
$\pi/4$ QPSK신호에 대한 LMS와 CMA적응 배열안테나의 동작특성 분석

이종룡*, 이우재*, 주창복**

Analysis on the Performance Characteristics of LMS & CMA Adaptive Array Antenna for $\pi/4$ QPSK Signal

Jong-Ryoung Lee*, Woo-Jae Lee*, Chang-Bok Joo**

요 약

본 논문에서는 LMS와 CMA 알고리즘에 의한 적응 배열안테나의 training 원리와 제어방법을 기술하고 수렴특성, 지향성 패턴의 적응성, SINR 및 신호파의 재현 특성을 비교 분석한다.

LMS와 CMA 적응 안테나 원리를 적용한 선형 $\lambda/4$ 간격 4소자 배열안테나에 $\pi/4$ QPSK 신호파를 인가했을 때 정상상태에서 SINR가 각각 13.8[dB]와 12.8[dB]로써 CMA에 비하여 LMS가 우수한 SINR와 빠른 수렴 특성을 보였으며 간섭파의 방향에 적응하여 강한 영점을 잘 형성하는 것으로 나타났다.

Abstract

In this paper, the training principles and the control method of adaptive array antennas using the LMS and CMA algorithms for the $\pi/4$ QPSK signal is showed and the convergence characteristics, the adaptivity of directional pattern, SINR and the replication of desired signal of adaptive arrays are compared and discussed each other.

Computer simulation results showed that the SINR of LMS adaptive array was 13.8[dB], and that of CMA was 12.8[dB], and also the convergence characteristics of LMS was fast a little than that of CMA.

The LMS adaptive array was also performed null point well for the interference signal direction than that of the CMA adaptive array.

* 경상대학교 정보통신연구센터, 정보통신공학과교수

** 경남대학교 전자공학과교수

접수일자 : 1998년 3월 6일

I. 서론

적응 배열안테나는 안테나 배열에서 각 소자의 가중계수를 자동적으로 제어하는 것에 의해 신호파의 방향에 강한 지향성을 형성하고 간섭파 방향으로는 영점(null point)를 형성하므로써 신호파의 도래방향이 미지의 경우 혹은 강한 방해파가 존재하는 환경에서 미약한 신호파를 수신하는 경우에 희망파를 자동적으로 추적할 수 있다.^[1,2]

디지털 이동통신에서는 전송로의 지연 스프레드에 기인하는 파형왜곡에 의해 신호전송 특성이 현저히 열화되기 때문에 이것을 보상하기 위한 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. ^[3,4,5,6]

최근의 디지털 이동통신에서는 고속의 신호전송이 요구되고 있으며 신호 전송속도의 고속화는 파형왜곡에 의한 특성열화를 보다 심화시키게 된다. 따라서 고속 신호전송을 행하는 이동통신에서는 파형왜곡 보상기술은 불가결한 요소기술이며 동시에 파형왜곡 보상기술을 실현하는 장치에는 보다 고속인 신호처리 능력도 요구되고 있다.

이동통신에서 파형왜곡 보상기술로는 적응 배열안테나 기술^[7]과 적응 등화^[5,8] 기술이 유효한 것으로 보고되고 있다.

적응 배열안테나는 지연파를 방해파로 보고 방해파의 도래방향에 안테나 지향성의 영점을 형성하는 것으로 방해파의 영향을 경감시키므로써 SINR을 최대화하는 안테나 시스템이며 적응 등화기는 시간축상의 조사를 통하여 선행파와 지연파를 합성하여 지연파의 영향을 제거하는 채널 등화 시스템이다.

파형왜곡이 지연 스프레드라고 하는 시간적 문제에 기인하는 것으로 부터 시간축상의 조사를 수반하는 등화기는 적응 배열안테나에 비교하여 보다 본질적이며 선행파와 지연파의 무상관성으로부터 신호 전송 특성을 한층 향상시킬 수 있다는 잇점이 있다.

본 연구에서는 적응 등화기에 의한 방해파의 영향을 제거하는 본질적인 문제 해결에 앞서 LMS (least mean square)와 CMA(constant modulus algorithm)에 의한 적응 배열안테나의 지도원리와 제어방법에 대한 수렴특성, 지향성, SINR 및 신호파의 재현특성을 비교 분석하고 4소자 등간격 배열에서 PDC

(personal digital cellular)와 PHS(personal handy phone system)등에 적용되고 있는 $\pi/4$ QPSK 신호에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보였다.

