

이동통신 환경에서 DS-CDMA 신호의 방향성 추정

양 두 영* · 문 성 익**

DOA Estimation of DS-CDMA Signals for Mobile Communication Environment

Doo-Yeong Yang* · Seong-Ik Moon**

ABSTRACT

The DOA(direction of arrival) of DS-CDMA signals for mobile communication environment was estimated using non-parametric algorithm and MUSIC(multiple signal classification) algorithm. The non-parametric algorithm with regularizing sparsity constraints achieved super-resolution and noise suppression, effectively. This algorithm offered the increased resolution and significantly reduced sidelobes compared with MUSIC algorithm. The numerical analysis showed that it can accurately find DOA and improve the detection probability of the multiple signals.

Key words : DOA, MUSIC algorithm, non-parametric algorithm

1. 서 론

최근 이동통신에 대한 수요가 급증함에 따라 한정된 주파수 자원을 효과적으로 이용하려는 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 셀룰러, PCS 등의 이동통신은 한정된 주파수를 효과적으로 사용하기 위해 서비스 영역을 다수개의 셀(cell)로 나누어 주파수 효율성을 증가시켰지만 셀 분할에 따른 기지국 설치에 대한 비용적 부담과 잦은 핸드오프로 인한 통신 두절로

신뢰성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 기지국을 증설하지 않고 진보된 안테나 기술을 적용해서 통신 용량을 증가시키고 통신 품질을 개선할 수 있는 연구가 진행되고 있다[1].

특히, 스마트 안테나 기술은 여러 개의 안테나 소자를 배열하여 각각의 안테나 소자에 수신되는 신호들의 이득 및 위상을 조절함으로써 기지국에서 원하는 사용자의 방향으로부터 전파되어 오는 신호만을 수신하고 그 이외의 방향에서 전파되어 오는 다중 접속 간섭에 의한 잡음 신호 레벨을 크게 감소시켜 시스템의 성능을 향상시키고 기지국의 채널 용량을 증가시킬 수 있는 기술이다.

스마트 안테나 기술에서 원하는 방향으로 빔을 형성하기 위해서는 먼저 신호의 방향(DOA: Direction Of Arrival)을 추정해야 한다. 배열 소자에 입사되는 신호의 DOA를 추정하는 방법에는 지연-합 방법, 캐

* 제주대학교 통신 컴퓨터 공학부, 첨단 기술 연구소
Faculty of Telecommunication and Computer Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.
** 제주대학교 통신컴퓨터공학부
Faculty of Telecommunication and Computer Eng., Cheju Nat'l Univ.

폰의 최소 분산법, MUSIC 알고리즘, ESPRIT 알고리즘, ML 방법 등이 있다[2,3].

본 논문에서는 이동통신 환경에서 DS-CDMA 신호의 DOA를 추정하기 위하여 회소 강제 조정을 포함하는 개선된 non-parametric 알고리즘에 대해 제안하고 시뮬레이션을 통하여 MUSIC 알고리즘과 비교·분석하고, 제안한 알고리즘의 우수성을 입증한다.

II. non-parametric 알고리즘

회소 강제 조정을 포함하는 non-parametric 알고리즘은 각도의 함수로 된 신호 에너지를 추정하기 위해 조정된 목적 함수를 최소화하는 변환 구조를 이용하게 된다[4,7]. non-parametric 알고리즘의 특징은 회소 강제와 고분해능(super-resolution)을 만드는 적합한 non-quadratic 조정 함수의 기능을 갖는 l_p -norm을 사용한다. 특히, 배열 안테나로 입사되는 공간 신호원의 에너지 크기와 방향에 따라 분해능의 조정기능을 갖는 l_p -norm과 분해능변수 α 값을 최적으로 수렴시킬 수 있는 알고리즘을 제안한다.

2.1. 관측 모델

Fig. 1은 M 개의 배열 안테나에 입사되는 k 개의 신호에 대한 관측 모델과 non-parametric 알고리즘의 계통도이다.

