

## 단층 퍼셉트론을 이용한 QPSK 신호의 검파

### A Detection for QPSK Signal using Single Layer Perceptron

조 순 계\*, 최 형 기\*\*, 김 종 교\*\*

(Soon Kye Cho\*, Hyoung Ki Choi\*\*, Chong Kyo Kim\*\*)

#### 요 약

이동통신에서는 송수신이 이루어지는 전파환경에 따라 직접파와 다중경로에 기인한 간접파에 의한 페이딩, 잡음, 간섭 등의 영향을 받게 된다.

이 논문에서는 복잡하고 다양한 유형의 수신신호 중 원하는 신호정보를 정확히 추출하기 위해 인공신경회로망(ANN: Artificial Neural Network)을 이용한다.

인공 신경회로망의 하나인 단층 퍼셉트론을 이용한 검파기를 제안하고, QPSK 변조방식을 이용하여 시뮬레이션을 행하고, 결과 분석을 통해 제안 시스템의 활용 가능성을 확인한다.

#### ABSTRACT

In mobile radio systems, the phenomena of fading, noise and interference by the direct wave and the multipath reflected wave occur by the various propagation environments.

In QPSK modulation, we propose a detection algorithm using single layer perceptron to recover the phase information included in the received carrier correctly.

A detector, using single layer perceptron which is adapted to various channel environments and interference via repeated learning, has a merit that it meets actively in recovery of the received signals.

The result of computer simulation shows that the proposed algorithm is very useful for the QPSK signal detection.

#### 1. 서 론

정보화 사회로의 급격한 변화로 인해 많은 관련 정보들을 원하는 사람에게 신속하고, 정확히 전달해야 할 필요성이 증대되고 있다.

그 결과 사용자의 유형 또한 유선을 이용하는 통신방식에서 벗어나 시공간에 구애를 받지 않고 통신이 가능한 이동통신을 이용하는 고객이 급격히 늘어나고 있다.

이동통신 사용자의 급속한 확대 현상은 서비스 요금의 저렴화, 핸드폰 가격의 저하 및 PCS가 상용화됨에 따라 더욱 가증될 것이다.

이러한 현상 때문에 기존의 아날로그 통신방식으로는 급증하는 가입자를 수용할 수 없게 되었으며, 사회가 급변함에 따라 발생하는 많은 정보들에 대한 부가서비스를 제공할 수 없게 되었다.

이를 해결하기 위해 주파수 이용효율이 좋은 디지털 전

송 방식인 CDMA 방식이 상용화되었다.

그러나 CDMA 전송 방식 또한 아날로그 전송 방식과 동일하게 실제 송수신이 이루어지는 전파환경에 따라 직접파와 다중경로에 기인한 간접파에 의한 페이딩, 잡음, 간섭 등의 영향을 받게 된다.<sup>1)</sup>

이러한 문제를 해결하기 위해 FEC(Forward Error Correction)와 ARQ(Automatic Repeat reQuest)<sup>2)-3)</sup>를 이용함으로써 오류정정과 등화를 효과적으로 행하여 페이딩, 잡음, 간섭 등의 영향을 줄여 SNR을 향상시키고 있으나, 그 기술의 한계성 때문에 여러가지 문제점을 안고 있다. 따라서 늘어나는 고객의 수용 뿐만아니라 수신된 신호 중 원하는 신호를 정확히 검출할 수 있는 기술의 개발이 요구되고 있다.

이 논문에서는 복잡하고 다양한 유형의 수신신호 중 원하는 신호정보를 정확히 추출하기 위해 인공신경회로망(ANN: Artificial Neural Network)<sup>4)-6)</sup>을 이용한다.

인공 신경회로망의 하나인 단층 퍼셉트론을 이용한 검파기를 제안하고, QPSK 변조방식을 이용하여 시뮬레이션을 행하며, 결과 분석을 통해 본 연구에 제안한 시스템의 활용 가능성을 확인한다.

