GSM 환경에서의 기지국 안테나 어레이 성능 분석에 관한 연구

Research for Performance Analysis of Antenna Arrays in Basestation for GSM System

장 병 건 · 전 창 대*

Byong-Kun Chang · Chang-Dae Jeon*

요 약

본 논문은 GSM 시스템의 다경로 환경에서 선형 제약형 어레이 처리기를 이용하여 주종형 어레이 처리와 공간 유화 방법으로 원하는 신호를 추정하는 성능에 대하여 논한다. SINR과 BER 성능에서 주종형 어레이 처리 방법과 공간유화 방법이 선형 제약형 어레이 처리방법보다 우수한 반면, 공간 유화 방법의 성능이 주종형 어레이 처리기 보다 더 나은 것으로 나타났다.

Abstract

This paper concerns estimating a desired signal in a multipath environment using linearly constrained array processor with master-slave type array processing and spatial smoothing method in GSM system. In computer simulation, it is shown that the spatial smoothing approach performs better than the master-slave type array processing while both methods perform better than linearly constrained array processing with respect to SINR and BER performances.

Key words : Antenna Array, Smart Antenna, Coherent, GSM, Basestation

I. 서 론

이동 통신 시스템의 성능 및 용량은 셀 간 혹은 셀 내에서 발생되는 동일 채널 간섭 신호와 경로 손실, 다중 경로 페이딩, 신호의 지연 및 도플러 확산 등의 무선 전파 채널 특성에 의하여 근본적으로 제한된다. 따라서 현재의 이동 통신 시스템은 이러한 성능 및 용량 제한 현상에 대한 보상 기술로 전력 제어, 채널 코딩, RAKE 수신, 다이버시티 안테나, 셀의 섹터화, 주파수 분할, 대역 확산 등의 기술을 응용하고 있는 실정이다. 그러나 이동 통신 서비스가 점차 다양해지고 그 수요도 크게 늘어남에 따라 기존의 기술만으로는 증대되는 고성능, 고용량의 필요를 충족시키기에는 점차 어려워질 것으로 판단된다. 또한, 패킷 및 영상 신호 전송을 위한 고성능 데이터 및 영상 서비스 시스템에 대한 필요도 크게 부각되고 있는 것이 현 실정이어서, 21세기 이동 통신 시스템은 기존의 셀룰러 및 개인 휴대 통신과 비교할 때 고품질과 훨씬 높은 용량을 필요로 하는 멀티미디어 통신 서비스가 될 것이며, 음질도 유선 통화 음질 정도나 그 이상의 고품질 음성 서비스를 요구받게 될 것이다. 이와 같은 환경에서 간섭 신호 및 채널 특성에 의한 성능 열화 현상에 대한 해결책으로 상용화 개발 가치가 가장 높은 유망 핵심 기술로 평가되고 있는 것이 안테나 어레이(또는 스마트 안테나) 기술이다. 안테나 어레이 시스템은 배열된 안테나의 위상을 제어하는 디지털 적응 신호 처리 기술을 이용한 빔 패턴 제어를 통하여 특정 방향에서 입사되는

「본 연구는 2002년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 수행되었음.」

인천대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, University of Incheon)

*인천대학교 멀티미디어연구센터(Multimedia Research Center, University of Incheon)

· 논 문 번 호 : 20050523-059

· 수정완료일자 : 2005년 6월 30일

원하는 신호를 선택적으로 송·수신하고 간섭 신호의 영향을 최소화 시킴으로써 가입자 상호간의 간섭을 대폭 감소시키게 된다[1]. 기지국을 증설하지 않고 진보된 안테나 기술을 적용해서 통신 용량을 증가시키고 통신 품질을 개선할 수 있는 새로운 연구는 이전부터 진행되어져 왔다. 스마트 안테나 기술을 이용하면 원하는 가입자의 방향으로 전파를 집중시키고 타가입자의 간섭 신호는 저하시켜 송·수신할 수가 있으며, 이는 기존의 이동 통신 시스템의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기술이라 할 수 있다. 그러나, CDMA에 제한되어 있는 국내 환경에서는 GSM과 같은 타 전송 방식에 대한 연구가 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 다중 경로 환경에서 GSM(Global System for Mobile communications) 기지국에서의 스마트 안테나의 성능을 알아보기 위하여, 안테나 어레이 신호 처리 방법 중에서 주종형 어레이 처리 기법[2]과 공간 유화 방법(spatial smoothing)[3]을 이용하여 간섭 신호를 제거하는데 효과적인 적응 어레이 처리기를 MATLAB 프로그램을 사용하여 구현하였다. 또한, 본 연구의 효용성의 검증을 위하여 구현된 적응 어레이 처리기와 기존의 선형 제약형 적응 어레이[4]의 성능을 BER(Bit Error Rate)와 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)를 이용하여 비교 평가하였다.