II. 적응 배열안테나의 구성

그림 1은 N개의 안테나 소자로 구성된 적응 배열안테나의 구조를 보인 것이다. 이 안테나 모델에서 각 소자의 수신신호는 도래 신호의 방향과 배열소자의 배치에 의존한다.

그림 1에서 신호파와 간섭파가 각각 θ_s, θ_i 로부터 도래하는 경우 k번째 어레이 소자의 수신신호는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$x_k(t) = s(t) e^{-j[2\pi(k-1)d/\lambda]\sin\theta_s} + i(t) e^{-j[2\pi(k-1)d/\lambda]\sin\theta_i} + n(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$k=1, 2, \dots, N$$

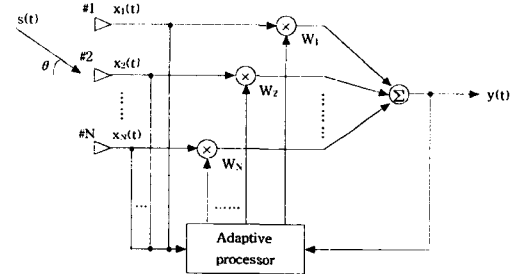


그림 1. 선형 적응 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of linear adaptive antenna

여기서 $s(t)$ 는 신호파, $i(t)$ 는 간섭파, $n(t)$ 는 잡음을 나타내며 d 는 소자 배열간격, N 는 소자수, λ 는 파장을 나타낸다.

그러므로 어레이의 출력 신호는

$$y(t) = \sum_{k=1}^N w_k(t) x_k(t) \dots\dots\dots (2)$$

로 주어지고 $w_k(t)$ 는 k번째 어레이 소자의 가중계수이다.

신호파 벡터를 $S(t)$, 간섭파 벡터를 $I(t)$ 라 하면 수신신호의 벡터 표현은

$$X(t) = S(t) + I(t) + N(t) \dots\dots\dots (3)$$

와 같이 나타내지며 각각은 다음과 같이 표현된다.

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T \dots\dots\dots (4)$$

$$S(t) = s(t) V_s \dots\dots\dots (5)$$

$$I(t) = i(t) V_i \dots\dots\dots (6)$$

여기서 T는 행렬의 전치를 나타낸다. 또 V_s 와 V_i 는 각각 신호파와 간섭파에 대응하는 배열에서 각 소자간의 위상차를 나타내는 벡터이며 다음과 같다.

$$V_s = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j[2\pi d/\lambda] \sin \theta_s} \\ \vdots \\ e^{-j[2\pi(N-1)d/\lambda] \sin \theta_s} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

$$V_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j[2\pi d/\lambda] \sin \theta_i} \\ \vdots \\ e^{-j[2\pi(N-1)d/\lambda] \sin \theta_i} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

$$N(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)]^T \dots\dots\dots (9)$$

$$W(t) = [w_1(t), w_2(t), \dots, w_N(t)]^T \dots\dots\dots (10)$$

그러므로 배열의 출력 신호 $y(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = W^T(t) X(t) \dots\dots\dots (11)$$

III. 적응 배열안테나의 신호 처리 기법

1. LMS 적응 안테나

LMS 알고리즘은 Widrow에 의해 제안된 후 Compton등에 의해 발전되었으며^[8,9] 현재도 연구가 진행되고 있는 제어 알고리즘으로 참조신호 $d(t)$ 라 불리는 소망파의 리플리카와 배열 출력 $y(t)$ 와의 차, 즉 오차신호 $e(t)$ 의 전력이 최소로 되도록 가중

계수를 결정하는 방법이다. 즉 오차신호는

$$e(t) = d(t) - y(t) \dots\dots\dots (12)$$

의 2승 평균치를 최소가 되도록 가중계수를 제어한다. LMS에서의 정상해는 Winner해로 불리어지는 최적해는

$$W_{opt} = R_{xx}^{-1} R_{xd} \dots\dots\dots (13)$$

로 되며 접근적으로 가중계수를 최적값에 수렴시키는 방법이다.

즉, 반복 계산에 의한 정상상태 해로의 수렴식은 다음과 같이 나타낸다.^[10]

$$\begin{aligned} W(k+1) &= W(k) - \mu \nabla(k) \\ &= W(k) + 2\mu e(k) X(k) \end{aligned} \dots\dots\dots (14)$$

여기서 μ 는 LMS 알고리즘의 수렴 속도를 결정하는 스텝 크기를 나타낸다.