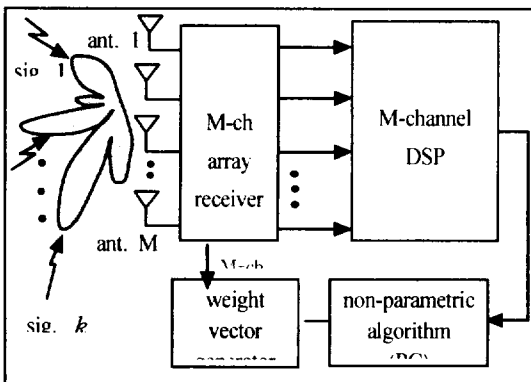


Fig. 1. The observation model and flowchart of non-parametric algorithm.

본 논문에서는 M 개의 다이폴 안테나에 입사되는 공간 신호로부터 추출한 협대역 DS-CDMA 신호원을 고려한다.

$$s(t) = \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q e_p b_p(t-q) c_p(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서 e_p 는 수신된 신호의 진폭을 나타내며, b_p 은 p 번째 정보 비트 그리고 c_p 은 PN코드이다. q 는 페이딩에 의한 신호의 지연을 나타내며 $n(t)$ 는 잡음 신호이다.

여러 방향에서 공간신호원이 배열안테나로 입사될 때 $\{\theta_1, \dots, \theta_N\}$ 는 모든 신호의 도달 방향을 나타낸다. 그러므로 시간에 따른 안테나 수신신호 $y(t)$ 는 $N_\theta \times 1$ 벡터인 $s(t)$ 로 표현할 수 있다. 각도 θ_i 에 신호원이 있다면 i 번째 신호 $s(t)$ 는 임의의 신호성분을 갖게 된다. 이에 따른 관측 모델은 식 (2)과 같다.

$$y(t) = A s(t) + n(t) \quad (2)$$

여기서 M 개의 배열 소자 수를 갖는 안테나로부터 수신된 $M \times 1$ 벡터인 $y(t)$ 와 $n(t)$ 는 안테나 소자에서 측정되는 신호와 잡음을 나타내고, $M \times N_\theta$ 인 행렬 A 는 모든 가능한 DOA에 대응하는 steering 벡터로 구성된다[8].

2.2. 목적 함수

기본적으로 $s(t)$ 는 신호원의 DOA에서 최대치를 갖는다. 따라서 안테나에서 관측된 $y(t)$ 로부터 $s(t)$ 를 얻어야 한다. 이러한 과정은 일반적으로 ill-posed inverse 문제를 야기시킨다. ill-posed inverse 문제는 회소 강제조정을 통해서 해결한다. 따라서 수신된 에너지는 적은 수의 DOA에 집중된다. 이에 따른 시간적 관측에서 합성된 목적 함수는 다음과 같다[9].

$$J(\bar{s}) = E[\|y(t) - A\bar{s}\|_2^2] + \|\bar{s}\|_p^q \quad (3)$$

여기서 $E[\|\cdot\|]$ 는 앙상블 시평균 연산자(ensemble expectation operator)이고, $\|\cdot\|_p$ 는 l_p -norm으로 $\|x\|_p = \left(\sum_{i=1}^N |x_i|^p\right)^{1/p}$ 을 나타낸다. \bar{s} 는 신호가 시간적으로 샘플링되어 조합된 수신 신호이다. 식 (3)의 첫 번째 항은 l_2 -norm에 근거한 신호 충실도 향으로 최적화를 하기 전에 시간적으로 신호를 조합하며, 두 번째 항은 강제하고자 하는 회소 강제 조정 항이다. 두 번째 항에서 파라미터 p 와 α 의 선택이 고분해능과 잡음 억제 목적을 달성하는데 중요한 매개체 역할을 담당한다.

