

채널 적응형 LMS 순방향 빔 형성 기법

김경연, 양승철, 윤대희, 이충용

연세대학교 전기전자 공학과, 미디어·통신 신호처리 연구실

Channel Adaptive LMS down-link beamforming

Kyoungyoun Kim, Seungchul Yang, Dae-Hee Youn and Chungyong Lee

MCSP Lab. Dept. of Electrical and Electronic Eng. Yonsei University

요 약

최근에 cdma2000-1x 시스템의 역방향에 파일럿 채널이 추가되면서 적은 계산량으로 구현이 가능한 LMS 빔 형성 기법이 연구되고 있다. 그러나 기존의 LMS 빔 형성 방식의 경우 무선 페이딩 채널에 적용하기 위하여 고정된 step-size parameter를 이용하였다. 하지만 이러한 고정된 step-size parameter를 사용할 경우 MSE가 증가하여 좋은 성능을 얻을 수 없다. 따라서 본 논문에서는 LMS 순방향 빔 형성 기법에서 채널을 추정하여 추정된 채널과 LMS 가중치의 오차에 적용하는 step-size parameter를 결정함으로써 적은 MSE만으로 가중치 값을 추정하는 CA-LMS(Channel Adaptive Least Mean Square) 방식을 이용한 순방향 빔 형성 기법을 제안한다. 제안한 방식에 대하여 cdma2000-1x 환경에서 다양한 페이딩 환경에 적용하여 제안한 방식이 우수함을 확인 할 수 있다.

1. 서 론

이동 통신은 IMT-2000 서비스의 시작과 함께 고속의 데이터 통신을 기반으로 한 멀티미디어 서비스를 제공하게 되었다. 그러나 현재 상용중인 CDMA 시스템의 경우 다중 사용자 신호와 다중 경로 신호에 의한 간섭잡음의 증가로 시스템의 성능이 저하되는 문제가 있다. 따라서 이러한 간섭잡음을 제거하기 위하여 배열 안테나를 이용한 빔 형성 기법이 연구되어 왔다[1]. 빔 형성 기법은 역방향 채널에 대한 적응을 중심으로 진행되어 왔으며 최근에는 순방향 빔 형성에 대해 연구되고 있다[2-5]. 특히 IMT-2000의 멀티미디어 서비스가 인터넷 기반으로 이루어지기 때문에 순방향의 통화 용량 증대가 필수적이며, 기지국에 역방향 빔 형성 기법이 적용될 경우 균형적인 시스템의 성능 향상을 위해서도 순방향의 빔 형성이 필요하다. 현재 이동 통신 시스템과 같은 FDD(frequency

division duplex) 시스템의 순방향 빔 형성 기법의 가장 큰 문제점은 순방향 무선 채널의 예측이 불가능한 것이다. 무선 채널은 주파수의 차이에 따라 다르게 나타나기 때문에 양방향의 전송주파수가 다른 FDD 시스템에서는 무선 채널을 동일하게 가정할 수 없다. 따라서 역 방향의 가중치 계수를 순방향에 그대로 적용할 수 없다.

이러한 FDD시스템에 대하여 기존의 순방향 빔 형성 기법은 역 방향 수신신호로부터 순방향 벡터 채널을 예측하는 open loop 순방향 빔 형성 기법이 연구되었다. 하지만 기존의 부공간 기반의 순방향 빔 형성 기법은 가중치 벡터를 얻기 위한 고유치 분해 과정에서 많은 연산량을 필요로 하고 역 방향에 대하여 계산량이 적은 LMS(least mean square)적용 어레이 기법과 같은 순시적인 가중치 갱신 방식을 사용할 경우 순방향에 대하여 별도의 빔 형성 모듈이 필요한 단점이 있다. 따라서 최근에 역 방향에 대하여 LMS 기법을 적용하고 역 방향의 가중치 계수에 역 방향 페이딩 위상을 등화하여 순방향 빔 형성에 적용하는 방식이 연구되었다[6]. 이 방식은 별도의 순방향 모듈이 필요 없어 간단한 구조와 적은 연산량으로 구현이 가능한 장점이 있으나 채널이 빠르게 변화하는 환경에 대하여 LMS 적응 어레이가 충분히 수렴하지 못하는 경우 등화에 따른 오차가 발생하여 성능이 저하된다.