2. CMA 적응 안테나

CMA는 위상변조나 주파수변조 신호의 진폭은 양호한 수신상태에서는 항상 일정한 레벨을 유지한다는 원리에 기초하고 있다. 즉, 출력전압의 포락선을 조사할 때 이것이 시간적으로 변화하면 방해파(지연파)에 의한 간섭을 받고 있다고 간주해서 가중계수를 제어하고 출력 포락선을 일정하게 유지하도록 한다.

이 방식은 멀티패스파의 억압이 용이하다는 점에 특색이 있으며 이 동작의 결과로써 많은 파 중에서 하나를 선택, 포착하고 다른 것은 모두 억압하는 것으로 한다.

CMA는 신호점을 등가 constant modulus로 간주하여 배열 출력과 가장 근접한 등가 constant modulus 상의 한 점과 배열 출력과의 차이로부터 발생하는 측정 오차를 이용하여 배열의 가중계수를 경신해 가는 방법이다.

CMA는 P=2인 Godard 알고리즘의 한 특별한 경우로써 다음 식으로 나타내는 목적함수 $J(k)$ 를 최소화하는 알고리즘이다.^[9]

$$J(k) = E [(|y(k)|^P - R_p)^2] \dots\dots\dots (15)$$

이것은 비선형의 제어 문제로 되어 폐형식의 해는 얻어지지 않으며 가중 계수의 경신은 다음식에 의해 이루어진다.

$$W(k+1) = W(k) - \mu [y(k)|y(k)|^{p-2} (|y(k)|^p - R_p)] X(k) \dots (16)$$

여기서 오차신호는

$$e(k) = y(k) |y(k)|^{p-2} (|y(k)|^p - R_p) \dots (17)$$

로 되고 μ 는 알고리즘의 수렴속도를 결정하는 스텝 크기를 나타낸다. 또 R_p 는 정상상태를 고려하여 결정되는 상수로써 출력 $y(k)$ 가 일정한 modulus가 되도록 조절하며 다음과 같이 정의된다.^[9]

$$R_p = \frac{E[|s(k)|^{2p}]}{E[|s(k)|^p]} \dots (18)$$

여기서 $s(k)$ 는 송신 데이터 심볼이며 P 는 2이다. 따라서 오차신호는 $e(k) = y(k) (|y(k)|^2 - R_2)$ 이며 정상상태에서 $e(k) = 0$ 으로 간주된다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 실험 및 고찰

4소자 선형 배열안테나에 대한 LMS 및 CMA 알고리즘의 동작특성을 시뮬레이션으로 알아 보았다. 시뮬레이션에서의 조건은 신호파가 각도 $\theta_s = 0^\circ$

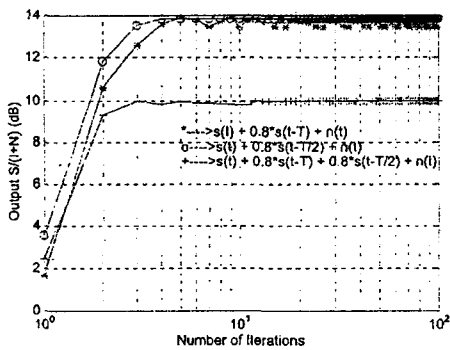
에서 도래하는 것으로 하고 신호파대 간섭파의 비는 $S/I=2dB$, 신호파대 잡음의 비는 $S/N=10dB$ 로 하였으며

- (1) 간섭파가 각도 $\theta_i = 30^\circ$ 에서 존재하고 $T/2(T$ 는 심볼슬롯)만큼 지연된 경우
 - (2) 간섭파가 각도 $\theta_i = 30^\circ$ 에서 존재하며 T 만큼 지연된 경우
 - (3) 간섭파가 각도 $\theta_i = 30^\circ$ 에서 존재하며 $T/2$ 와 T 만큼 지연된 두 파의 합성인 경우
- 또한 안테나 배열의 소자간격은 $\lambda/4$ 이며 참조 신호는 $\pi/4$ QPSK 신호로 개지라 가정한다.

