

미지의 디지털 변조 신호 식별

正會員 愼 鏞 朝* 正會員 李 宗 憲* 正會員 陳 庸 玉*

Discrimination of Unknown Digitally Modulated Signals

Yong Jo SHIN*, Jong Heon LEE*, Yong Ohk CHIN* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 전파감측(감시 및 측정)이나 유니버설 복조기의 개발을 위한 기초 연구로써, 미지의 디지털 변조 신호 식별에 대하여 논의한다.

제안한 식별 방법은 시간 영역의 파라미터를 이용하는 방안으로 먼저 포락선, 순시 주파수, 차위상 정보를 기본특징으로 추출한다. 추출된 기본특징은 식별을 위해 2개의 2차원 비선형 식별 공간으로 사상되며 입력신호의 식별은 1차 선형식별함수를 이용해 이루어진다.

본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 가우스성 잡음 환경하에서 ASK-2, ASK-4, BPSK, QPSK, 8PSK, FSK, QAM 신호를 대상으로 특징추출과 식별과정을 모의실험한다.

ABSTRACT

In this paper, we present an discrimination method of unknown digital modulated signals in noisy communication environment. We propose the use of an identification procedure based on time domain signal parameters.

First, We extract instantaneous envelope, frequency and difference phase as the the basic feature informations from received signals. In order to identify signals using the extracted feature informations, we design the two dimensional feature space. The extracted feature infomations are mapped into 2D-feature space using non-linear mapping rule(logarithm). The discrimination of signals is processed in 2D-feature space using 2D feature points.

The procedure has been tested by simulations on a computer in noisy communication environment, and the considered signals are ASK-2, ASK-4, BPSK, QPSK, 8PSK, FSK and QAM.

I. 서 론

변조신호의 식별 또는 변조 식별이라함은 수신된 신호의 변조방식을 자동으로 판단하는 것으로, 신호에 포함된 구체적 정보를 복원하는 복조나 신호의 존

재 유무만을 판단하는 에너지 검출과정과는 구분되며, 전파감측이나 유니버설 복조기를 목적으로 수행되어 왔다.^{[1]~[8]} 이러한 연구는 최근 다양한 디지털 변조 신호가 사용됨에 따라 일반성 있는 식별방법의 개발에 역점을 두게 되었다.

변조 식별 시스템은 다른 인식 시스템과 마찬가지로 특징추출과 판단과정으로 나뉜다. 특징추출부에서는 수신된 신호로부터 신호의 식별에 필요한 기본 특징을 추출하게 된다. 변조된 신호는 진폭, 위상, 주

*慶熙大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Engineering,
Kyunghee University.
論文番號 : 92-29(接受1991. 12. 16)

파수의 세가지 파라미터를 사용하여 정보를 표현하고 있기 때문에 이들 세가지 파라미터를 추출하는 것이 일반적이다. 그러나 위상 정보 추출 방법에 있어서는 다소 상이하며 본 논문에서는 차위상을 구하기 위한 반송파 주파수 추정방법에 대해 중점적으로 논의한다.

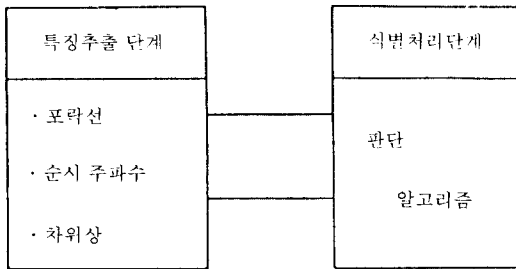


그림 1. 신호 식별 시스템
Fig. 1. Modulation Discrimination System

한편, 식별 처리 단계의 판단 방법으로는 자기상관을 이용하는 방법^[9], 선형 및 비선형 식별함수를 이용하는 방법^{[1][2]}, 인공신경망을 이용하는 방법^[9] 등이 있으나 계산량이 많다는 점을 지적할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기본특징을 2차원 비선형 특징공간에 사상시켜 1차 함수의 조합으로 신호를 식별하는 단순한 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 II장에서는 기본 특징 추출 과정을 설명하고 반송파 주파수 추정방법에 대해 논의한 다음 III장에서 2차원 비선형 특징 공간의 개념과 식별방법에 대해 설명한다. IV장에서 기본 특징 추출 및 식별 과정을 모의실험하고 잡음에 대한 성능을 실험적으로 평가한다. V장에서 제안된 방법의 타당성을 검토하고 향후 연구과제에 대해 논의한다.