Ⅱ. 선형 제약형 적응 어레이 처리기

광대역 선형 제약형 적응 어레이 처리기는 원하는 신호의 방향과 주파수 성분에 대한 정보를 선형 제약조건으로 하여 어레이 출력 신호의 전력을 최소화 하도록 어레이 계수를 반복적으로 조정하는 방법이다. 안테나당 M개의 계수를 가진 N개의 안테나로 이루어진 광대역 선형 어레이 처리기가 그림 1에 나타나 있다.

그림 1에 입력신호는 원하는 신호가 동상이 되도록 시간 지연(time delay)되며, 원하는 신호의 주파수 대역에 대하여 단위 이득을 적용하는 선형 제약아래 어레이 출력 전력을 최소화 하도록 어레이 계수를 적응적으로 조정한다.

어레이 계수는 아래와 같이 주어지는 선형 제약형 LMS 알고리듬을 사용하여 반복적으로 갱신된다.

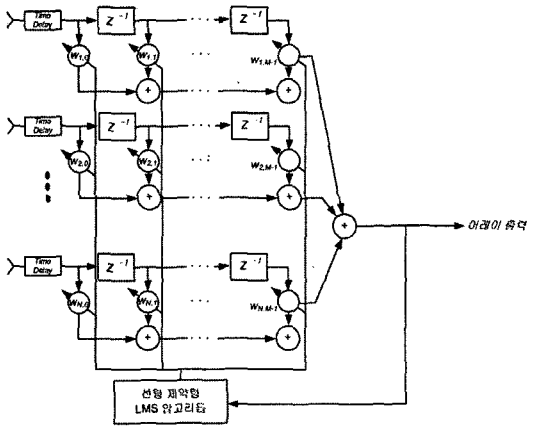

그림 1. 광대역 선형 제약형 적응 어레이 처리기
Fig. 1. Broadband linearly constrained adaptive array processor.

$$\boldsymbol{w}_{k+1} = \boldsymbol{P}\,[\,\boldsymbol{w}_k - \mu y_k \boldsymbol{X}_k] + \boldsymbol{Q} \tag{1}$$

여기서 w_k는 계수 벡터, y_k는 어레이 출력, X_k는 입력 신호 벡터이며

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{I} - \boldsymbol{C}(\boldsymbol{C}^T\boldsymbol{C})^{-1}\boldsymbol{C}^T$$
$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{C}(\boldsymbol{C}^T\boldsymbol{C})^{-1}\boldsymbol{h} \tag{2}$$

P는 전치 선형 제약 조건 행렬 C^T의 null space에 대한 $MN \times MN$ 투사행렬이고, I는 $MN \times MN$ 단위행렬이며, Q는 선형 제약 hyperplane에 수직인 벡터이다. h는 입력 신호의 주파수 대역을 통과시키도록 주어진 FIR(Finite Impulse Response) 필터의 계수로서 제약조건으로 주어지며, k는 이산시간 지표이다.

선형 제약형 어레이는 원하는 신호가 방해 신호와 관계성이 없을 때(uncorrelated)에는 방해 신호를 제거할 수 있으나 다경로 환경에서와 같이 간섭성(coherent)의 방해 신호가 입사되면 원하는 신호와 간섭 신호간의 상호 감쇄 현상으로 인하여 원하는 신호를 제대로 추정을 못하게 된다. 이와 같은 현상을 방지하기 위하여 공간 유화 방법을 사용할 수 있다.

Ⅲ. 공간 유화 방법

공간 유화 방법은 상관관계가 있는 간섭 신호들이 어레이로 입사할 때에 입력 신호의 상관 행렬을 공간적으로 유화함으로써 간섭 신호간에 상호 상관 관계가 없는 것 같이 만듦으로써 간섭 신호를 효과

적으로 제거할 수 있게 한다. 이를 위하여 그림 2와 같이 하나의 안테나 소자만큼 차이가 나면서 중복되면서 연속적으로 구성되는 부 어레이를 구성하게 된다.