본 논문에서는 이러한 기존의 위상 등화된 LMS 순방향 빔 형성 기법이 갖는 문제점을 해결하기 위하여 채널 속도에 적응하는 step-size parameter(μ)를 이용하여 등화에 따른 오차를 줄여 줄 수 있는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 LMS기반의 순방향 빔 형성 기법을 살펴보고, 3장에서 제안하는 채널 적응형 LMS 순방향 빔 형성 기법을 설명한다. 4장에서는 제안된 기법을 모의 실험을 통하여 성능을 평가하고 최종적으로 5장에서는 연구에서 얻어진 결과를 정리한다.

2. 기존의 LMS 순방향 빔 형성 기법

역 방향에 대하여 LMS 적응 어레이 기법은 간단한 연

본 연구는 (주) 한텔의 지원으로 수행되었음

산량과 역 방향 페이딩 채널에 적용이 가능한 장점을 갖는다. 하지만 LMS 적용 어레이 기법에 의한 가중치 계수는 역 방향 채널에 대하여 적용을 하기 때문에 송수신 채널환경이 상이한 FDD시스템에 대해서 이를 순방향 빔형성에 적용할 경우 왜곡이 생기게 된다. 특히 F-PICH (forward pilot channel)에 대해서는 역 방향 위상 왜곡을 포함한 가중치 벡터를 이용하여 배열 안테나로 송신하지 않기 때문에 F-FCH(forward fundamental channel)와 동일 위상을 갖지 않게 되어 위상 왜곡을 보상할 수 없다.

$$\mathbf{w}_R = \alpha_0 \mathbf{R}_R^{-1} \mathbf{a}_R(\theta_0) \quad (2-1)$$

$$\mathbf{R}_F = \mathbf{R}_R = \mathbf{R}$$

$$\text{여기서 } \mathbf{R}_R = E[|\alpha_R|^2 \Phi \mathbf{a}_R(\theta) \mathbf{a}_R^H(\theta) \Phi^H] \quad (2-2)$$

$$\mathbf{R}_F = E[|\alpha_F|^2 \mathbf{a}_F(\theta) \mathbf{a}_F^H(\theta)]$$

LMS의 최적 해는 식(2-1)에서와 같이 나타나는데, 지구에서 반사체가 충분히 큰 거리를 가질 때 양방향에 대하여 DOA와 ASS는 동일하게 가정할 수 있어서 순방향과 역 방향의 안테나 응답 벡터는 주파수 차이에 의한 보상만으로 동일하게 된다. 또한 충분한 심볼 구간에 대해서 평균을 취할 경우 빠른 페이딩의 2차 통계 특성이 동일하므로 이러한 환경에서는 식(2-2)를 만족시켜 준다. 그러므로 식(2-1)로 나타나는 LMS 적용 어레이의 가중치 벡터에서 역 방향 페이딩 채널 적응 성분만을 제거함으로써 순방향 빔형성에 사용할 수 있는 가중치를 얻을 수 있다. 기존의 LMS 기반의 순방향 빔형성 기법은 간단한 역 방향 페이딩 채널 추정기법을 사용하여 역 방향 LMS 적용 어레이의 가중치 계수에서 역 방향 페이딩 성분을 보상하여 순방향 빔형성에 적용하였다.

기존의 LMS기반의 순방향 빔형성 시스템의 블록도는 그림 1과 같다. 역 방향의 채널 성분을 제거하기 위하여 배열 안테나의 지향 벡터에 의한 위상 성분이 없는 기준 안테나로 수신한 R-PICH를 이용하여 다음과 같이 간단히 평균을 취하여 채널을 추정한다[7].

$$\hat{\alpha}_{0,0}(n) = (1 - \mu_a) \hat{\alpha}_{0,0}(n-1) + \mu_a \hat{p}_{0,0}(n) \quad (2-3)$$