\*조선대학교 공업전문대학 전자통신과

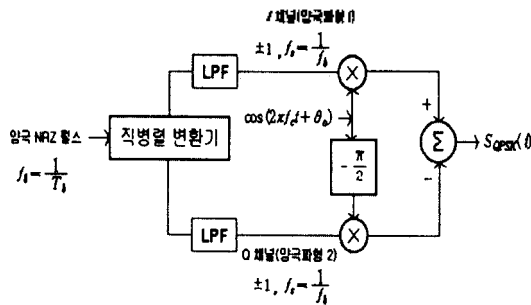
\*\*전북대학교 공과대학 전자공학과

접수일자: 1998년 2월 5일

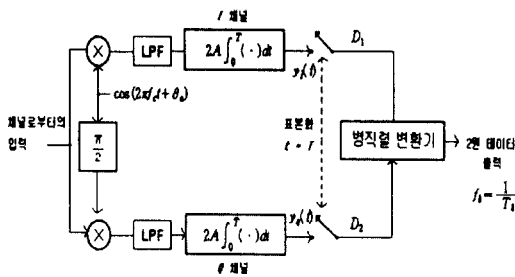
## II. QPSK 방식의 이론적 배경

### 1. QPSK 방식의 구성

직렬 2진 데이터 2 비트를 하나의 심볼로 하는 QPSK 방식의 변복조기의 블록도를 나타내면 그림 1과 같다.<sup>19)</sup>



(a) QPSK 신호의 변조기



(b) QPSK 신호의 복조기

그림 1. QPSK 방식의 변복조기 블록도

입력 NRZ(NonReturn to Zero) 데이터 열은 직/병렬 변환기에 의해서 분배된 후 90°의 위상차를 갖는 2개의 반송파로 각각 변조시킨 후 합성되고 복조는 변조의 반대 과정이다.

### 2. QPSK 방식의 신호점 배치

직교좌표상에 서로 다른 네 개의 위상에 신호를 배치하는 4진 QPSK 방식의 신호점 배치는 그림 2와 같다.<sup>10)</sup>

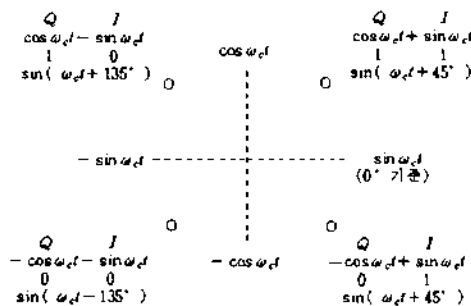


그림 2. QPSK의 신호점 배치도

여기서 신호점간의 최소거리를  $d(d = b\sqrt{2})$ 라 하고 신호전력을  $b^2$ 이라 하면, 대역폭이 B인 전송채널을 가정할 때, 수신된 4진 QPSK 신호  $r_{QPSK}(t)$ 는 식(1)과 같다.

$$r_{QPSK}(t) = b\sqrt{2} \sum_{i=1}^{\infty} \cos(\omega_c t + \theta_i) \times h(t - iT_s) + n(t) \quad (1)$$

$T_s$  : 데이터 심볼주기

$\omega_c$  : 캐리어 주파수

$i$  : 데이터 샘플링 지수

$iT_s$  :  $i$ 번째 신호의 샘플링 간격

$\theta_i$  : 각신호의 위상 (45°, 135°, 225°, 315°)

$h(t)$  : 시스템 임펄스 응답,

$n(t)$  : AWGN

실제 전송채널은 대역제한되므로 송출된 NRZ 신호는 전송구간에서 부호간 상호간섭(ISI: Inter Symbol Interference)을 일으켜 오류 발생의 원인이 된다. 따라서 파형을 성형하기 위해 raised-cosine 필터를 사용함으로써 주파수 대역을 효과적으로 제한할 수 있다. 이 필터는 롤오프계수  $\alpha$ 값을 필요에 따라 조정함으로써 여러가지 진폭 응답을 얻을 수 있다.

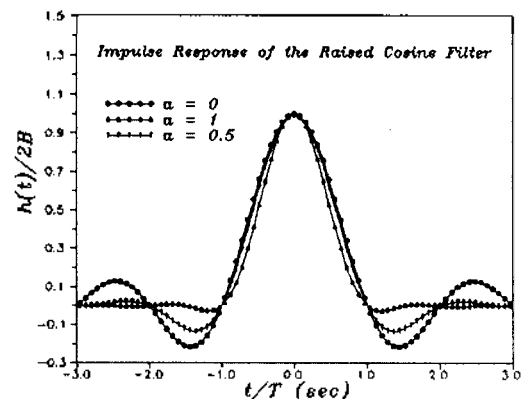
시스템의 임펄스 응답과 주파수 응답은 각각 식(2) 및 (3)과 같다.

$$h(t) = \frac{\sin(\omega_N t)}{\omega_N t} \frac{\cos(\alpha \omega_N t)}{1 - (2\alpha \omega_N t / \pi)^2} \quad (2)$$

