상관기 뒷단에 장착되었을 경우를 가정하였으며 동일 셀 내에서 기지국에 도달하는 신호가 원하는 신호와 다중접속간섭신호(MAI), 그리고 열잡음으로 이루어지고 각각의 신호가 또한 다중경로 신호들로 구성되어 있는 모델을 가정하였다. 이러한 신호 모델에서 다중경로 신호의 지연분산정도, 다중경로의 수, 입사각분산의 정도, 그리고 도플러 천이의 정도가 시공간배열 스마트안테나의 성능에 미치는 영향을 컴퓨터 모의실험에 의해 살펴보았다.

본 논문은 모두 4장으로 이루어져 있다. II장에서는 다중경로 페이딩 환경의 수신 신호모델과 함께 시공간배열 스마트안테나의 동작원리 등이 설명되었고 III장에서는 모의실험 환경과 그 결과가 표시되었다. 마지막으로 IV장에서는 결론이 도출되었다.

II. 신호 모델과 스마트안테나

시공간배열 스마트안테나가 PN상관기 뒷단에 장착된 CDMA 네트워크의 기지국에 도달하는 동일 셀 내의 신호가 원하는 신호, $s_1(t)$ 와 다중접속간섭신호(MAI), $s_i(t), i = 2, \dots, K$, 열잡음으로 이루어지고 원하는 신호와 간섭신호가 모두 L 개의 다중경로 신호들로 구성되어 있을 때 그 중 l 번째 경로의 수신단 신호의 흐름이 그림 1^[8]에 표시되었다

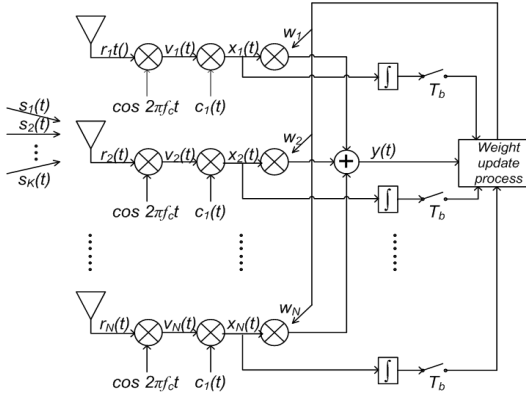


그림 1. l 번째 다중경로 수신 신호 흐름도[8]의 1 인용

K 사용자의 입사각방향(DOA)과 각 사용자의 L 개의 다중경로 DOA는 서로 독립이며 스마트안테나는 L 개의 다중경로에 대해 각각 독립적으로 가중치벡터의 갱신을 위한 계산을 수행한다. 다중경로신호의 특성인자들은 원하는 신호의 심벌주기 동안에는 그 값이 일정하게 유지될 정도로 천천히 변화한다고 가정하고 가중치벡터의 갱신주기는 원하는 신호의 심벌주기와 동일하게 설정한다. 안테나 센서간의 이격거리는 반송파 파장의 반으로 설정한다. 안테나 어레이에 K 개의 사용자 신호가 입력된다고 하면 k 번째 사용자로부터 송신된 신호 $s_k(t)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$s_k(t) = d_k(t)c_k(t)\sqrt{2P_k} \cos \omega_c t \quad (1)$$

여기서 $d_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 데이터 스트림, $c_k(t)$ 는 k 번째 사용자에 대한 PN코드 웨이브폼(확산신호), P_k 는 k 번째 사용자의 송신 전력, ω_c 는 반송파 주파수 각속도를 의미한다. 안테나 어레이가 N 개의 전방향성 안테나 센서들로 이루어져 있다면 $n(n=1, \dots, N)$ 번째 안테나 센서에 수신된 신호 $r_n(t)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$r_n(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \{s_k(t - \tau_{l,k})\beta_{l,k}(t)\exp(j\phi_{l,k}(t)) \cdot \exp(-j(n-1)\pi \sin \theta_{l,k}(t))\} + n_n(t) \quad (2)$$