$p \leq 1$ 일 때 원 신호 근처에서 l_p -norm의 미분 불가능으로 인한 문제를 해결하기 위해 식 (4)와 같이 l_p -norm을 근사화 시킨다. 식(3)에 근사화를 적용한 목적함수는 다음과 같다.

$$J_\epsilon(\bar{s}) = \frac{1}{T} \left(\sum_{t=1}^T \|y(t) - A\bar{s}\|_2^2 \right) + \alpha \sum_{i=1}^N (|\bar{s}_i|^2 + \epsilon)^{p/2} \quad (4)$$

여기서 T 는 알고리즘이 초당 처리해야 할 snapshot의 수를 나타내며 식 (4)를 목적 함수로 사용하여 $J_\epsilon(\bar{s})$ 의 값을 최소화시킨다. 식(4)에서 수치적 최적화 문제를 해결하기 위하여 half-quadratic 조정 방법을 사용한다. half-quadratic 조정은 non-quadratic 최적화 문제를 quadratic 문제의 수열로 변환시킨다. 결과적인 반복 알고리즘은 다음과 같다.

$$H(\hat{s}^{(n)}) \hat{s}^{(n+1)} = \frac{1}{T} \left(\sum_{t=1}^T A^H y(t) \right) \quad (5)$$

여기서 n 은 반복 횟수를 나타내고, A^H 는 A 의 공액 복소(conjugate complex) 전치행렬, \hat{s} 는 반복 알고리즘을 수행하는 과정에서 n 번째 도출된 \bar{s} 의 값을 의미한다.

$$H(\bar{s}) \equiv A^H A + \alpha A(\bar{s})$$

$$A(\bar{s}) \equiv \text{diag} \left\{ \frac{p/2}{(|\bar{s}_i|^2 + \epsilon)^{1-p/2}} \right\}$$

$\text{diag}(\cdot)$ 는 \bar{s} 의 i 번째 성분을 갖는 대각행렬을 나타낸다. 최적화는 식 (5)가 $\frac{\|\hat{s}^{(n+1)} - \hat{s}^{(n)}\|_2^2}{\|\hat{s}^{(n)}\|_2^2} < \delta$

일 때까지 반복한다. 여기서 δ 는 수렴조건을 나타내는 상수이다. 이러한 형태의 알고리즘 수렴 특성은 임의의 초기 값으로부터 지역적 최소(local minimum) 값으로 수렴하는 것을 보장한다.

III. 시뮬레이션

본 논문에서 가정한 입력 신호원은 베이스밴드 단에서의 DOA 추정능력을 확인하기 위해 방향성과 페이딩을 포함하는 식(2)의 DS-CDMA 신호를 이용하였다. 안테나 소자의 수는 각각 8, 12, 20개의 배열구조를 갖으며 배열 간격은 0.474λ 로 하여 균일 배열시켰다. steering 벡터는 0° 에서 180° 까지를 1° 씩 분할하여 구성하였다.

신호대 잡음비(S/N)에 따른 추정 능력을 확인하기 위하여 S/N을 $-30\text{dB} \sim 10\text{dB}$ 범위에서 계산하였으며, 임의의 신호 방향(random DOA)에 대한 DOA의 수에 따른 non-parametric 알고리즘의 특성을 고찰하였다. 또한 snapshot 수에 따른 DOA 추정 능력에 살펴보았다. 이때, \bar{s} 의 초기치는 Table 1에 보여진 것처럼 181×1 의 영(zero) 벡터로 설정하였다.

Table 1. The simulation environment

\hat{s} 의 초기치	181×1 의 '0' 벡터
파라미터	α 가변
안테나 소자수	8, 12, 20
배열 간격	0.474λ
A size	12×181
신호원	CDMA
신호 지연	최대 46bit
S/N	$-30\text{dB} \sim 10\text{dB}$
DOA 수	2 ~ 7
snapshot 수	10 ~ 500

파라미터의 가변 여부에 따른 추정 능력의 차이를 확인하기 위하여 α 를 고정하였을 경우와 반복 과정에서 가변 하는 경우 모두를 고려하였다. 반복과정에서의 파라미터 α 의 변환은 전 단계의 신호와 현재의 신호를 비교하여 변환하도록 하였다. 파라미터 α 의 최적화 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha = \frac{[\hat{\mathbf{s}}^{(n-1)}]^H \hat{\mathbf{s}}^{(n)}}{[\hat{\mathbf{s}}^{(n)}]^H \hat{\mathbf{s}}^{(n)}} \quad (6)$$