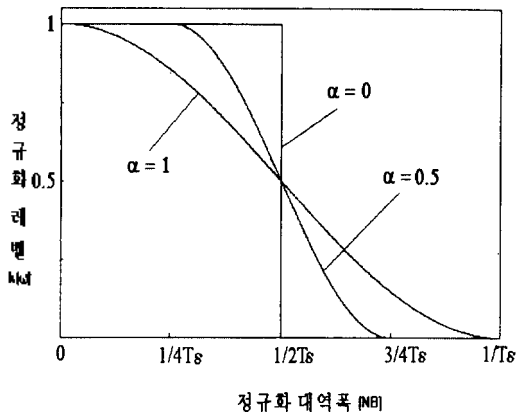
$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |\omega| \leq (1 - \alpha)\omega_N \\ \frac{T_s}{2} \left[ 1 + \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \alpha \left( \frac{\omega}{\omega_N} - (1 - \alpha) \right) \right\} \right], & (1 - \alpha)\omega_N \leq |\omega| \leq (1 + \alpha)\omega_N \\ 0, & |\omega| > (1 + \alpha)\omega_N \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $\omega_N = \pi/T_s$

$\alpha$  : 롤오프 계수 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )



(a) 임펄스 응답



(b) 전달함수

그림 3. Raised-cosine 필터의 임펄스 응답과 전달함수

그림 3은  $\alpha$  값에 따른 raised-cosine 필터의 임펄스 응답과 주파수 응답 특성곡선이다.

3. 오류확률

시스템 오류특성을 개선하기 위해 Gray code를 이용하고, 심볼에러를 최소 1 비트로 제한할 때 충분히 큰 SNR에 대하여 근사화된 비트오류확률(BER: bit error rates)  $P_b(e)$ 는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 P_b(e) &\cong \frac{1}{2} P_s(e) \\
 &= \frac{1}{\log_2 M} \times \text{erfc} \left[ \left( \sin \frac{\pi}{M} \right) \frac{\sqrt{E_s}}{N_o} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \text{erfc} \left[ \sqrt{\frac{E_s}{2N_o}} \right]
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Ⅲ. 단층 퍼셉트론을 이용한 검파기

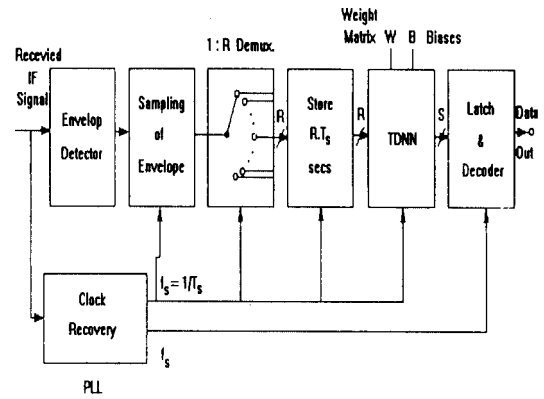
1. ANN 수신기의 구성

그림 4는 이 논문에서 제안한 수신기의 블록도이다. 그림 4에서와 같이 제안된 수신기는 포락선 검파기, 샘플링 홀더, 캐리어 상태를 감지하는 TDNN 등으로 구성된다.

그림 4의 제안 수신기에서 TDNN은 그림 5와 같으며 ANN이 갖고있는 층(layer)의 수, 각 층에서 뉴런의 수, 각 층의 전달함수 그리고 층이 각각의 다른 데이터와 회로방 입력과의 상호 연결 관계로 구성된다.

여기서

$$A(i) = \begin{cases} 1, & i \text{ 번째 캐리어 검출} \\ 0, & \text{그밖의 상태} \end{cases}$$



$f_s$  = symbol clock rate  
 $R$  = # of inputs to ANN  
 $W$  = weight matrix  
 $S$  = # of binary outputs of ANN