$$\phi_{l,k}(t) = \gamma_{l,k}(t) + \omega_c \tau_{l,k} \quad (3)$$

여기서 $\tau_{l,k}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 경로에 해당하는 다중경로전파지연, $\beta_{l,k}(t)$ 는 그 페이딩 진폭, $\phi_{l,k}(t)$ 는 그 페이딩 위상, 그리고 $\theta_{l,k}(t)$ 는 어레이에 수직되는 방향으로부터 측정된 입사각을 의미한다. 한편 $n_n(t)$ 는 n 번째 안테나 센서에 더해지는 양방향 전력주파수밀도가 $N_0/2$ 이고 평균값은 0 인 백색 가우시안 열잡음(AWGN) 랜덤 프로세스이다. 식 (2)에서 두 번째 지수표현은 입사각에 대한 어레이응답으로 동일 신호원에 대한 n 개의 안테나센서 출력은 센서간의 위상차인 $\exp(-j(n-1)\pi \sin \theta_{l,k}(t))$ 만을 제외하고는 동일한 값을 갖는다는 사실에서 비롯되었다. 본 논문에서는 모든 다중경로를 거쳐 어레이 센서에 도착한 각 사용자 신호의 전력의 세기는 열잡음 분산의 크기($\sigma_n^2 = 1$)로 정규화된다고 가정한다. 동일한 전체조건을 적용하면 식 (2)에서 $\beta_{l,k}(t)$ 로 표시된 다중경로 채널의 진폭은 각각 평균값이 0 이고 전력의 세기가 1인 가우시안 분포 특성을 갖는 랜덤 프로세스이다. 식(3)에서 k 번째 사용자의 l 번째 경로의 채널위상특성 $\gamma_{l,k}(t)$ 와 다중경로전파지연 $\tau_{l,k}$ 는 각각 $(0, 2\pi)$ 와 $(0, \tau_{\max})$ 에서 균등분포 특성을 갖는 랜덤변수이며 통상 τ_{\max} 는 $10 \sim 20 T_c$ 의 값을 갖는 것으로 설정한다. 여기서 T_c 는 PN확산코드의 칩의 주기이다.

$d_l(t)$ 가 원하는 데이터 스트림이고 채널예측방법을 사용해 PN 코드 획득기가 전파지연을 예측할 수 있다면 $n(n=1, \dots, N)$ 번째 안테나 센서에 수신된 신호 $r_n(t)$ 가 기저대역으로 천이된 후 PN 역확산 과정을 거친다면 그 때의 신호 $x_n(t)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$x_n(t) = \sum_{l=1}^L \left\{ d_l(t - \tau_{l,1}) \sqrt{P_1/2} \beta_{l,1}(t) \exp(j\phi_{l,1}(t)) \cdot \exp(-j(n-1)\pi \sin \theta_{l,1}(t)) \right\} + \sum_{k=2}^K \sum_{l=1}^L \left\{ d_k(t - \tau_{l,k}) \nu_{l,k}(t - \tau_{l,k}) \sqrt{P_k/2} \beta_{l,k}(t) \cdot \exp(j\phi_{l,k}(t)) \exp(-j(n-1)\pi \sin \theta_{l,k}(t)) \right\} + \tilde{n}_n(t) \quad (4)$$

식 (4)에서 $\psi_{l,k}(t-\tau_{l,k})$ 는 원하는 사용자 신호의 l 번째 다중경로의 PN확산코드와 간섭신호의 l 번째 다중경로의 PN 확산코드의 교차상관으로 식 (5)와 같이 표시되며 대단히 적은 값(≈ 0)을 가진다.

$$\psi_{l,k}(t-\tau_{l,k})=c_1(t-\tau_{l,1})c_k(t-\tau_{l,k}), k \neq 1 \quad (5)$$

식 (4)는 세 부분으로 이루어 지는데 그 첫 번째 부분은 L 개의 다중경로로 이루어진 원하는 사용자 신호로 각각의 경로는 페이딩 진폭과 페이딩 위상의 영향을 받은 지연된 데이터 스트림이다. 식 (4)의 두 번째 부분은 $K-1$ 개의 다중접속간섭신호의 합으로 각각의 간섭신호 역시 L 개의 다중경로로 이루어져 있다. 이 신호들은 PN 코드 역확산 때 서로 다른 코드의 교차상관의 결과로 식 (4)의 첫 번째 부분보다 상당히 낮은 전력의 세기를 가지며 이 세기는 확산이득과 밀접한 관계가 있다. 식 (4)의 마지막 부분은 어레이 각 센서에 더해지는 잡음이 PN 코드 역확산 과정을 거친 후의 상태를 의미한다.

