

Simplex Downhill 최적화 기법을 기반으로 하는 간략화된 DS/CDMA 역방향 링크 Rake Beamforming Method

정회원 이상근*, 이윤현**

A Low Complicate Reverse Rake Beamforming Algorithm Based On Simplex Downhill Optimization Method For DS/CDMA Communication

Sang-keun Lee*, Yoon-hyun Lee** *Reguler Members*

요 약

본 논문에서는 CDMA2000 역방향 링크에서 DS/CDMA 용 rake structure antenna array에 적용되는 새로운 방식의 simplex downhill 최적화 기법 빔포밍 알고리즘을 제안하고 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 요구되는 신호(파일럿) 분산 행렬과 간섭 분산 행렬을 사용하고 있으며, 빔포밍 가중치들은 simplex downhill 최적화 알고리즘을 사용하여 최대 SINR 기준에 따라 만들어 졌다. 본 논문에서 제안한 구조는 기존의 적응 빔포밍 알고리즘보다 더 적은 계산량, 개선된 수렴 속도와 성능을 제공한다. Simplex downhill 방법은 최적화되기 위한 결정함수의 값만을 요구하기 때문에 최적화되거나 준최적화된 가중치 벡터를 찾기에 적합한 방식이다. 또한 rake beamformer 성능을 공간 채널모델에서의 여러종류 파라미터 값에 대하여 분석하였으며, 기존 방식의 rake 수신기와 제안된 방식을 동일한 수신 전력에서 비교 분석하였다.

Key Words : beamforming, simplex downhill optimization method, cdma2000

ABSTRACT

We propose a new beamforming algorithm, which is based on simplex downhill optimization method in the presence of pilot channels in cdma2000 reverse-link, for the rake structure antenna array in DS/CDMA communication system. Our approach uses the desired signal(pilot) covariance matrix and the interference covariance matrix. The beamforming weights are made according to maximum SINR criteria using simplex downhill optimization procedure. Our proposed scheme provides lower computational load, better convergence speed, better performance than existing adaptive beamforming algorithm. The simplex downhill method is well suited to finding the optimal or sub-optimal weight vector, since they require only the value of the deterministic function to be optimized. The rake beamformer performances are also evaluated under several set of practical parameter values with regard to spatial channel model. We also compare the performance between conventional rake receiver and the proposed one under same receiving power.

* 청강문화산업대학 이동통신과 (rainbowstar@chungkang.ac.kr), ** 한국 항공대학교 정보통신공학과 (lyh@mail.hankong.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-10-417, 접수일자 : 2005년 10월 17일, 최종논문접수일자 : 2006년 3월 13일

I. 서론

최근 이동통신 수요의 급격한 증가에 대처하여 가입자 용량을 증대시킬 목적으로 스마트안테나^[1] 기술이 활발히 연구되고 상용화 노력이 진행되고 있다. 기존 기지국은 섹터당 한개 또는 두개의 안테나를 사용하여 섹터내의 단말기의 위치에 상관없이 동일한 안테나 빔패턴을 통해 송수신을 수행한다. 이에 반하여, 스마트 안테나를 적용할 경우, 기지국에 다수의 안테나를 사용하여 가입자의 위치 및 채널의 특성에 따라 개별적인 송수신 안테나 빔패턴을 형성 송수신 할 수 있으므로, 불필요한 송수신 전력 및 간섭 전력을 억제하여 가입자 용량을 크게 올릴 수 있다^[1-3].

스마트 안테나는 이론상 여러가지 원리 및 형태로 구현될 수 있으나, 본 논문에서는 CDMA2000 규격을 따르는 스마트 안테나를 고려하며, 수신빔형성은 수신 신호에만 의존하여 수신 채널에 적합한 최적의 빔형성을 고려한다^[4-5].

다중경로 채널상황에서 가장 효과적인 처리방법은 사공간 채널추정 기법이다. CDMA2000 시스템은 2-D rake 수신기 기법으로 구현이 가능하다^[6].