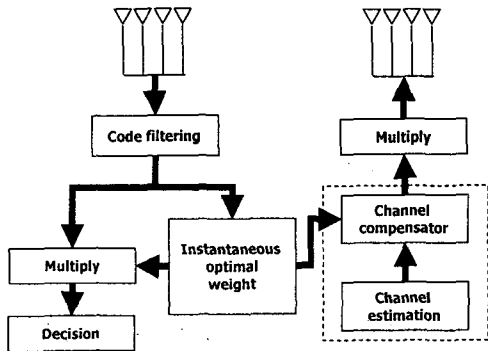


그림 1. LMS 순방향 빔형성기 블록도

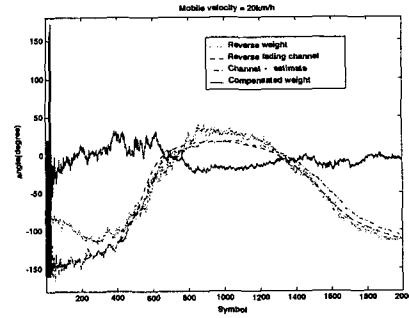


그림 2. 가중치벡터의 역방향 페이딩 채널 보상

여기서 $\hat{\alpha}_{0,0}(n)$ 은 채널 추정기의 추정 페이딩 채널 성분이며, $\hat{p}_{0,0}(n)$ 는 기준 안테나로 수신한 원하는 0번째 사용자의 R-PICH이고 μ_a 는 채널의 적응상수이다. 추정된 채널 성분으로 식 (2-4)와 같이 역 방향 페이딩 채널에 적용된 가중치 벡터를 보상하여 역 방향 채널 성분을 제거한다.

$$\mathbf{w}_F = \hat{\alpha}_0^* \alpha_0 \mathbf{R}_R^{-1} \Phi \mathbf{a}_R(\theta_0) \quad (2-4)$$

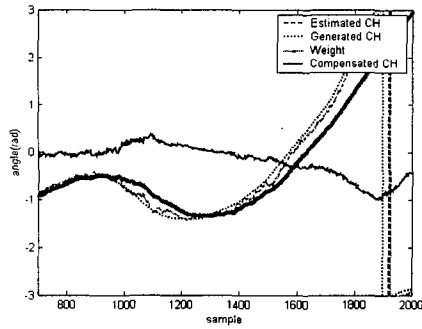
만약 LMS 가중치 벡터가 충분히 수렴하여 최적 해를 갖고 정확한 채널 추정이 이루어질 경우 위상 보상된 가중치 계수는 최적 해의 형태를 그대로 유지한다[8]. 따라서 역 방향 LMS 적용 어레이의 가중치 벡터를 이용하여 순방향 빔형성 가중치 벡터를 추정함으로써 별도의 순방향 빔형성 모듈 없이 순방향 빔형성을 위한 가중치 벡터를 구해낼 수 있다.

그림 2는 채널 추정기를 이용하여 심볼 단위로 역 방향 가중치 벡터의 위상성분을 보상하는 모습을 보여 준다. LMS 적용 어레이의 가중치 벡터는 역 방향의 페이딩 채널 성분에 적용하지만 채널 보상 후에는 가중치 벡터의 역 방향 페이딩 채널 성분이 제거되고 있음을 알 수 있다. 위상 등화된 LMS 순방향 빔형성 기법은 역 방향 가중치 벡터로부터 페이딩 채널에 대한 적응 성분만을 제거하기 때문에 역 방향 빔과 동일한 빔 패턴을 갖게 되어 동일한 공간 필터링을 순방향에 대하여 수행한다.

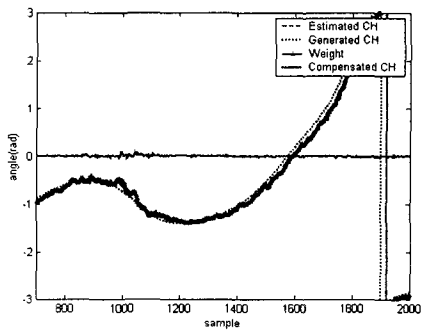
위상 등화된 LMS 순방향 빔형성 기법의 경우 기존의 부공간을 이용한 빔형성 기법에 비하여 작은 연산량으로 순방향 빔형성 계수를 구해낼 수 장점이 있으나 채널이 빠르게 변하는 환경에 대하여 LMS 적용 어레이가 충분히 수렴하지 못할 경우 등화에 따른 오차의 발생으로 성능이 저하되는 단점이 있다.

3. 채널 적응형 LMS 순방향 빔형성 기법

기존의 위상 등화된 LMS 순방향 빔형성 기법의 경우 몇 개의 고정된 step-size parameter(μ)중에서 선택하여 사용함으로써 가중치 벡터를 구하였다. 그러나 채널의 변화



(a) 고정된 $\mu=0.01$



(b) 제안된 적응형 μ

그림 3 60km/h에서 채널추정과 가중치 갱신에서의 위상오차

속도는 일정하지 않으며, 빠르게 변하는 채널의 경우에는 LMS적용 어레이가 충분히 수렴하지 못하여 등화에 따른 오차 발생으로 성능이 저하된다. 기존의 위상 등화된 LMS를 사용할 경우 채널 속도가 빠른 쪽에 맞추어 선택된 step-size parameter(μ)를 사용하게 되고 이는 MSE를 증가시켜 빔 형성 시 오차 성분으로 남게 된다.