식 (4)를 어레이 센서 전체의 벡터로 표시하면 다음 식과 같이 되며 이는 곧 빔 형성기 입력벡터의 표시이다.

$$\begin{aligned} \underline{x}(t) = & \sum_{l=1}^L \left\{ d_l(t-\tau_{l,1}) \sqrt{\frac{P_l}{2}} \beta_{l,1}(t) \exp(j\phi_{l,1}(t)) \underline{a}(\theta_{l,1}(t)) \right\} \\ & + \sum_{k=2}^K \sum_{l=1}^L \left\{ d_k(t-\tau_{l,k}) \psi_{l,k}(t-\tau_{l,k}) \sqrt{\frac{P_k}{2}} \beta_{l,k}(t) \cdot \right. \\ & \left. \exp(j\phi_{l,k}(t)) \underline{a}(\theta_{l,k}(t)) \right\} + \underline{\tilde{n}}(t) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 빔 형성기 입력벡터 $\underline{x}(t)$, 어레이 응답 벡터 $\underline{a}(\theta_{l,k}(t))$, 잡음벡터 $\underline{\tilde{n}}(t)$ 는 각각 다음 식으로 표시된다.

$$\underline{x}(t) = [x_1(t) \quad x_2(t) \quad \cdots \quad x_N(t)]^T \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \underline{a}(\theta_{l,k}(t)) = & [1 \quad \exp(-j\pi \sin \theta_{l,k}(t)) \\ & \cdots \exp(-j\pi(N-1) \sin \theta_{l,k}(t))]^T \end{aligned} \quad (8)$$

$$\underline{\tilde{n}}(t) = [\tilde{n}_1(t) \quad \tilde{n}_2(t) \quad \cdots \quad \tilde{n}_N(t)]^T \quad (9)$$

식 (7), (8), (9)에서 T 는 전치를 의미한다.

그림 1에서 보는 것과 같이 각각의 다중경로에서 독립적으로 작동하는 빔형성기(스마트안테나)의 입력벡터는 심벌주기 T_b 간격으로 샘플 되어 q 번째 스냅샷을 형성한다.

$$\underline{x}(q) = \int_{qT_b}^{(q+1)T_b} \underline{x}(t) dt \quad (10)$$

식 (10)에서 심벌주기 T_b 는 확산이득 P_G 와 칩주기 T_c 와의 곱으로 표시된다.

q 번째 스냅샷에서의 입력벡터 $\underline{x}(q)$ 와 가중치 벡터 $\underline{w}(q)$ 의 스칼라적외 빔형성기 출력을 이루며 다음 식으로 표현된다.

$$\underline{y}(q) = \underline{w}^H(q) \underline{x}(q) \quad (11)$$

식 (11)에서 H 는 복소공액전치연산자를 뜻한다. $\underline{y}(q)$ 의 실수부의 부호에 의하여 하드 디지전으로 참조신호를 결정한 후 본 논문에서는 가중치벡터 갱신의 방법으로 DDLMS 알고리즘을 사용하였으며 그 과정이 다음 식으로 표시되었다.

$$\underline{\varepsilon}(q) = d(q) - \underline{y}(q) \quad (12)$$

$$\underline{w}(q+1) = \underline{w}(q) + \mu \underline{x}(q) \underline{\varepsilon}^*(q) \quad (13)$$

식 (12)에서 $\underline{\varepsilon}(q)$ 는 q 번째 스냅샷에서의 빔형성기 출력 오차 추정치를 나타내고 $d(q)$ 는 참조신호이며 식 (13)에서 μ 는 스텝사이즈로 가중치벡터의 수렴속도를 결정짓는 주요한 인자이다.

식 (11), (12), (13)에 의해 각각의 다중경로에서 독립적으로 수행되는 가중치벡터의 갱신은 임의의 스냅샷 번호에서 다음 식과 같이 시공간배열 스마트안테나의 성능가능자를 결정한다.

$$P_S^q = \sum_{l=1}^L P_{l,l}^q \quad (14)$$

$$P_I^q = \sum_{k=2}^K \sum_{l=1}^L P_{k,l}^q \quad (15)$$

$$P_N^q = \sum_{l=1}^L P_{n,l}^q \quad (16)$$

식 (14)에서 P_S^q 는 q 번째 스냅샷에서의 원하는 사용자 신호 전력을, 식 (15)에서 P_I^q 는 q 번째 스냅샷에서의 간섭 신호 전력을, 그리고 식 (16)에서 P_N^q 는 q 번째 스냅샷에서의 어레이 센서 열잡음 전력의 세기를 각각 나타낸다. 식 (14), (15), (16)에 의해 q 번째 스냅샷에서의 스마트안테나 출력 신호 대간섭및잡음비 $SINR^q$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$SINR^q = \frac{P_S^q}{P_I^q + P_N^q} = \frac{\sum_{l=1}^L P_{1,l}^q}{\sum_{k=2}^K \sum_{l=1}^L P_{k,l}^q + \sum_{l=1}^L P_{n,l}^q} \quad (17)$$