본 논문에서는 새로운 역방향 링크 빔포밍 구조와 CDMA2000 역방향 채널상에서의 빔포밍 계수를 형성하는 방안을 제시한다^[7-9]. 기존의 adaptive 빔포밍 방안들은 계산의 복잡도가 높으며 또한 시변 채널상에서의 신뢰할 수 없는 수렴특성을 가진다.

제안된 simplex downhill 방안은 deterministic cost function 을 최적화 하는 비교적 간단한 과정을 통해서 빔포밍 계수를 추적하는 방식으로서 다양한 환경의 시뮬레이션을 통하여 제안된 방안이 효과적이며 신뢰할 수 있는 빔포밍 성능임을 확인하였다^[10-13]. 본 논문의 구성은 2장에서 제안한 방안을 검증하기 위한 신호모델과 빔포밍 구조에 대하여 설명하며, 3장에서는 제안된 빔포밍 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 다양한 채널 환경에서의 시뮬레이션 결과를 도출하여 5장에서 결론을 맺는다

II. 신호 모델링

하나의 기지국에 K명의 통화자가 있다고 가정하고, 레이크 빔포머는 N개의 안테나로 통해 원하는 방향의 통화자로부터 수신되는 L개의 다중경로 신호를 합성하는 방안이 그림 1에 나타내고 있으며, 수신된 베이스밴드 신호는 다음과 같이 주어진다.

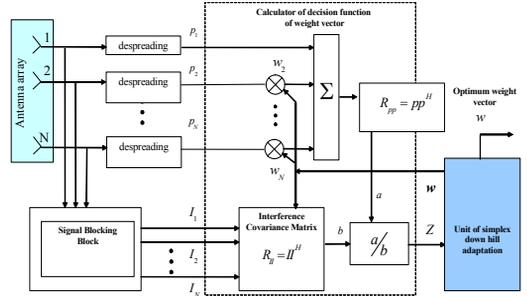


그림 1. CDMA2000 역방향 모델에 적용된 제안된 빔포밍 계수 생성 구조도

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L r_{k,l}(t) + N_0(t) \tag{1}$$

여기서, $N_0(t)$ 는 power spectrum density $N_0/2$ 를 갖는 백색잡음 벡터를 나타내고 $r_{k,l}(t)$ 는 kth 통화자의 lth 경로 신호를 의미한다. 만일 첫번째 통화자의 첫번째 경로 신호를 원하는 신호로 가정하면 discrete signal $x_{1,1}(n)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$x_{1,1}(n) = \int_{\tau_{1,1} + (n-1)T_c}^{\tau_{1,1} + nT_c} r(t) S_1(t - \tau_{1,1}) dt \tag{2}$$

여기서 $\tau_{k,l}$ 와 $S_k(t)$ 는 각각 수신된 신호의 지연값과 확산된 코드의 파형을 나타내며, 확산이득 G는 bit duration 대 chip duration 비율을 의미한다(T_b/T_c). 채널은 시험구간 동안 변하지 않음을 가정하고 소스데이터는 상호 무관함을 가정할 때, $x_{1,1}(n)$ 의 공분산 매트릭스는 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{xx,1,1} &= E[x_{1,1}(n)x_{1,1}(n)^H] \\ &= T_c (T_{1,1} a_{1,1} a_{1,1}^H) \\ &= + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^L \beta_{k,l,j} a_{k,l} a_{k,j} + \sigma^2 I \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 $\beta_{k,l,j}$ 는 correlation power이며 $\beta_{1,1,1}$ 는 $T_{1,1}$ 구간동안의 원하는 수신 전력과같은값이며 채널 매트릭스는 $A=[a_{1,1}, \dots, a_{K,L}]$ 이다.