그러나 그림 3 (a)에서 보면, 속도 60km/h에서 채널 추정과 고정된 적응상수(μ_a)를 사용하여도 만들어진 채널의 위상성분을 추정하는데 반하여 LMS 적용 어레이의 가중치 갱신에서는 오차 성분이 크게 증가함을 보여준다. 따라서 채널 추정기의 위상 성분을 역 방향 LMS 적용 어레이와 비교하여 가변적으로 step-size parameter(μ)를 결정하여 채널 속도의 영향이 적은 MSE를 갖는 빔 형성 기법이 필요하게 된다. 그림 4는 제안된 시스템의 블록도이다. 제안한 방식의 경우 그림 3 (b)에서 보는 바와 같이 채널 추정과 근사하게 가중치 갱신의 위상성분이 변하고 있음을 보여주고 있다.

여기서 최적의 가중치를 구하기 위하여 채널의 변화에 적응하는 μ 값은 식 (3-1)에 의하여 결정되며, $e(n)$ 은 페이딩 채널 추정기의 추정 페이딩 채널 성분인 $\hat{a}_{0,0}(n)$ 의

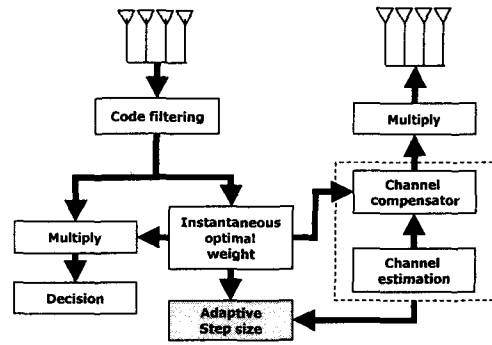


그림 4 채널 적응형 LMS 빔 형성기의 블록도

위상 성분과 LMS로 구해진 순시적인 가중치벡터의 기준 안테나에 해당하는 가중치의 위상 성분의 차이로 나타난다. 이는 식 (3-2)로 표현된다.

$$\mu(n) = \mu_{fix} + |e(n)| \quad (3-1)$$

$$e(n) = \angle \hat{a}_{0,0} - \angle w_{0,0}(n) \quad (3-2)$$

제안된 채널 적응형 step-size parameter를 이용하여 LMS 가중치를 갱신하므로써 속도의 변화에도 적은 MSE를 가지게 되어 기존의 위상 등화된 LMS 순방향 빔 형성 기법의 채널 변화에 따른 오차증가를 줄일 수 있었다.

4. 제안된 방법의 성능 분석 및 비교

cdma2000-1x시스템을 구성하고, 다중경로채널을 모델링하여 모의 실험을 수행하였다. 제안한 채널 적응형 LMS 빔 형성기의 성능 분석 및 비교를 위하여, 위상 등화된 open loop 순방향 빔 형성기를 동일한 조건에서 모의 실험을 수행하여 사용자 수에 따른 BER(bit error rate)를 결정하여 성능을 평가하였다.

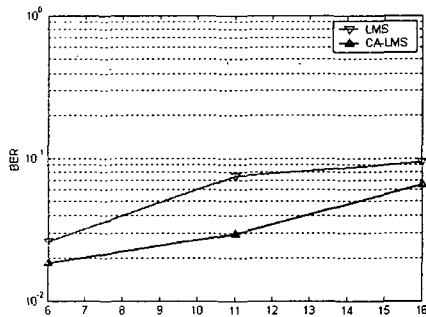
표 1 모의 실험의 파라미터

신호 모델		cdma2000-1x	
송수신 기법	FDD		
채널 코딩	사용 안함		
역방향	데이터 전송률	76.8ksps	
	walsh코드 확산률	16	
순방향	데이터 전송률	38.4ksps	
	walsh코드 확산률	32	
다중경로 수	3개/사용자		
실험환경	Macrocell 모델		
사용자 수	6 ~ 16 명		
안테나 수	4개		
채널 환경	E_b/N_0	20dB	
	단말기 속도	10km/h, 60km/h	
	Angle spread	5 °	

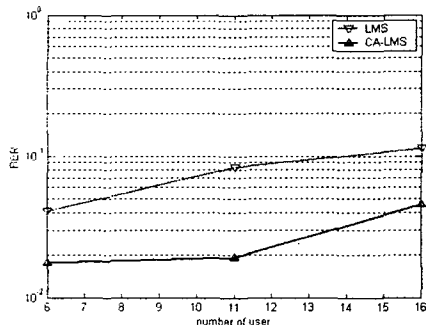
실험에 사용된 모의 실험의 파라미터는 표 1과 같다.