그림 4. ANN을 이용한 제안 수신기의 블록도

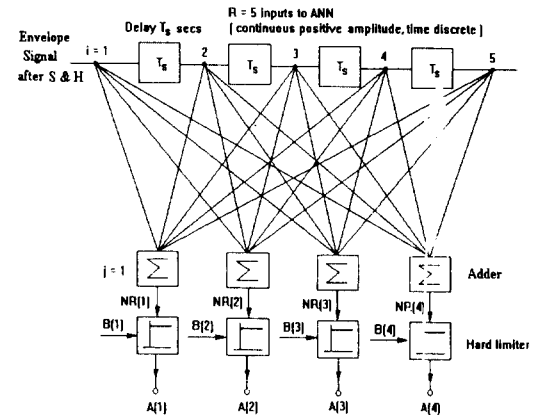


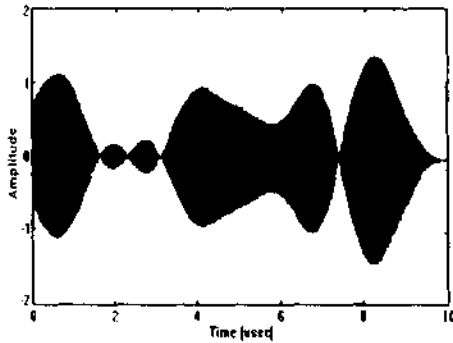
그림 5. QPSK 신호 검출을 위한 4 뉴런 TDNN

TDNN은 S개의 서로 다른 캐리어 상태를 검출하기 위해 최소한 S 퍼셉트론이 필요하게 되고, 각 퍼셉트론은 탭수에 따라 R개의 입력을 갖는다. 따라서 가장행렬은  $S \times R$ 로 구성되며, 이 때 지수 i는 i번째 가중치를 나타내는 뉴런으로서 행렬  $S \times R$ 의 열을, 지수 j는 j번째 가중치를 나타내는 뉴런으로서 행렬  $S \times R$ 의 행을 나타낸다.

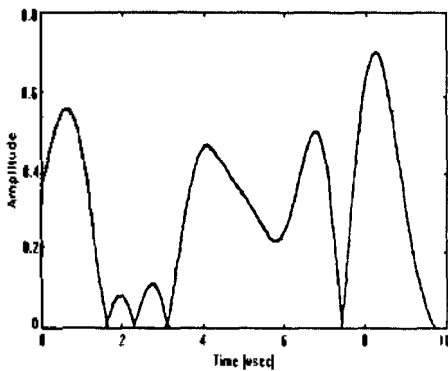
결과적으로 각 뉴런에 포함되어 있는 입력정보를 해석하기 위해 일단 가능한 몇 개의 신호를 판정하게 되고, 왜곡된 신호나 잡음도 적절한 상태로 제거될 수 있어 TDNN에 의해 정확한 신호가 복원되게 된다.

그림 6(a)~(d)는 이 논문에서 제안한 수신기를 이용한 4진 QPSK 신호의 처리과정을 나타낸다. 그림 6(a)는 수신기를 통해 수신된 4진 QPSK 신호를 나타내고, (b)는 포락선 검파된 후의 신호, (c)는 검파된 신호를 샘플링한 경우, (d)는 홀드연산 후의 신호를 나타내고 있다.

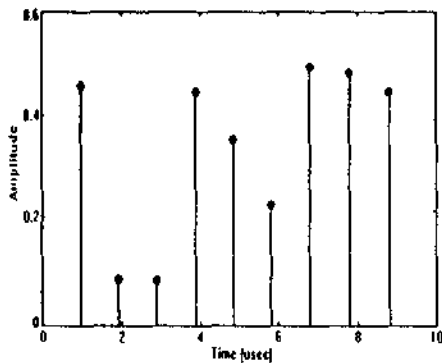
이러한 신호처리 과정을 거친 샘플들은 TDNN에 의해 최적한 신호를 선택하여 출력하게 된다.



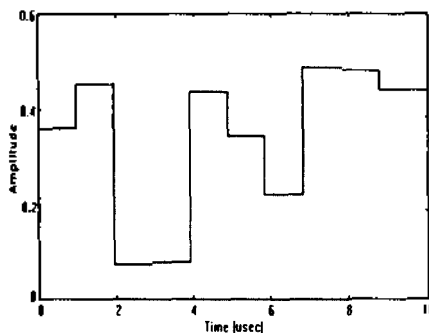
(a) QPSK 신호



(b) QPSK 신호의 검파 포락선



(c) 포락선의 샘플링



(d) 샘플, 홀드 포락선

그림 6. QPSK의 수신 신호처리

## 2. 시스템의 동작모델

이 논문에서 시뮬레이션을 위해 사용한 전송율은 표준 PCM의 2.048Mbps이다. QPSK의 심볼율은  $1/T_s$ 로 1.024 MBaud이고 최소 대역폭은  $1/T_s$ 로 1.024MHz가 된다. 그러나 실제로는 펄스성형을 위해 raised-cosine 필터의 롤 오프 계수를 0~1까지 변화시킴으로써 0%~100%에 이르는 초과대역폭을 필요로 한다. 인공위성 데이터 전송에 사용하는 70MHz의 표준 중간 주파수에 근사하도록 하기 위해 캐리어 주파수  $N_c = 68$ 을 선택하였다. 그러므로 시뮬레이션에서 사용한 중간 주파수는  $68 \times 1.024 = 69.632$  MHz가 된다.