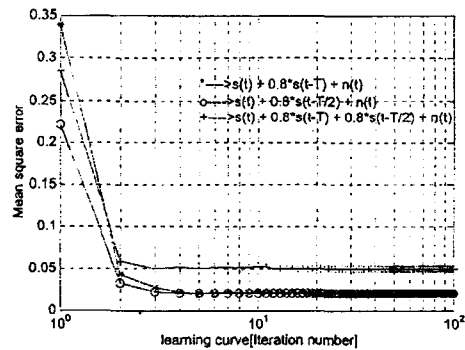
1. 수렴 특성

LMS 적응안테나는 그림 2에서와 같이 배열 출력에서의 $S/(I+N)$ 는 4회 정도에서 정상상태에 도달하는 것으로 볼 수 있으며 이때 $S/(I+N) = 13.8[dB]$ 이고 간섭파의 지연시간이 $T/2$ 의 경우가 지연시간 T 및 동일 S/I 에서 지연시간 $T/2$ 와 T 의 두 간섭파가 합성된 경우보다 양호한 수렴 특성을 보이고 있다.

CMA 적응안테나의 경우는 그림 3에서와 같이 간섭파의 지연시간이 T 의 경우가 다른 간섭파의 경우보다 양호한 $S/(I+N)$ 에서 수렴 특성도 빠르게 나타나고 있다.



(a) 출력 S/(I+N)
(a) Output S/(I+N)



(b) 자승평균오차
(b) Mean square error

그림 2. LMS 적응배열 안테나의 특성곡선
Fig. 2 Convergence characteristics of LMS adaptive array

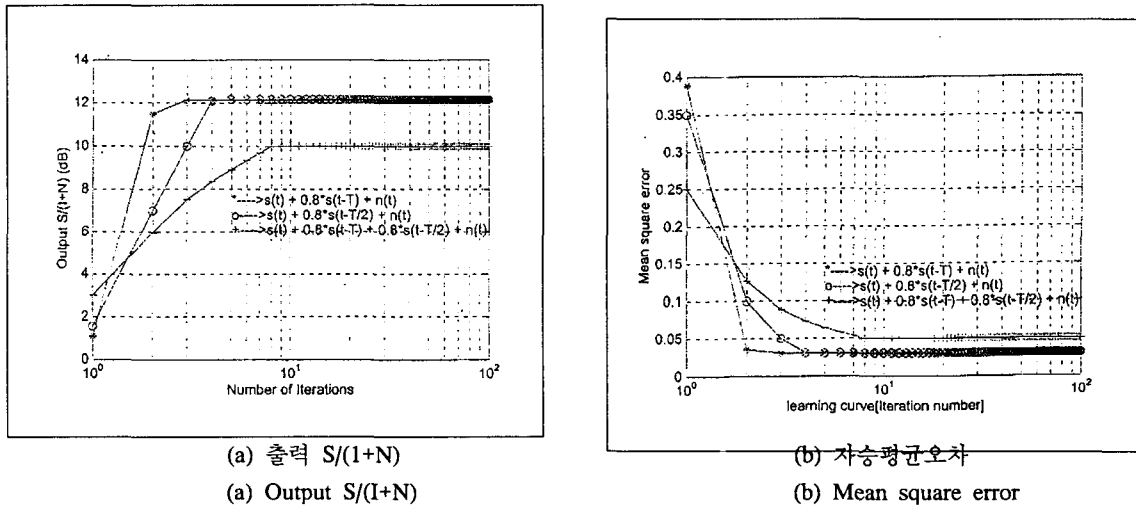


그림 3. CMA 적응배열 안테나의 특성곡선
Fig. 3. Convergence characteristics of CMA adaptive array

2. 적응 방사패턴 특성
LMS 와 CMA 적응 배열안테나의 지향성 변화특

성을 비교 분석하기 위하여 그림 4와 그림 5에 지향성 패턴의 적응과정을 나타내었다.