III. 모의실험결과

본 논문의 모의실험을 수행하기 위하여 가정된 기지국 근처의 원하는 사용자 신호의 다중경로 모델이 그림 2에 표시되었다. 그림 2에서 원하는 사용자로부터 송신되는 수많은 부경로 신호는 언덕이나 큰 건물 같은 L 개의 주반사층에서 반사되어 L 개의 다중경로를 형성한다. 각각의 다중경로를 이루는 몇 개의 부경로는 다중경로별 입사각분산(Angular dispersion: 그림 2에서 입사각1 분산과 입사각 2 분산)을 이루고 각각의 다중경로에서 구한 부경로 입사각들의 평균값이 그 다중경로의 입사각이다. 기지국 입사각분산(DOA 스프레드)은 다중경로 입사

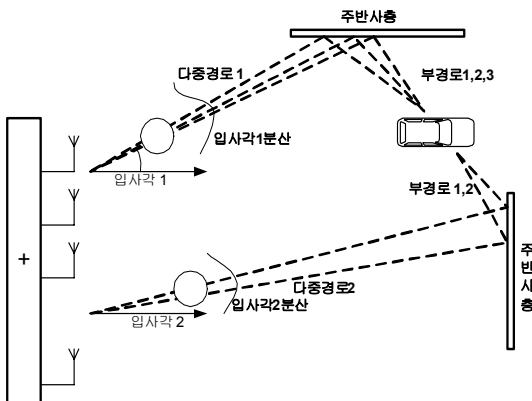


그림 2. 입사각 분산구조

각들의 분포를 의미하며 그림 2의 경우 입사각1과 입사각2로 표시된다.

본 논문의 모의실험에 사용된 가정과 인자의 설정은 다음과 같다.

- 가. 신호들의 데이터 속도는 12.3 Kbps, 칩속도는 1.23 Mbps로 한다. 즉 프로세싱이득은 20 dB이다.
- 나. 원하는 사용자 신호의 전력은 1로 정규화한다. 즉 PN 코드 역확산 이후의 간섭신호의 전력은 0.01이다.
- 다. 각 다중경로의 지연분산($\tau_{l,k}$)은 칩주기의 10배 이내로 제한한다.
- 라. 원하는 사용자 신호는 출발지점으로부터 일정한 속도로 움직이며 매 스냅샷마다 L 개의 다중경로로 이루어진 서로 다른 입사각 분산 특성을 갖는다.
- 마. $K-1$ 개의 간섭신호는 일정한 속도로 움직이지 않으며 매 스냅샷마다의 입사각은 -90 도와 $+90$ 도 사이에서 균등분포하는 랜덤변수이다. 또한 각각의 간섭신호도 L 개의 다중경로로 이루어진다.
- 바. 가중치벡터 갱신을 위해 매 스냅샷마다 각각의 다중경로당 한 번의 DDLMS 사이클, 즉 L 번의 DDLMS 사이클이 수행되고 LMS 스텝 사이즈 μ 는 0.1로 한다. 이 모의실험의 여러 인자의 가정치 환경에서 0.1의 스텝사이즈는 가중치벡터의 수렴속도를 가장 빠르게 하는 것으로 추정된다.
- 사. 각 다중경로별 가중치벡터의 초기치는 $w_l = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$, $l=1, \dots, L$ 이다.
- 아. 도플러천이의 크기는 사용자 신호의 기지국으로부터의 거리, 사용자 신호의 이동속도, 역방향 반송주파수 등에 의해서 결정된다.
- 자. 각 다중경로를 이루는 부경로들의 입사각분산은 0으로 한다.