Fig. 2는 MUSIC 알고리즘과 non-parametric 알고리즘의 분해능을 비교한 그림이다. 배열안테나 소자수(M)가 8이고 신호대잡음비(S/N)가 10dB, 두 개의 신호원이 60°, 80°로 입사될 때 입사방향에 따라 검출된 신호원의 크기를 나타낸 그림이다. 동일한 조건에서 non-parametric 알고리즘이 MUSIC 알고리즘보다 신호 방향을 정확하게 추정함을 알 수 있었으며 부엽도 현저하게 감소됨을 확인할 수 있었다. 즉, MUSIC 알고리즘의 경우, 두 신호원이 분리도가 -20 dB이하인 반면 제안된 알고리즘은 -70dB 이하로 나타나 양호한 분리도를 확인할 수 있었다.

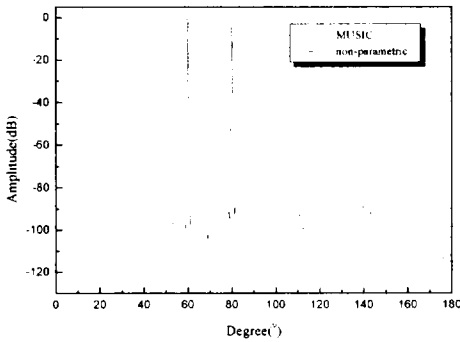


Fig. 2. The compared with MUSIC and non-parametric algorithm when 60°, 80°, S/N = 10dB, M=8.

Fig. 3은 배열 안테나 소자수가 12개일 때 파라미터 α 의 가변 여부에 따른 다섯 개의 신호원에 대한 DOA 추정 능력을 나타낸 그림이다. 즉, 파라미터 α 를 임의의 값 0.1로 고정하였을 때와 최적화하기 위해 가변 시켰을 때 찾아낸 DOA의 추정 능력을 나타내었다. α 를 최적화 시킴으로써 DOA 신호의 입사

방향에 따라 달라지는 신호의 분해능을 향상시킬 수 있었다. 특히, 인접 신호간에 분리도가 160, 171°와 같이 매우 인접했을 때 α 를 고정시킨 경우 두 신호원을 분리하지 못하고 중간 값 범위인 하나의 신호로 추정해버리는 문제점이 발생하지만 가변 시킴으로써 인접된 신호라 할지라도 정확히 모든 신호원의 입사 방향을 추정할 수 있었다.

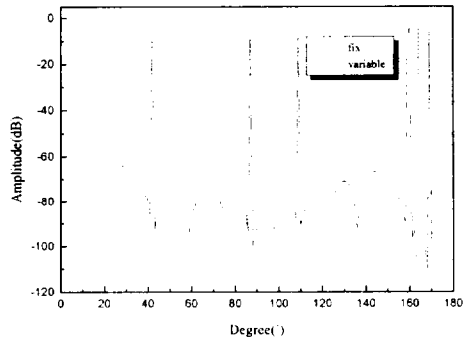


Fig. 3. The DOA estimation by parameter α when M=12, 42°, 87°, 109°, 160°, 171°, S/N = 10dB.

Fig. 4는 Fig. 3에서 파라미터 α 의 변화량을 나타낸 그림이다. 계산상의 반복과정을 통하여 식 (6)의 α 값을 식 (4)에 적용하여 목적함수를 최소화시키는 과정에서 가변 된 α 값은 수렴도를 향상시킬 뿐만 아니라 DOA를 정확하게 추정한다. 그림에서 볼 수 있듯이 파라미터 α 는 약 10번 정도의 반복과정을 통하여 일정한 상수로 수렴해 가는 것을 확인할 수 있었다.