Macrocell에서는 기지국이 단말기로부터 충분히 높은 위치에 존재하는 것으로 가정할 수 있어 FDD 환경에서 양방향의 DOA를 동일하게 모델이 가능하였다. 또한 가중치가 갱신되는 1frame에 대해서는 Macrocell에서 단말기의 이동속도를 고려 할 때 단말기의 DOA는 변하지 않는 것으로 모델이 가능하며 각 안테나가 겪는 채널은 동일한 것으로 가정하였다.

그림 5는 기존의 위상 등화된 LMS를 이용한 순방향 빔 형성 기법과 제안된 채널 적응형 μ 값을 갖는 LMS 순방향 빔 형성 기법의 성능을 나타낸다. 제안된 기법의 경우, 단말기의 속도가 10km/h인 그림 5 (a)에서는 기존의 LMS 순방향 빔 형성기에 비하여 동일 오차 확률에서 사용자 수가 3명 증가가 있음을 확인 할 수 있다. 또한 단말기의 속도가 60km/h로 채널이 빠르게 변할 경우에는 그림 5 (b)에서 보는 것과 같이 동일 오차 확률에서 사용자 수가 9명 증가로 성능이 향상됨을 확인 할 수 있다. 비록 제안된 기법은 채널 적응형 μ 값을 결정하기 위하여 기존의 위상 등화된 LMS 순방향 빔 형성기 보다 채널과 가중치와의 위상차이를 구하는 만큼의 연산량이 더 필요하게 되지만 그림 5에서 보는 것처럼 채널이 빠르게 변하는 경우 효과적으로 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.



(a) 속도 10km/h



(b) 속도 60km/h

그림 5 제안된 기법의 성능비교를 위한 오차 확률 곡선

5. 결 론

기존의 위상 등화된 LMS를 이용한 순방향 빔 형성 기법의 경우 채널이 빠르게 변하는 환경에서는 고정된 적응 상수를 사용하였기 때문에 MSE가 증가하여 성능을 저하시켰다. 따라서 본 논문에서는 채널 추정기를 이용하여 가변적인 적응 상수를 결정하여 적용함으로써 특히 단말기의 속도가 60km/h인 경우 기존의 위상 등화된 LMS 순방향 빔 형성 방식에 대하여 사용자 수가 동일 오차 확률 (4×10^{-2})에서 9명 성능 향상을 가져올 수 있음을 확인 할 수 있었다.

6. 참고 문헌

- [1] Lal C, Godara, "Application of antenna arrays to mobile communications, Part2: Beam-Forming and direction if arrival considerations", *Proc of IEEE*, vol.85, no.8, Page(s):1195-1245, August 1997.
- [2] D. Gerlach, A. Paulraj, "Base-station transmitter antenna arrays with mobile to base feedback" *Conference on Signals, Systems and Computers*, vol.2, Page(s):1432-1436, 1993
- [3] D. Gerlach, A. Paulraj, "Adaptive transmitting antenna arrays with feedback", *IEEE Signal Processing Letter*, vol.1, Page(s):150-152, October 1994.
- [4] T. Aste, P. Foste, L. Fety and S. Mayrarque, "Downlink beamforming avoiding DOA estimation for cellular mobile communications", *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol.6, 1998.
- [5] Hiromitsu Asakura and Tadashi Matsumoto, "Coopreative Signal Reception and Down-Link Beam Forming in Cellular mobile communications", *IEEE Transaction on vehicular technology*, vol.48, no.2, 1999.
- [6] 양승철, 윤대회, 이충용, "FDD/CDMA시스템을 위한 LMS기반 순방향 빔형성기법" *통신학회 학술대회*, 2001
- [7] Yiang-Chang Liang and Francois P. S. Chin, "Coherent LMS algorithms" *IEEE communication letters*, vol.4, no.3, March 2000.
- [8] Simon Hakin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1996.