PN역확산기 뒤단의 SNR(신호대잡음비)이 0.01이고 간섭신호의 숫자가 5, 어레이 센서의 숫자가 5, 기지국에서 10M 떨어진 원하는 사용자신호가 스냅샷당 0.005도 이동하며, 즉 시속 약 38 Km로 달리며, 3개의 다중경로로부터 들어오는 신호의 입사각들이 매 스냅샷마다 30도 이내에서 분포할 때의 스마트안테나의 다중경로별 가중치벡터가 수렴하는 모양이 그림 3에 표시되었다. 본 논문에서 |weight|로

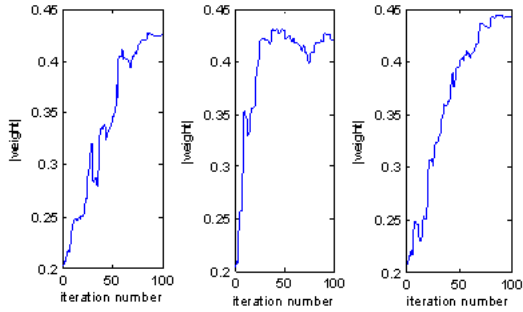


그림 3. 다중경로별 가중치벡터 수렴 상태: 센서 숫자=5, 간섭신호 숫자=5, 입사각분산=30°

표시된 가중치벡터의 크기는 1차 높, 즉 $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |w_n|$ 에 의해 계산되었다. 그림 3에서 3개의 다중경로의 가중치벡터는 100번째 스냅샷에서 모두 0.43 근처로 수렴함이 관찰되었다.

간섭신호의 숫자 증가에 따른 DDLMS 기반 시공간배열 스마트안테나의 SINR(신호대간섭및잡음비) 성능이 시간배열 단수안테나의 SINR과 함께 그림 4에서 비교되었다. 시간배열단수안테나는 모든 다중경로신호를 검출할 수 있는 레이크수신기가 장착된 안테나를 의미하며 그림 4에서의 모의실험환경은 간섭신호의 숫자가 변화한다는 것을 제외하고는 그림 3의 환경과 동일하고 추가적으로 각 다중경로신호간의 전파지연시간은 PN확산신호 칩주기의 5배 이내로 제한하였다. 그림 4에서 단수안테나에 비해 시공간배열 스마트안테나가 입사각분산 30도의 다중경로 페이딩 환경에서 SINR 성능을 4~5 dB 개선시킴이 관찰되었다. 그림 4는 또한 검출 가능한 다중경로 (finger)의 숫자가 증가함에 따라 스마트안테나의 성능도 다소간 향상됨을 보여주었다.

그림 5는 그림 4에서 보여준 성능을 BER성능으로 다시 표현한 것으로 스마트안테나를 장착한 경우에 그 BER이 단수안테나의 경우보다 대략 Order of Magnitude 개선됨을 보여주고 있다. 특히 그림 5에서는 간섭신호의 숫자가 20을 초과한 경우에 스마트안테나의 장착이 BER을 10^{-2} 이하로 유지시킴으로써 가입자용량의 증대 효과를 유발하는 것을 설명하고 있다.

그림 4에서 언급한 핑거 숫자에 따른 스마트안테나의 SINR 성능 변화가 입사각분산의 크기와 함께 그림 6에 표시되었다. 그림 6은 9개의 어레이 센서와 15개의 간섭신호가 존재하고, 다중경로 전파지연