퍼셉트론망은 시간영역 파형의 포락선을 5개의 이산 샘플 및 지연된 데이터 점으로 이루어진 입력데이터로 만들어 사용한다.

TDNN에 입력된 값이 단지 1, 0 두 값을 취하므로 각 입력벡터는 이에 상응하도록 망을 구성하고 있다. 이 샘플들은  $A(1) \sim A(4)$ 인 4가지 출력 상태로 변환되고, 각 출력도 4가지 캐리어 위상 상태 중에서 하나를 검출한다. 뉴런 #1은  $\pi/4$ , 뉴런 #2는  $3\pi/4$ , 뉴런 #3은  $5\pi/4$ , 뉴런 #4는  $7\pi/4$ 를 각각 출력한다. 학습을 통해 얻어진 퍼셉트론의 입력값은 캐리어 주파수  $N_c$ , 심볼 지속시간  $T_s$ , 롤 오프 계수  $\alpha$ , 그리고 가장 중요한 #1, #2, #3, #4로 나타낸 캐리어의 위상상태의 열 등의 파라미터를 갖는 포락선 신호에서 샘플된 데이터이다. 퍼셉트론 학습법은 가장행렬  $W$ 의  $i$ 번째 열의 뉴런 바이어스  $B(i)$ 를 계산하기 위해 각 뉴런에 적용된다. 위상학습이 진행되는 동안에 입력 벡터  $P$ 는 TDNN에 입력되고 퍼셉트론 법칙과 목적벡터  $T$ 에 따라 가중치와 바이어스를 보정한다.

첫번째 단계에서  $W$ 와  $B$ 의 값은 몇 개 안되는 랜덤한 수이고, 두 번째 단계에서 원하는 뉴런출력  $A(1) \sim A(4)$ 에 따라 시스템에 입력된 샘플  $P(1) \sim P(5)$ 를 출력한다. 실제로 계산된 출력 벡터는 식(5)와 같다.

$$A = f_H(WP' + B) \tag{5}$$

여기서 '은 벡터 전치행렬을 나타내고,  $f_H(\cdot)$ 는 하드리미티 함수이다. 최소한 하나의 오류가 발생했을 때, 즉  $A(i) \neq T(i)$ 일 때 가중값과 바이어스가 적용되고 보정값은 식 (6) 및 (7)과 같다.

$$W_n = W_o + \eta EP \tag{6}$$

$$B_n = B_o + \eta E \tag{7}$$

여기에서  $E = T - A$ 는 오류 벡터이고,  $\eta$ 는 1보다 작은 정이득이다.  $\eta$ 는 고속적응 특성과 가중치의 안정성을 만족시킬 수 있도록 조정되어야 한다.

IV. 결과 및 분석

복잡하고 다양한 유형의 수신신호 중 원하는 신호를 정확히 검출하기 위해 다층퍼셉트론을 이용한 수신기를 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 오류확률을 구하였다. 그림 7은 4개의 지연요소를 갖는 5-탭 TDNN을 이용한 ANN 수신기의 오류확률이다.