각 부 어레이의 입력 신호의 상관 행렬의 평균은 아래와 같이 주어진다.

$$\boldsymbol{R}^{L} = \boldsymbol{A}\,\boldsymbol{S}^{L}\,\boldsymbol{A}^{H} + \sigma^{2}\,\boldsymbol{I} \tag{3}$$

여기서

$$\boldsymbol{S}^{L} = \frac{1}{L}\sum_{l=1}^{L} \boldsymbol{D}^{l-1}\,\boldsymbol{R}_{ss}\,(\boldsymbol{D}^{l-1})^{H} \tag{4}$$

여기서 L은 부 어레이 수이며, A는 종 벡터가 입력 신호의 방향 벡터로 이루어진 행렬이다. R_{ss}는 어레이에 의한 시간 지연이 적용되지 않은 입력 신호의 자기 상관 행렬이며 σ^2은 소자의 추가 잡음 전력이다. 식 (4)에서 S^L는 회전 행렬 D가 각 l에 대하여R_{ss}의 각 행을 $D^{(l-1)}$만큼 회전시키고 다시 $(D^{l-1})^H$만큼 역회전시킴으로써 모든 l에 대하여 그 결과 행렬을 더하게 되면 diagonal 요소들은 일정하게 유지되나 off-pdiagonal 요소들은 감소하게 되어 R_{ss}의 rank는 1인 반면에 S^L의 rank는 $L \geq K$(입력신호의 수)일 때 K가 된다. 따라서 간섭 신호의 고유 벡터는 행렬 A의 방향 벡터와 수직이 되기 때문에 간섭 신호 방향에 null을 형성하여 해당 간섭 신호를 제거하게 된다.

선형 제약 조건이 있는 LMS 알고리듬을 각 부 어레이에 연속적으로 적용하여 어레이 계수를 갱신함으로써 공간 유화 방법을 실현할 수 있다. 그림 2는 공간 유화 방법을 사용한 어레이 처리기의 구조를 나타낸다.

Ⅳ. 주종형 어레이 처리기

원하는 신호와 상관관계가 있는 간섭 신호에 의한 영향을 제거하기 위한 다른 방법은 원하는 신호의 방향이 알려져 있다는 가정하에서 입력 신호로부터 원하는 신호를 제거한 후 적응 처리 알고리듬을 수행하는 것이다. 이를 위하여 주종형 어레이 처리기에서는 주 어레이 처리기와 종 어레이 처리기를 이용하여 주 어레이 처리기에서 시간 지연 소자를 이용하여 정 방향에 입사하는 것 같이 원하는 신호의 위상을 같게 맞춘 후 이웃 안테나에서 입력되는

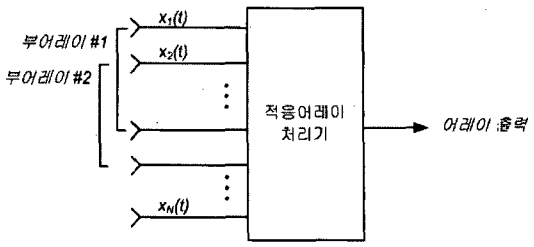

그림 2. 공간 유화 방법을 사용한 어레이 처리기의 구조
Fig. 2. Schematic diagram of array processor with spatial smoothing method.

신호간의 차 신호를 선형 제약이 있는 LMS 알고리듬으로 처리하여 어레이 계수를 갱신하게 된다. 주 처리기에는 안테나간에 입사된 간섭 신호의 차로 이루어진 신호로만으로 적응처리를 하기 때문에 갱신된 계수는 원하는 신호의 영향을 받지 않게 된다. 종 처리기에서는 이 계수를 시간 지연 안된 입력 신호에 적용하여 어레이 출력 신호를 만들게 된다. 따라서 어레이 출력 신호에는 원하는 신호와 간섭 신호간의 상호 간섭에 의하여 발생하는 신호 감쇄 현상이 없어지게 되어 원하는 신호를 추정하는 성능이 향상된다. 주종형 어레이 처리기의 개략도가 그림 3에 나타나 있다.