여기서

$$\rho = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^L \beta_{k,l,j} a_{k,l} a_{k,j} \text{ (cross correlation term)} \tag{4}$$

Interference subspace는 식 9의 cost function을 최적화 함으로서 얻어질 수 있다^[16].

$$\begin{aligned} & \min_{u_k} u_{k,l}^H S_{k,l} \\ & \text{subject to } \bar{S} u_{k,l} \leq \rho \\ & R_{uu} = u_{k,l} u_{k,l}^H \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, $u_{k,l}$ 는 제안된 시그널 블로킹 벡터를, \bar{S}_k 는 $G^*(K-1)$ 으로 스프레딩 코드의 매트릭스를 의미한다. 실제의 간섭성분은 원하는 통화자 아닌 모든 통화자의 코드를 알아야 하는 즉 멀티유저 리시버를 채용한 구조가 되어야 하는데 연산량의 문제로 실제 시스템에서 구현하기는 쉽지 않으며 제안된 $u_{k,l}$ 는 원하는 신호와의 상관관계가 상기식에서와 같이 작은 경우의 벡터값을 반영하는 시그널 블로킹 벡터를 의미한다. 이 벡터값을 이용하여 전체 수신된 신호 매트릭스에서 신호와 상관관계가 작은 간섭성분의 매트릭스를 제거하면 신호의 성분이 추출되게 된다.

다음 장에서는 simplex downhill 방안에 대한 간략한 동작원리를 설명한다.

III. 제안된 역방향 빔포밍 방안

제안된 역방향 빔포밍 방안은 원하는 통화자의 수신전력과 간섭 및 잡음성분의 비율이 최대가 되도록 하는 알고리즘에 기반을 둔다^[10-13, 18]. 빔형성 계수(w), 는 아래 식의 cost function Z(w)를 simplex downhill 최적화 반복 절차에 의하여 구해진다.

$$Z(w) = \frac{w^H R_{pp} w}{w^H R_{nn} w} \text{ (Deterministic SINR cost function)} \quad (6)$$

제안된 방안은 신호대 잡음과 간섭의 비율을 단지 deterministic function 을 통해 최적화를 수행하므로 비교적 간단한 연산량으로 가능하다.

또한 인버스 매트릭스 연산을 하지 않으므로 적은 계산량과 잡음성분에 대한 강인한 특성을 가지며, 제안된 방안에서의 초기의 심플렉스 사이즈는 알고리즘의 최적화를 통해 가변적으로 조정될 수 있다. 예로서 [18]에서 제안된 실제 환경을 고려할 경우 비교적 큰 사이즈의 심플렉스 사이즈로 최적화 과정을 수행하는 것이 좋은 성능을 낼 수 있다고 하며, 작은 사이즈로 초기 최적화 과정을 수행하면 수렴되지 않은 상태에서 알고리즘이 동작을 멈출 수가 있고 지나친 반복작업에 의하여 계산량이 증가하여 전체적인 수렴특성에 나쁜 영향을 미칠

수 있다. Simplex downhill 방식은 크게 5가지의 과정을 거친다^[11].

제안된 방식의 계산량은 아래의 두가지 역방향 빔포밍 방안과 비교하여 다음 표와 같은 계산량을 가지게 된다. 이는 종합적인 곱셈과 덧셈의 숫자 횟수 고려하여 비교를 하였다.

표 1. 계산량 비교

Generalised Eigen Decomposition	$O(M^2)$
NLMS	$O(M)$
Proposed simplex algorithm	$O(2M)$

IV. 모의실험 결과

제안된 역방향 빔포밍 방안에 대한 성능을 분석하기 위해서 본 논문에서는 CDMA2000 역방향 링크 모델을 사용하며, 완벽한 전력제어 상황에서 fundamental 채널과 Pilot 채널을 사용함을 가정하였다. 기지국에서는 통화자로 부터 인입되는 신호를 수신하기 위해 6개의 레이크 핑거를 사용하였으며, 각 패스로부터 수신되는 신호의 분포는 Rayleigh 분포로 가정하였다. 또한 각 통화자들의 확산코드와 신호 지연성분은 이미 완벽히 알고 있음을 가정하였다. 확산이득은 16으로 가정하였으며 세부 모의실험 파라미터는 표 2에 따른다.

표 2. 구체적인 모의실험 파라미터

신호모델	CDMA2000-1x	
	역방향 링크	Data rate
	확산이득	16
멀티패스 개수	6	
멀티패스의 시간지연값	ITU-T Vehicular B model	
스캐터러의 개수	6	
안테나의 개수	4	
유저의 개수	20	
모바일 스피드	120km	

제안된 방식의 성능 분석을 위하여 기존 방식인 GED(Generalized Eigenvalue Decomposition) 방식과^[1, 4] NLMS(Normalized Least Mean Square method) 방식과의^[7] 비교 분석을 실시한다.