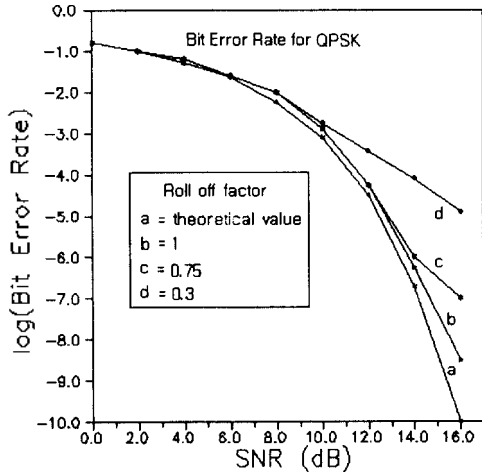


그림 7. QPSK 신호의 오류확률

그림 7에서와 같이 임계에러율  $5 \times 10^{-5}$ 을 유지하기 위해서는 롤오프계수  $\alpha$ 가 1, 0.75인 경우 13[dB], 롤오프계수  $\alpha$ 가 0.3인 경우는 16[dB] 이상되어야 함을 알 수 있다. 결과적으로 오류확률은 부엽의 수, 즉 탭 수에 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 롤오프계수  $\alpha$ 가 0.5 이상인 경우 시스템 성능은 우수한데 비해 0.5 이하가 될 수록 시스템 성능이 저하된다. ISI의 영향에 의해 시스템의 성능이 급격히 떨어지게 되고, 예전한 바와 같이 비트 오류 특성은 가정한 부엽의 수, 즉 탭 수에 매우 민감함을 알 수 있다. 롤오프계수  $\alpha$ 가 0.5 이하인 경우 시스템 성능 저하를 개선하기 위해서는 탭수가 최소 7개인 TDNN을 구성해야 한다.

V. 결론

이 논문에서는 신경회로망의 장점인 학습을 통해 다양한 채널 환경과 간섭상황에 적용할 수 있어 원하는 신호를 정확하고 간명하게 복원할 수 있는 검파기를 제안하였다.

4개의 지연요소를 갖는 5-탭 TDNN을 이용한 ANN 수신기를 통해 신호를 검출한 경우 오류확률 결과를 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1) 롤오프계수  $\alpha$ 가 0.5 이상인 경우

그림 7 (b), (c)에 나타난 바와 같이 거의 이론치에 접근되므로 시스템 성능이 우수함을 알았다.

2) 롤오프계수  $\alpha$ 가 0.5 이하인 경우

그림 7 (d)에 나타난 바와 같이 시스템 성능이 급격히 저하된다.

이상의 결과와 같이 롤오프계수  $\alpha$ 가 0.5 이하인 경우 시스템 성능 저하를 개선하기 위해서는 탭수가 최소 7개인 TDNN을 구성해야 한다.

향후 4진 QPSK 방식보다 스펙트럼 이용효율이 우수한 QAM 방식을 이동통신 분야에 적용하기 위해 다층 퍼셉트론을 적용하여 진폭과 위상정보를 더 정확히 복원할 수 있는 연구를 수행할 계획이다.

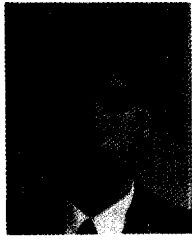
참 고 문 헌

1. K. Gilhousen et al., "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
2. J. G. Proakis, *Digital communications*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 1989.
3. E. A. Lee and D. G. Messerschmitt, *Digital communication*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publisher, 1992.
4. J. M. Zurada, *Introduction to artificial neural systems*. St. Paul, MN: West Publishing Company, 1992.
5. B. Kosko, *Neural networks and fuzzy systems: A dynamical systems approach to machine intelligence*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.
6. R. P. Lippmann, "An introduction to computing with neural nets," *IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine*, vol. 4, pp. 4-22, Apr. 1987.
7. A. Farago, G. Lugesi, "Strong universal consistent of neural network classifiers," *IEEE trans. on Information Theory*, vol. 39, no. 4, pp. 1146-1151, July 1993.
8. J. D. Provence, "Neural network implementation for maximum-likelihood sequence estimation of binary signals in gaussian noise," *Proceedings of IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, San Diego, CA, pp. 703-714, 1987.
9. Kamilo Feher, *Digital Communication: Fundamentals and Applications*. Prentice-Hall, 1986.
10. C. N. Thomas and M. Y. Weinder, "Digital Amplitude Phase Keying with M-ary Alphabets," *IEEE Trans. Comm.*, COM-22-2, pp. 168-179, 1988.

▲조 순 계(Soon-Kye Cho) 1958년 1월 27일생  
 1984년 2월: 원광대학교 전자공학과(공학사)  
 1988년 2월: 숭실대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1994년 3월~현재: 전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
 1988년 3월~1990년 2월: 한국과학기술원 과학기술대학 조교  
 1990년 3월~현재: 조선대학교 공업전문대학교 전자통신과 부교수

※주관심분야: 음성부호화, 영상압축, 디지털 통신

▲최 형 기(Hyoung-Ki Choi) 1971년 1월 10일생



1995년 2월:전북대학교 전자공학과  
(공학사)

1997년 2월:전북대학교 대학원 전자  
공학과 졸업(공학 석사)

1997년 3월~현재:전북대학교 대학원  
전자공학과 박사과정

※주관심분야:음성인식, 합성

▲김 증 교(Chong-Kyo Kim)

현재:전북대학교 전자공학과 교수

한국음향학회지 제17권 1호 참조