Ⅴ. 모의 실험 결과

일반적으로 MSK(Minimum Shift Keying) 변조 후

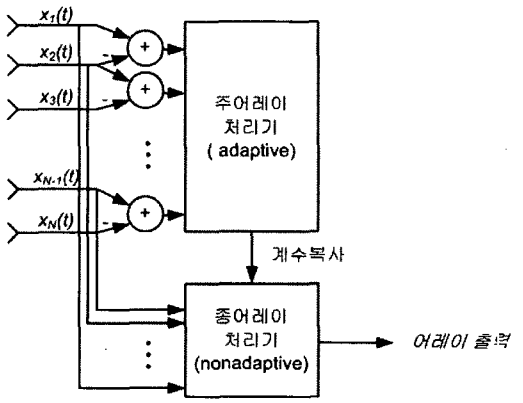

그림 3. 주종형 어레이 처리기의 개략도
Fig. 3. Schematic diagram of master-slave type array processor.

Gaussian 대역통과 필터를 사용하면 부엽의 전력과 주엽의 폭을 줄일 수 있다. 이렇게 함으로써 주엽의 기울기는 더욱 급격해지고 부엽의 크기는 더욱 감소하게 된다. 중앙 주파수로부터의 정규화 주파수의 차 fT의 함수로 전력 주파수 스펙트럼 밀도를 나타내 보면 정규화 대역폭인 BT에 따라 다른 전력 주파수 스펙트럼 밀도를 얻을 수 있다.

GSM의 GMSK(Gaussian Minimum Shift Keying)[5]에서는 BT=0.3을 사용하는데 이는 Gaussian 필터의 통과 대역폭이 0.3 * 270.8 kHz라는 것을 의미한다. BT=0.3은 BER(Bit Error Rate)과 필터의 통과 대역 이외의 대역에서의 간섭을 고려해 볼 때 최적 성능을 갖는 값으로 택한 것이다. BT<0.3이 되면 신호의 전력이 감소하므로 BER 성능이 급격하게 저하되고 BT>0.3이 되면 필터의 통과 대역 이외의 대역에서의 간섭이 증가한다.

일반적으로 MSK 신호로부터 GMSK 신호를 만들기 위해서는 I/Q channel로 분리된 135.4 kHz의 신호를 B와 T의 곱이 적절하게 설정된 Gaussian 필터에 통과시키면 된다.

간섭 신호를 효과적으로 제거하고, 수렴 속도 성능이 향상된 광대역 적응 어레이 시스템을 구현하기 위하여 두 가지 간섭 신호의 유형에 따른 모의 실험을 수행하였다. 원하는 신호가 다중 경로를 통하여 입사되는 신호와 동일 채널의 간섭 신호가 함께 입사되는 3가지 환경에서 선형 제약형 어레이 처리기, 주종형 어레이 처리기, 그리고 공간 유화 방법을 사용한 어레이 처리기의 성능을 검토 분석하였다. 7개의 동일한 전방향성 안테나로 이루어진 선형 어레이를 가정하였고, 안테나의 간격은 입력 신호의 중앙 주파수에 해당하는 파장의 반으로 하였다. 입력 신호는 평면파로 가정하였다. 공간 유화 방법의 경우에는 전체 안테나 개수는 13개로 하여 6개의 부 어레이로 구성하였고 각 부 어레이의 안테나 개수를 7개로 하였다. 효과적인 실험을 위하여 Mathwork사에서 제작한 모의 실험 프로그램인 MATLAB 소프트웨어로 수신 신호의 생성 및 어레이 처리기를 구현하였다.

모의 실험에서 가정한 환경은 다음 표 1과 같다.

각 환경에서의 선형 제약형 어레이 처리기, 주종형 어레이 그리고 공간 유화 방법을 사용한 어레이 처리기에 대하여 모의실험하였다. 원하는 신호는 어레이 축과 수직인 방향으로 0.64의 전력으로 입사하며 간섭신호의 입사 방향에 대한 성능을 점검하기 위하여 입사각이 어레이 축에 대하여 수직인 방향으로부터 간섭신호 1의 경우 49°, 간섭신호 2의 경우 -39°에서 입사하는 것으로 가정하여 실험하였다. 또한, 동일 채널 신호는 1의 전력으로 입력되며 다경로 신호의 경우 약 4μs 내외의 다경로 지연(multipath delay)이 있는 0.74의 전력으로 입력된다고 가정하였으며, 각 안테나 소자에서 발생하는 잡음은 30 dB로 가정하였다.