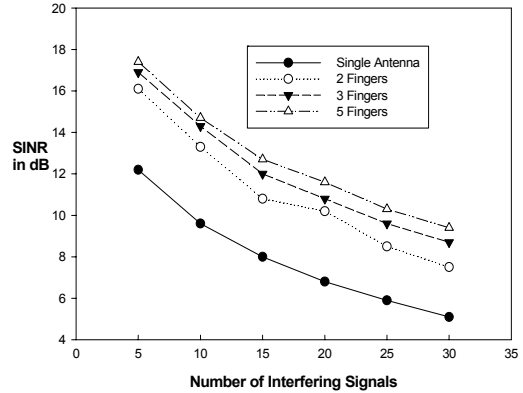


그림 4. 간섭신호 숫자에 따른 스마트안테나 성능변화: 센서숫자=5, 입사각분산=30°

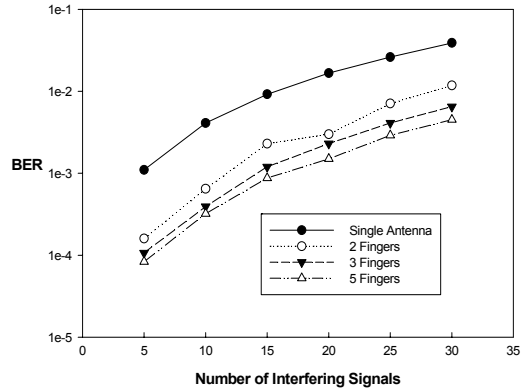


그림 5. 간섭신호 숫자에 따른 스마트안테나 BER변화: 센서숫자=5, 입사각분산=30°

이 확산신호 칩주기의 10배 이내로 제한될 때의 모의실험으로 얻어진 값을 표시한 것으로 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 시공간배열 스마트안테나의 성능은 핑거 숫자의 증가와 함께 비선형으로 개선되며 7개의 핑거 근처에서 포화한다. 복잡한 구조물이 밀집되어 있는 도시환경에서 그 구조물의 분포 형태에 따라 핑거의 숫자 증가로 얻을 수 있는 이득과 필요한 경비의 적절한 균형이 필요함을 시사하고 있다. 또한 동일한 다중경로 숫자에서는 입사각분산의 크기가 작을수록 안정적인데 이는 입사각분산이 커질수록 간섭신호의 다중경로와 원하는 신호의 다중경로가 서로 근접할 확률이 높아지기 때문이다. 그림 6에서는 10도, 20도, 30도의 세가지 경우의 입사각분산이 비교되었다.

그림 3의 다중경로별 가중치벡터의 수렴이 얻어진 환경은 원하는 사용자신호가 시속 38.5 Km로 이동하는 경우로서 이 속도는 사용자신호의 기지국

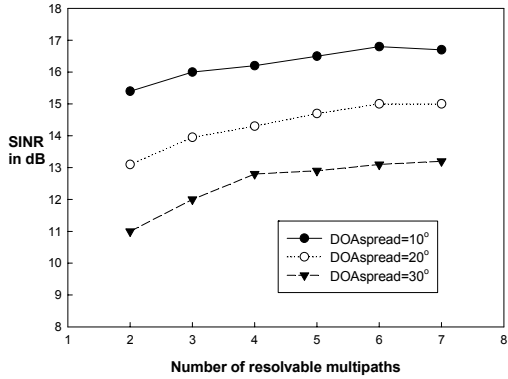


그림 6. 핑거 숫자에 따른 스마트안테나 성능 변화: 센서 숫자=9, 간섭신호 숫자=15

으로부터의 이격거리와 신호의 비트주기에 의하여 계산되었다. 이 속도를 신호의 파장으로 나눈 값은 30.8 Hz이고 이 값이 곧 도플러천이값이므로 우리는 도플러천이값을 변화시킴으로써 모의실험을 구성하는 다양한 인자들의 값을 변화하는 효과, 즉 원하는 사용자의 이동속도, 반송파 상향채널 주파수 등을 변화하는 효과를 얻을 수 있다. 어레이 센서 숫자가 5이고 간섭신호의 숫자가 5, 핑거 숫자가 3일 때 도플러천이값을 30.8 Hz, 61.6 Hz, 그리고 154 Hz 로 변화시키며 스마트안테나의 SINR 성능을 비교해 본 결과 도플러천이값에 관계없이 19 dB를 얻을 수 있음이 관찰되었다. 이 같은 스마트안테나 SINR 성능의 독립성은 각 다중경로의 전파지연을 확산침주기의 1배, 2배, 5배, 그리고 10 배로 설정했을 때도 확인되었다.

스마트안테나의 SNR이득은 안테나출력 SNR과 안테나입력 SNR의 차이로 이상적인 환경에서 어레이센서의 숫자와 일치한다. 간섭신호의 숫자가 10,