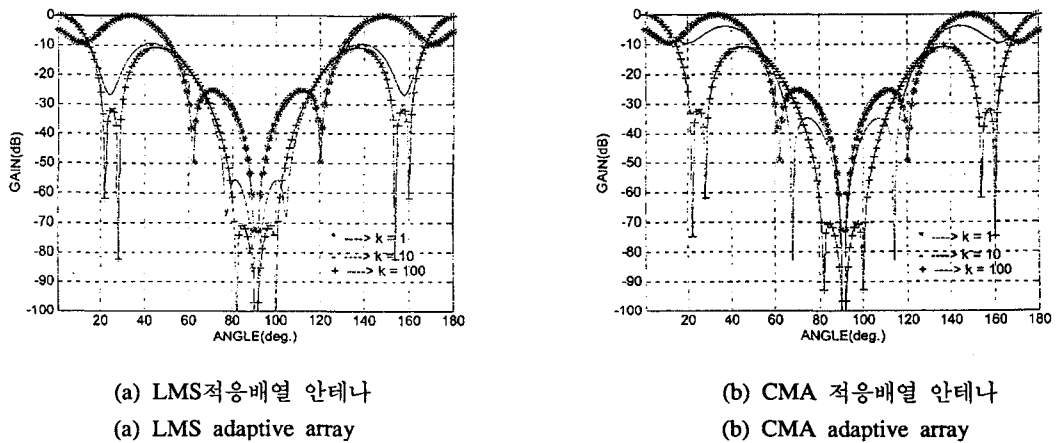
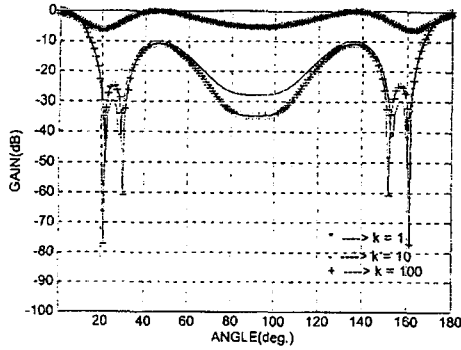
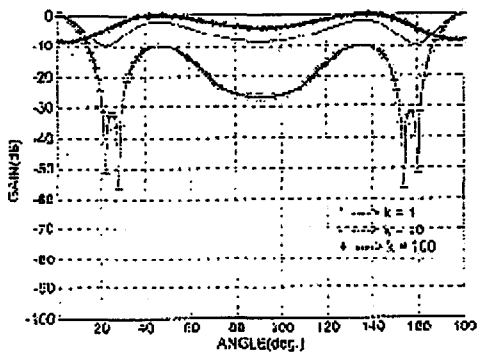


그림 4. 적응배열 안테나의 방사패턴 ($\tau_d = T/2$)
Fig. 4. Adaptivity of radiation patterns ($\tau_d = T/2$)



(a) LMS 적응배열 안테나
(a) LMS adaptive array



(b) CMA 적응배열 안테나
(b) CMA adaptive array

그림 5. 적응배열 안테나의 방사패턴
($\tau_{d_1} = T/2, \tau_{d_2} = T$)

Fig. 5. Adaptivity of radiation patterns
($\tau_{d_1} = T/2, \tau_{d_2} = T$)

그림 4는 30° 방향에 존재하는 간섭파의 지연시간을 T/2로 한 경우이며 점차 간섭파 방향에 적응하여 약 30° 방향에 강한 영점을 형성하고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 적응 방사패턴은 두 경우 비슷한 결과를 보이나 정상상태에 도달해 가는 수렴속도는 LMS쪽이 CMA보다 빠르게 적응해 가고 있음을 관찰할 수 있다. 지연시간을 T로 한 경우에서도 지향성 변화 특성은 비슷한 모양을 나

타내었다.

그림 5에서는 간섭파의 도래방향을 단일 방향으로 하고 지연시간이 다른 두 간섭파의 합성파에 대한 지향성 패턴 변화과정을 보인 것이다. 이 그림에서와 같이 방사패턴은 그림 4의 경우와 비교하여 매우 단순한 모양을 보이면서 간섭파가 도래하는 30° 방향으로 강한 영점을 형성해 가고 있음을 비교할 수 있다.

이상과 같은 $\pi/4$ QPSK 신호에 대한 LMS와 CMA 알고리즘에 의한 선형 4소자 적응 배열안테나의 동작에서 LMS는 CMA에 비하여 빠른 수렴 특성과 높은 $S/(I+N)$ 를 나타내 보였다.

한편 정상상태에서의 시스템 출력신호를 비교해 본 결과 LMS에서는 전송 신호에 동기된 적응 출력신호를 내고 있는데 반하여 CMA에서는 신호와 성분에 대하여 회전된 신호 배치로 출력시키는 것이 확인되었다.

CMA에서의 이러한 출력신호의 회전 배치는 간섭파에 의한 위상왜곡의 영향에 기인하는 것으로써 이러한 회전된 신호 배치와 성능 저하는 캐리어 추적 루우프를 적용함으로써 해결될 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 이동 통신에서 발생하는 멀티패스에 의한 간섭파와 부가잡음에 대한 신호 전송특성이 열화되는 현상을 보상하기 위한 한 방법으로써 LMS와 CMA 알고리즘에 의한 적응 배열 안테나의 training과 제어방법을 보이고 두 알고리즘에 대한 수렴특성, 지향성 패턴의 적응성, SINR 및 신호파의 재현특성을 비교 분석하였다.