표 1. 모의실험을 위한 3 가지 환경
Table 1. 3 Cases for computer simulation.

	간섭신호 1의 유형	간섭신호 2의 유형
환경 1	동일채널신호	동일채널신호
환경 2	동일채널신호	다경로신호
환경 3	다경로신호	다경로신호

표 2~4는 각각의 환경에서 입력 및 출력 SINR 및 BER에 대한 실험된 결과를 나타낸다. 표 2~4로부터 출력 SINR과 BER 성능은 공간 유화 방법이 가장 좋고 주종형 어레이 처리기가 선형 제약형 어레이 처리기보다 좋은 것으로 나타났다. 환경 3의 경우 공간 유화 방법의 SINR이 선형 제약형 어레이 처

표 2. 환경 1에서의 SINR 및 BER
Table 2. SINR and BER for case 1.

	입력 SINR	출력 SINR	BER
선형 제약형 어레이 처리기	-7.9595 dB	3.0376 dB	0.1418
주종형 어레이 처리기	-7.9595 dB	3.0885 dB	0.1119
공간 유화 방법	-7.9595 dB	7.2829 dB	0.0448

표 3. 환경 2에서의 SINR 및 BER
Table 3. SINR and BER for case 2.

	입력 SINR	출력 SINR	BER
선형 제약형 어레이 처리기	-4.7334 dB	4.1186 dB	0.1667
주종형 어레이 처리기	-4.7334 dB	6.7066 dB	0.0100
공간 유화 방법	-4.7334 dB	7.9019 dB	0.0050

표 4. 환경 3에서의 SINR 및 BER
Table 4. SINR and BER for case 3.

	입력 SINR	출력 SINR	BER
선형 제약형 어레이 처리기	-6.6503 dB	2.2781 dB	0.2338
주종형 어레이 처리기	-6.6503 dB	5.2063 dB	0.0299
공간 유화 방법	-6.6503 dB	10.5065 dB	0.0199

리기와 주종형 어레이 처리기보다 각각 약 8 dB, 5 dB 만큼 성능이 우수한 것으로 나타났다.

그림 4는 환경 2에서의 각 어레이 처리기에 대한 빔 패턴을 나타낸다. 주종형 어레이 처리기와 공간 유화 방법이 선형 제약형 어레이 처리기에 대하여 부엽 성능이 좋은 것을 볼 수 있다.

그림 5는 환경 2에서 원하는 신호와 각 어레이 처리기에 의한 출력 신호를 나타낸다.

그림 6은 그림 5에서 원하는 신호와 출력 신호간의 오차 신호를 나타낸다. 그림 6으로부터 전체적으로 선형 제약형 어레이 처리기, 주종형 어레이 처리기, 공간 유화 방법 순으로 오차 신호가 감소되고 있으며, 따라서 어레이 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

Ⅵ. 결 론

GSM 통신 시스템의 다중 경로 환경 하에서 동일

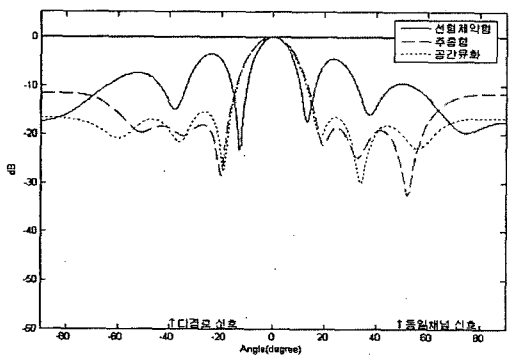

그림 4. 빔패턴: -:선형 제약형 어레이 처리기, ···: 주종형 어레이 처리기, —: 공간 유화 방법(k=6480)
Fig. 4. Beam patterns: -: linearly constrained array processor, ···: master-slave type array processor, ---: spatial smoothing method(k=6480).