그림 2는 기지국에서 4개의 안테나를 이용하여 세 종류의 역방향 빔포밍 방식에 대한 빔패턴을 나타내고 있다. 이 그래프에서 원하는 통화자의 도래각은 30° 이며 간섭유저의 도래각은 -30° 이다.

이 결과로부터 제안된 방안의 간섭신호 성분에

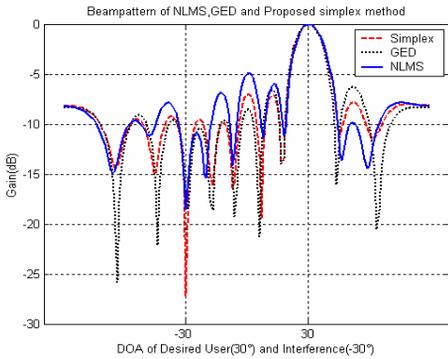


그림 2. NLMS, GED과 제안된 방안의 역방향 빔포밍 안테나 패턴

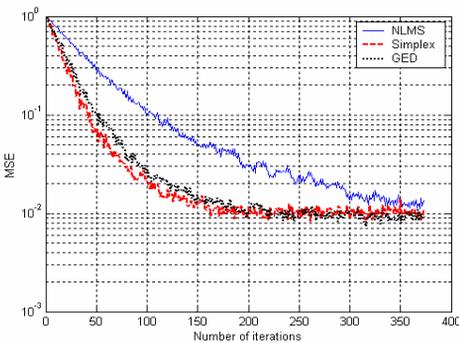


그림 3. 제안된 역방향 빔포밍 방안의 수렴특성

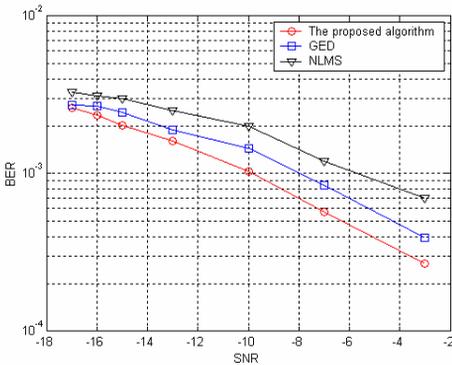


그림 4. 제안된 역방향 빔포밍 방안의 BER 성능

대한 nulling 성능이 5dB정도 더 우수함을 알 수 있으며 이는 정밀한 간섭성분의 공분산 매트릭스를 추정함으로써 가능하다. 또한 그림 4에서와 같이 요구되는 SINR에서 더 빠른 수렴 특성을 나타내기에 BER성능도 더 좋음을 알 수 있다. 그림 3은 각각의 방식에 대한 수렴 성능을 보여준다. 제안된 방안이 가장 빠른 수렴 특징을 나타내었으며 빠르게 변화하는 실제 전파상황에 더욱 우수한 성능을 예상

할 수 있다. 그림 4는 단일 셀 환경에서 20명의 통화자가 무작위로 분포되었을 때의 BER 성능을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 CDMA2000 역방향 링크에서의 빔포밍 방안을 제안하였다. 기존에 제안된 NLMS, GED 방식과 비교하여 simplex downhill 방식에 기반한 역방향 링크 빔포밍 방식은 더 적은 계산량과 빠른 수렴속도를 나타냄을 알 수 있었으며 다양한 채널환경에서 낮은 비트 오류 특성을 나타냄을 모의실험으로 확인하였다.