안테나 시스템으로는 간격 1/4의 선형 4소자 배열이며 $\pi/4$ QPSK 신호파와 신호파를 T/2 및 T만큼 지연된 파를 간섭파로 하였으며 0° 방향의 신호파에 대하여 간섭파는 30° 방향에 존재하는 것으로 하였다.

$S/I = 2\text{dB}$, $S/N = 10\text{dB}$ 로 가정하고 각각의 간섭파 및 두 간섭파가 합성된 경우의 간섭파에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 실험의 결과 LMS 및 CMA

에 의한 정상상태에서의 SINR는 각각 13.8[dB]와 12.8[dB]로써 LMS알고리즘이 우수한 출력 SINR와 빠른 수렴특성을 보였으며 간섭과 방향에 적응하여 강한 영점을 잘 형성해 가는 것을 비교할 수 있었다.

참고문헌

[1] J. E. Hudson, "Adaptive array principles", Peter Peregrinus Ltd.(1981)
 [2] Compton R. T. "Adaptive antennas", Prentice Hall(1988)
 [3] G. D. Forney Jr., "Maximum-likelihood sequence estimation of digital sequence in the presence of intersymbol interference", IEEE Trans. Inform Theory, Vol.IT-18. No.3. pp. 363-378, May(1972)
 [4] G. Ungerbook, "Adaptive maximum likelihood receiver for carrier one for modulated data transmission systems", IEEE Trans. Comm., Vol. COM22, pp624-636(1974)
 [5] H. Kubo, K. Murakami, To Fujino, "An adaptive maximum likelihood sequence estimator for fast time-varying intersymbol interference channels", CIEEE Trans. Vol. Comm. 24, pp.1872-1880(1994)
 [6] K. Fujimoto, "Overview of antenna systems for mobile communication and prospects for the future technology", IEICE Trans., E74, No.10. pp3191-3201(1991)
 [7] Y. Ogawa, M. Ohimiya, K. itoh, "An LMS adaptive array for multipath fading reduction", IEEE Trans. AES-23, No.1. pp17-23(1987)
 [8] IEEE Trans Antennas & propag., "Special issue on adaptive processing antenna systems", AP-34, No.3(1987)
 [9] D. N. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems", IEEE Trans Comm. Vol.28. No.11. pp1867-1875(1980)
 [10] 양민복. "불규칙 잡음 신호의 적응 제거 및 검

출에 관한 연구", 경남대학교 대학원 석사 논문 (1991. 6)



이 우 재(Woo-Jae Lee)
 1950년 1월 5일생
 1969년 3월~1973년 2월 한국
 항공대학교 항공통신공
 학과(공학사)
 1981년 3월~1983년 2월 건국
 대학교 전자공학과

(공학석사)

1996년 3월~현재 경남대학교 전자공학과 박사과
 정 재학중
 1976년 2월~현재 경상대학교 정보통신과교수
 주관심분야 : 안테나 및 전자파신호처리, RF회로
 설계



이 종 룡(Jong-Ryong Lee)
 1946년 10월 25일생
 1965년 3월 1970년 2월 한국
 항공대학교 항공 전자
 공학과(공학사)
 1982년 9월~1984년 8월 건국
 대학교 전자공학과

(공학석사)

1996년 3월~현재 경남대학교 전자공학과 박사과
 정 재학중
 1979년 3월~현재 경상대학교 정보통신과교수
 주관심분야 : 안테나 및 전자파신호처리, 이동통신

주 참 복(Chang-Bok Joo)

1951년 10월 5일생
 1975년 2월 한국 항공대학교 전자공학과졸업(공학사)
 1977년 2월 고려대학교 전자공학과졸업(공학석사)
 1987년 2월 고려대학교 전자공학과졸업(공학박사)
 1981년 3월~현재 경남대학교 전자공학과교수
 1989년 일본 상지대 전기전자공학과 연구교수
 1992년 미국 일리노이주립대학시카고교전기전자
 및 컴퓨터공학과 객원교수
 주관심분야 : 안테나 및 전자파신호처리, 무선통신,
 RF회로설계