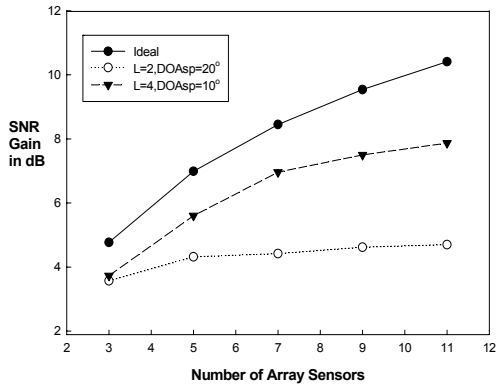


그림 7. 센서 숫자에 따른 SNR이득의 변화: 간섭신호숫자=10

핑거 숫자가 2, 입사각분산을 20도로 설정했을 때와 동일한 숫자의 간섭신호에 핑거 숫자가 4, 입사각분산을 10도로 설정했을 때의 두 가지 경우에 대해 어레이 센서가 3개, 5개, 7개, 9개, 11개의 순서로 증가했을 때의 스마트안테나의 SNR이득의 결과가 그림 7에 표시되었다. 그림 4, 5, 6에서 언급되었듯이 핑거의 숫자가 많아질수록, 입사각분산이 작아질수록 시공간배열 스마트안테나의 성능이 향상되는 것이 그림 7에서도 나타나고 있다. 그림 7에서 센서의 개수가 늘어날수록 다중경로 페이딩으로 인한 스마트안테나의 SNR 이득의 열화가 더욱 심화되는 것을 볼 수 있다. 여기서 유념할 것은 그림 7이 시공간배열 스마트안테나가 공간분산에서 얻을 수 있는 성능향상의 한계를 보여주고 있다는 점이다. 즉 그림 6이 구조물의 분포 형태에 따라 시공간배열 스마트안테나의 핑거의 숫자 증가로 얻을 수 있는 이득(시간분산에서 얻을 수 있는 성능향상)에 한계가 있는 것을 나타내는 것처럼 그림 7은 구조물의 분포 형태에 따라 시공간배열 스마트안테나의 센서의 숫자 증가의 한계성을 나타내고 있는 것이다.

마지막 모의실험은 다중경로 환경에서 어레이센서의 숫자와 핑거 숫자의 변화에 따른 시공간배열 스마트안테나의 SINR성능 변화에 대한 관찰로 진행되었다. 간섭신호를 10개, 입사각분산을 10°로 고정하였을 때 어레이센서가 3개부터 11개까지, 핑거 숫자가 2개부터 6개까지 변화할 때의 스마트안테나의 성능 변화가 그림 8에 표시되었다. 예상과 같이 어레이센서의 증가, 핑거의 증가로 얻을 수 있는 스마트안테나 성능 향상은 한계가 있음이 관찰되었다.

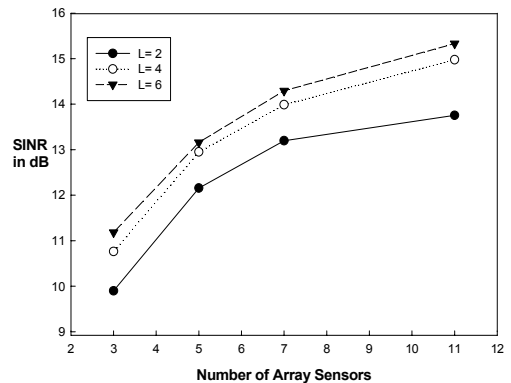


그림 8. 센서 숫자와 핑거 숫자의 변화에 따른 스마트안테나 성능 변화: 간섭신호 숫자=10, 입사각분산=10°, 스텝사이즈=0.01

IV. 결 론

공간분산구조의 적응배열안테나에 다중경로의 숫자와 동일한 숫자의 finger를 탑재한 레이크 수신기를 결합하고 빔형성 알고리즘으로 Decision Directed Reference 신호를 채택하는 LMS 방법을 사용하는 시공간배열 스마트안테나가 CDMA 기지국에 설치되었을 때, 그 신호 흐름의 모델을 알아보았고 다중경로 환경의 중요한 인자인 검출 가능한 다중경로의 숫자, 다중경로별 신호의 입사각의 분산의 정도, 전파지연의 정도, 그리고 도플러천이의 정도에 이 스마트안테나가 반응하는 모양을 알아보았다.

가중치벡터는 각각의 다중경로별로 독립적으로 갱신되었으며 평형상태에서 동일한 1차 놈(first order norm)값에 수렴하였다. 시공간배열 스마트안테나는 프로세싱이득 20dB, PN역확산 뒷단 입력 SNR 20dB, 센서 숫자 5, 입사각분산 30도 환경에서 order of magnitude 의 BER 개선을 보였으며 일반적으로 핑거의 숫자가 많아질수록, 입사각분산이 작아질수록 우수한 성능을 보여 주었다. 다중경로가 가지고 있는 전파지연의 크기와 사용자신호의 이동속도 등이 유발하는 도플러천이값의 변화에 스마트안테나의 성능은 독립적임을 보였다.