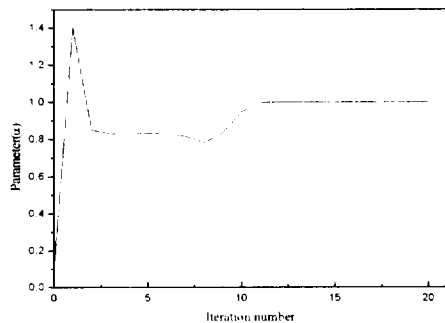


Fig. 4. The convergence for α by iteration

Fig. 5는 안테나 소자 수에 따른 DOA 추정 능력을 비교한 그림이다. 안테나 소자수가 적을수록 부엽이 증가하고 정확하게 DOA를 추정하지 못하지만 안테나 소자수가 12개 이상인 경우에는 정확한 DOA가 추정됨을 알 수 있었다.

Fig. 6은 배열 안테나 소자수가 12개일 때 신호대 잡음비(S/N)에 따른 DOA 추정확률을 나타낸 곡선이다. 그림에서 보여진 것처럼, 약 -5dB 정도의 S/N에서부터 거의 정확하게 신호의 DOA를 추정하는 것을 확인할 수 있었다.

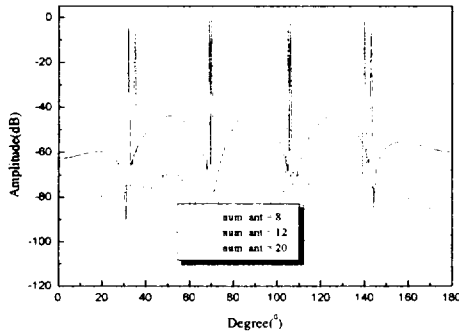


Fig. 5. The DOA estimation by element number when 35°, 70°, 105°, 140°, S/N = 3dB

Fig. 7은 S/N비가 -3dB일 때 non-parametric 알고리즘과 MUSIC 알고리즘의 DOA 추정 확률을 나타낸 그림이다. DOA 수가 증가할수록 non-parametric 알고리즘의 DOA 추정 능력이 우수함을 확인할 수 있었다.

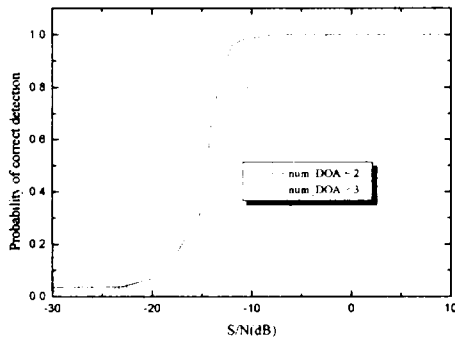


Fig. 6. DOA estimation probability by S/N when 60°, 80°, 60°, 80°, 140°, M=12.

Fig. 8은 안테나 소자수가 12개일 때 snapshot 수에 따른 MUSIC 알고리즘과 non-parametric 알고리즘의 DOA 추정 확률을 나타낸 곡선이다. snapshot 수가 40이상이면 100%의 정확도로 DOA를 추정하는 것을 확인할 수 있었다.

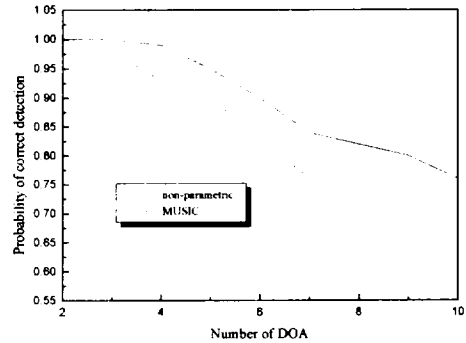


Fig. 7. The estimation probability by the DOA number when S/N = 3dB.

Fig. 9는 12개의 배열 소자를 갖는 안테나에 지연되지 않은 CDMA 신호와 최대 46bit 지연된 CDMA 신호가 입력될 때 non-parametric 알고리즘을 이용하여 DOA 추정을 시뮬레이션하고 비교한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 다중반사에 의해 지연된 신호 일지라도 DOA 방향을 정확히 추정함을 계산된 스펙트럼을 통하여 확인할 수 있었다.