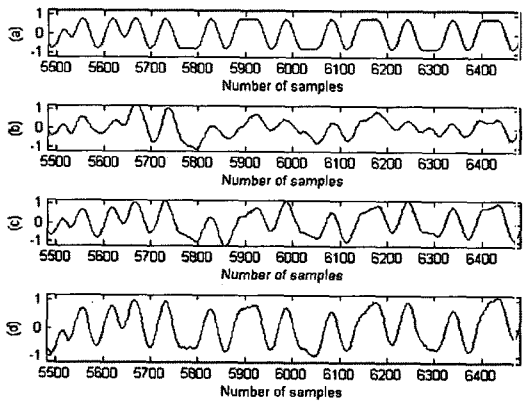

그림 5. (a) 원하는 신호와 출력신호, (b) 선형 제약형 어레이 처리기, (c) 주종형 어레이 처리기, (d) 공간 유화 방법
Fig. 5. (a) Desired signal and output signal, (b) linearly constrained array processor, (c) master-slave type array processor, (d) spatial smoothing method.

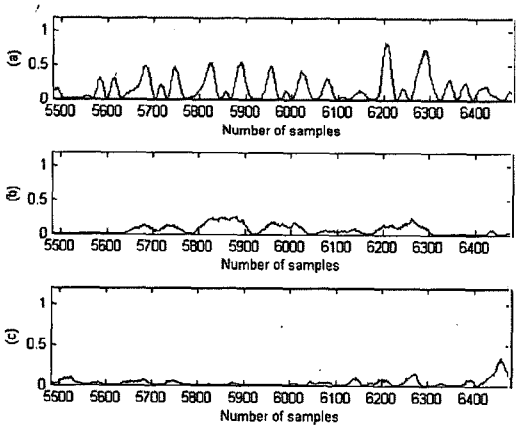

그림 6. 오차신호의 전력 (a) 선형 제약형 어레이 처리기, (b) 주종형 어레이 처리기, (c) 공간 유화 방법
Fig. 6. Power of error signals (a) linearly constrained array processor, (b) master-slave type array processor, (c) spatial smoothing method.

채널 간섭 신호와 원하는 신호와 상관 관계가 있는 간섭 신호가 입사될 때의 원하는 신호의 추정 성능을 높이기 위하여 선형 제약형 어레이 처리기, 주종형 어레이 처리기, 그리고 공간 유화 방법을 적용한 경우의 성능을 점검하였다. 본 연구에서 점검한 3가지 환경에서의 SINR 및 BER의 구체적인 성능 수치

를 점검해 본 결과 주종형 어레이 처리기와 공간 유화 방법을 사용하였을 경우에 선형 제약형 어레이 처리기에 비하여 간섭 신호의 제거 성능이 우수하였으며, 특히 다중 경로의 입력이 있을 경우에는 더 우수한 것으로 나타났다. 또한, 공간 유화 방법이 주종형 어레이 처리기보다 어레이 성능이 우수한 것으로 나타났다. 빔 패턴의 부엽 성능은 주종형 어레이 처리기와 공간 유화 방법에 대한 동일 채널 신호의 경우를 제외하고는 SINR 및 BER과 비슷한 성능을 보였다. 본 연구 결과를 이용하면 GSM 시스템에서 기지국의 수신 성능의 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] C. Joseph, J. R. Liberti, and S. Theodore Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications*, Prentice Hall, 1999.

[2] B. Widrow, K. M. Duvall, R. P. Gooch, and W. C. Newman, "Signal cancellation phenome na in adaptive antennas: causes and cures", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-30, no. 3, pp. 467-478, May 1982.

[3] T. J. Shan, Thomas Kailath, "Adaptive beamforming for coherent signals and interference", *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-33, no. 3, Jun. 1985.

[4] O. L. Frost. Ⅲ, "An algorithm for linearly constrained adaptive array processing", *Proc. of the IEEE*, vol. 60, no. 8, Aug. 1972.

[5] Bruno Pattan, *Modulation Methods & Smart Antennas in Wireless Communications*, Prentice Hall, 2000.

장 병 건

1975년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 5월: 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1991년 5월: 미국 University of New Mexico 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1997년~2004년: 인천대학교 멀티미디어연구센터 소장
1994년~현재: 인천대학교 전기공학과 교수
[주 관심분야] 신호처리, 적응신호처리, 안테나 어레이 설계 등

전 창 대

1999년 2월: 인천대학교 전기공학과 (공학사)
2002년 8월: 인천대학교 전기공학과 (공학석사)
2002년~현재: 인천대학교 멀티미디어연구센터 전임연구원
[주 관심분야] 어레이신호처리, 스마트안테나, 유비쿼터스컴퓨팅 등