복잡한 구조물로 이루어진 도시환경에서 다중경로를 초래하는 구조물의 분포 형상에 따라 스마트안테나의 공간분산(어레이센서의 숫자)과 시간분산(핑거의 숫자)으로 얻을 수 있는 이득에는 한계가 있음이 모의실험으로 증명되었다.

참 고 문 헌

[1] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 892-900, Aug. 1993

[2] E. Dahlman, P. Beming, J. Knutsson, F. Ovesjo, M. Persson, and C. Roobol, "WCDMA - The radio interface for future mobile multimedia communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, pp. 1105-1118, Nov. 1998

[3] M. Zeng, A. Annamalai, and V. Bhargava, "Recent advances in cellular wireless communications," *IEEE Commun. Mag. (Special Issue on Wideband CDMA)*, vol. 36, pp. 128-138, Sep. 1999

[4] D. Kim and D. Sung, "Capacity estimation for an SIR-based power controlled CDMA system supporting on-off traffic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 50, no. 3, pp. 1094-1101, July 2000

[5] A. Naguib, "Adaptive antennas for CDMA wireless networks," Ph.D. dissertation, Stanford Univ., 1996

[6] S. Choi and D. Yun, "Design of an adaptive antenna array for tracking the source of maximum power and its application to CDMA mobile communications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* vol. 45, pp. 1393-1404, Sep.1997

[7] J. Winters, "Smart antennas for wireless systems," *IEEE Personal Commun. Mag.*, pp. 23-27, Feb. 1998

[8] 홍영진, "CDMA 상향채널용 CGM-LMS 접목 적응빔형성 알고리즘에 관한 연구," *한국통신학회논문지* vol. 32, no. 9, pp. 895-904, Sep. 2007

[9] J. Liberti and T. Rappaport, "Reverse channel performance improvements in CDMA cellular communication systems employing adaptive antennas," *IEEE Proc. Globecom*, vol. VI, pp. 42-47, 1993

[10] C. Gardner and J. Orr, "Fading effects on the performance of a spread spectrum multiple-access communication system," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp. 143-149, Jan. 1979

[11] G. Turin, "The effects of multipath and fading on the performance of direct-sequence CDMA systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-2, no. 4, pp. 597-603, July 1984

[12] T. Ottosson and M. Skoglund, "Joint source-channel and multiuser decoding for Rayleigh fading CDMA channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48 no. 1, pp. 13-16, Jan. 2000

[13] A. Higashi and T. Matsumoto, "Combined adaptive RAKE diversity(ARD) and coding for DPSK DS/CDMA mobile radio," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, pp. 1076-1084, Sep. 1993

[14] A. Naguib and A. Paulraj, "Performance of CDMA cellular networks with base-station antenna arrays," *Proc. International Zurich seminar on digital communications*, pp. 87-100, Mar. 1994

- [15] S. Durrani, and M. Bialkowski, "The performance of a smart antenna system in multipath fading environment for CDMA," Proc. Fourth Australian Communications Theory Workshop Melbourne, pp. 10-10, Feb. 2003.
- [16] F.Ueng, J. Chen, and S. Cheng, "Smart antennas for multiuser DS/CDMA communications in multipath fading channels," Proc. ISSSAT2004, pp. 400-404, Aug. 2004
- [17] C. Ng, and et. al., "Directional diversity of smart antenna in LAS CDMA systems," *Wireless Personal Communications*, vol. 46 no. 3, pp. 305-316, Aug. 2008

홍 영 진 (Young-Jin Hong)

중신회원



1978년 2월 서울대학교 전기
공학과 학사

1982년 12월 뉴욕주립대학교
(스토니브룩) 전자공학과
석사

1985년 12월 뉴욕주립대학교
(스토니브룩) 전자공학과 박사

1978년 1월~1981년 8월 삼성전자 컴퓨터사업부

1986년 1월~1986년 5월 SUNY, Stony Brook,

Visiting Assistant Professor

1986년 6월~1991년 12월 LNR Communication,

New York, Senior Engineer

1992년 1월~1993년 7월 삼성종합기술원, 전송기술
연구실장

1993년 8월~1994년 3월 KT 위성사업단 위성감리
국장

1994년 4월~1997년 6월 Eastel Systems 연구소장

1997년 7월~2003년 12월 SKC&C 서비스부문장

2004년 1월~2004년 12월 성일텔레콤 연구소장

2005년 3월~현재 동명대학교 전기전자공학과 부교수

<관심분야> 무선통신, 스마트안테나, RFID