참고 문헌

- [1] A.F. Naguib, *Adaptive Antenna for CDMA Wireless Network*. PhD thesis, Stanford University, Stanford, CA., August 1996.
- [2] Shang-Chieh Liu and Geraniotis E, "High performance antenna array algorithm for DS/CDMA communications", *Vehicular Technology Conference, 1997, IEEE 47th*, Volume: 2, 1997 Page: 1173-1176.
- [3] Lal C. Godara, "Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Considerations," Vol.85, *Proc of the IEEE*, pp.1195-1245, No.8, Aug, 1997.
- [4] Ayman F. Naguib and Thomas Kailath "Capacity Improvement with Base-Station Antenna Arrays in Cellular CDMA", *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol. 43, No. 3, Aug. 1994.
- [5] A.J. Paulraj and B.C. Ng, "Space-time models for wireless personal communications," *IEEE Personal Communication*, pp.36-48, Feb. 1998.
- [6] Cheol M, M.S. Choi, H.K. Park, "Performance of 2-D Rake receiver in a correlated frequency-selective Nakagami-fading," *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol.50, No.5, Sept. 2001.
- [7] TIA/EIA/IS-2000.2-A, *Physical Layer Standard for CDMA2000 Spread Spectrum System-*

vol.2, March 2000.

[8] Jinho Choi, "Pilot Channel-Aided Techniques to Compute the Beamforming Vector for CDMA Systems with Antenna Array," *IEEE Trans. On vehicular Technology*, vol. 49, No. 5, Sep. 2000.

[9] F. Ling, "Pilot assisted coherent DS-CDMA reverse-link communication with optimal robust channel estimation," *Int. Conf. Acoustic, Speech, and Signal processing (ICASSP)*, Munich, Ger-many, April 1997, pp. 263-266.

[10] V. Torczon, *On the convergence of pattern search algorithms*, SIAM J. Optim., 7 (1997), 1-25.

[11] J.A. Nelder and R. Mead(1965), "A simplex method for function minimization," *Computer Journal* 7, 308-313.

[12] J. C. Lagaris, J. A. Reed, M. H. Write and P. E. Write(1997). *Convergence properties of the Nelder-Mead simplex algorithm in low dimensions*, Technical Report 96-4-07, Computing Sciences Research Center, Bell Laboratories, Murray Hill. New Jersey 07974. To appear, SIAM Journal on Optimization.

[13] V.Torczon (1989) *Multi-directional Search: A Direct Search Algorithm for Parallel Machines*. Ph.D. thesis, Rice University, Houston, Texas, USA.

[14] J.Fuhl, A.F. Molisch, E.Bonek "Unified channel model for mobile radio systems with smart an-tennas" *IEE Proc. -Radar, Sonar navigation*, vol. 145 No.1, Feb. 1998, pp. 32-41.

[15] J. Saltz and J. H. Winters, "Effects of fading correlation on adaptive array in digital mobile ra-dio," *IEEE Trans., Vehicular Technology*, vol.43, Nov., 1994 pp.1049-1057.

[16] Zhiyong Bu; Haifeng Wang; Lilleberg, J.; Shixin Cheng, "Novel multiuser interference cancella-tion using simplex algorithm for CDMA systems," *Personal Wireless Commu-nications, 2000 IEEE International Conference on*, 2000 pp. 189-192.

[17] S. Haykin, *Aaptive Filter Theory*. Prentice-hall Inc, third edition., 1996.

[18] Wright, M.H, "Optimization methods for base station placement in wireless applica-tions," *Ve-hicular Technology Conference*, 1998. VTC 98. 48th IEEE, Volume: 1, 1998 pp. 387-391 vol.1.

이 상 근 (Sangkeun Lee)

정회원



1984년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
1986년 12월 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)
1985년~1989년 양정밀 중앙연구소 군통신개발
1989년~1996년 삼성전자 통신

연구소 cdma 시스템 개발

1996년 10월~2002년 2월 KTF 무선망기술팀장
2002년 3월~현재 청강문화산업대학 이동통신과 교수
<관심분야> 이동통신 무선접속기술, 이동통신 RF 시스템

이 윤 현 (Yoon Hyun Lee)

정회원



1965년 2월 한국항공대학교 전자공학과(공학사)
1985년 2월 경희대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1980년~현재 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 초고주파 회로 설계, 마이크로파 및 광통신, 안테나 및 전파 전파, EMI/EMC