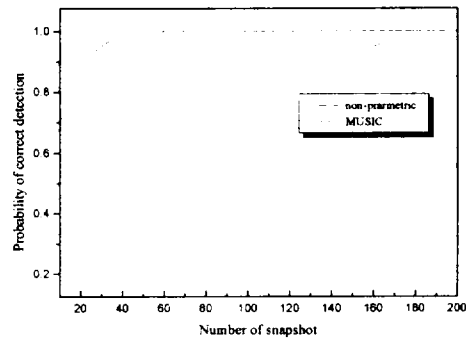


Fig. 8. The DOA estimation probability by snapshot number when 30°, 70°, 110°, 150°, S/N = 10dB, M=12.

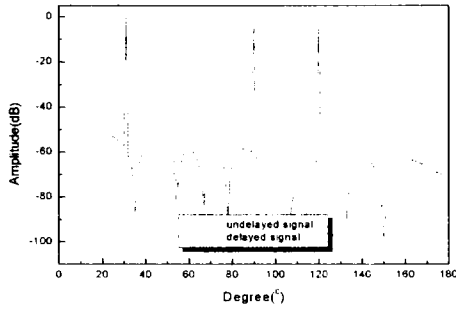


Fig. 9. The compared with delay signal source and non-delay signal source when 30°, 90°, 120°, S/N = -3dB, M=12.

IV. 결론

본 논문에서는 시간적으로 조합된 안테나 수신 신호를 이용하여 안테나 배열에 입사되는 신호의 방향을 추정하는 개선된 non-parametric 알고리즘에 대하여 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

그 결과, MUSIC 알고리즘과 비교해 볼 때 제안한 알고리즘이 페이딩에 의해 지연된 신호원이 입력되더라도 매우 우수한 특성으로 DOA 추정능력을 확인할 수 있었다. 반복과정에서 파라미터를 변환하면서 DOA를 추정할 경우, 파라미터를 고정하였을 경우보다 더 좋은 특성을 나타내었으며, 본 논문에서 적용된 파라미터는 상황이 바뀔 때마다 수동으로 파라미터를 변환해야 하는 단점을 개선시켜 신호의 DOA를 정확히 추정할 수 있었다.

본 논문에서 제안하고 시뮬레이션 한 알고리즘은 제한된 주파수 환경에서 통신용량을 증가시키고 통화 품질을 향상시킬 수 있는 스마트 안테나 기술에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 심동희, 2002, 3GPP 다중 안테나 기술 동향 Part I: 송신 다이버시티 및 빔 형성을 중심으로, Telecommunication Review 제 12권 2호, pp.139

-140.

- 2) J. Capon, 1969, High resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, Proc. IEEE, Vol. 57, No.8, pp. 1408-1418.
- 3) R.O. Schmidt, 1981, A Signal Subspace Approach to Multiple Emitter Location and Spectral Estimation, Ph.D. Thesis, Stanford Univ., Stanford, CA.
- 4) Mujdat Cetin, 2002, "A variational technique for source localization based on a sparse signal reconstruction perspective", Proceedings of the 2002 IEEE international Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing.
- 5) Donald Geman, 1992, "Constrained restoration and the recovery of discontinuities", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No.3.
- 6) A.H. Delaney, 1998, Globally convergent edge-preserving regularized reconstruction: an application to limited-angle tomography, IEEE Trans. Image Processing, Vol 7, No. 2, pp.204-221.
- 7) P. Ciuciu, J. Idier, and J.F. Giovannelli, 1992, Markovian high resolution spectral analysis, in IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Phoenix, AZ, USA, Vol.3, pp.1601-1604.
- 8) S.S. Chen, 1998, Application of basis pursuit in spectrum estimation, in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol.3, pp.1865-1868.
- 9) D. M. Malioutov, A. S. Willsky, 2002, A variational technique for source localization based on a sparse signal reconstruction perspective, in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 3, pp. 2965-2968.