II. 특징 추출

II-1. 기본 특징 추출

특징 추출 단계에서는 신호의 식별에 필요한 특징을 추출하게 된다. 변조 신호는 일반적으로

$$s(t) = A \cos(\omega t + \theta) \tag{1}$$

로 표현되며 진폭 A, 주파수 ω 그리고 위상 θ 를 변화시켜 기저 대역 신호의 정보를 나타낸다. 따라서 특징추출단계에서는 진폭, 위상 및 주파수에 관한 세가지 특징파라메타를 추출하게 되는데, 다음에 특징추출방법을 기술하고 처리블록도를 그림 2에 도시하였다.

- 위상천이
수신신호를 90° 위상천이시켜 사분면위상 성분을 구한다. 위상천이 방법으로는 힐버트변환^{[6][7]}을 사용한다.
- 신호의 포락선을 구한다.

$$AMP(t) = \sqrt{S_i^2 + S_q^2} \tag{2}$$

(S_i : 동위상 성분, S_q : 사분면위상 성분)

- 신호의 순시위상 $\omega(t)$ 를 구한다.

$$\omega(t) = \tan^{-1}(S_q(t) / S_i(t)) \tag{3}$$

구해진 순시위상은 특징으로 출력되며, 위상비교블록으로도 보내진다.

- 신호의 순시주파수를 구한다.

$$\omega_c = (\omega_{n+1}(t) - \omega_n(t)) / \Delta t \tag{4}$$

(ω_c : 순시주파수, Δt : 표본화 간격)

추출된 순시주파수는 특징으로 출력되며, 다른 한편으로는 위상비교블록으로 보내진다.

- 반송파 주파수를 추정한다.
- 차위상을 구한다.

추정된 반송파 주파수를 발진기에 가하여 $\cos \omega t$ 를 발생시켜 기준신호로 삼는다. 기준신호는 동위상 성분과 사분면위상 성분으로 나뉘어

$$\gamma(t) = \gamma_i(t) + \gamma_q(t) \tag{5}$$

(γ_i : 동위상 성분, γ_q : 사분면위상 성분)

로 되고 기준신호의 순시위상

$$\Phi(t) = \tan^{-1}(\gamma_q(t) / \gamma_i(t)) \tag{6}$$

를 구한 다음 차위상

$$\omega(t) - \Phi(t) \tag{7}$$

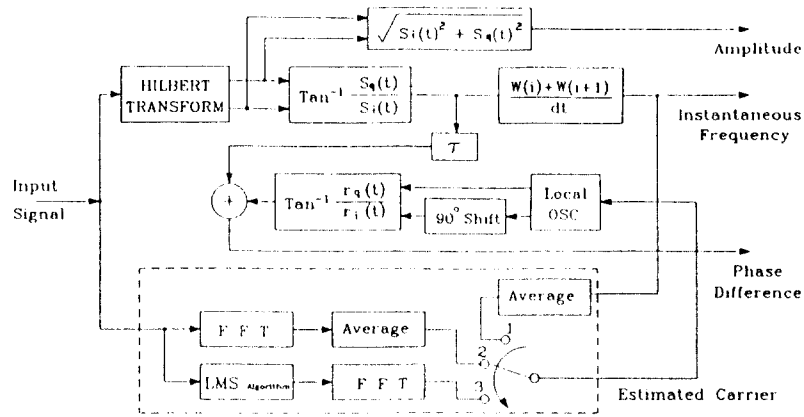


그림 2. 특징 추출 처리 블록도
Fig. 2. Block Diagram of Feature Extraction

를 구한다.

위의 특징 추출 방법중 반송파 주파수를 추정하는 방법에 있어 본 논문에서는 3가지 방안에 대하여 고려하였다. 3가지 방안이란 그림 2의 가장 아래쪽에 점선으로 표시된 블록안의 (1)순시주파수의 평균을 이용하는 방법, (2)FFT를 이용하는 방법, (3)적응예측기를 이용하는 방법을 말한다. 순시주파수의 평균을 이용한 경우 잡음이나 왜곡 등의 영향에 민감하고 위상변조의 경우 위상변화가 있을 때마다 펄스를 발생시켜 오차의 원인이 된다. 따라서 이 방법에 대한 보완으로써 (2)와 (3)의 방안에 대해 고찰하였으며 다음절에서 상세히 논의한다.

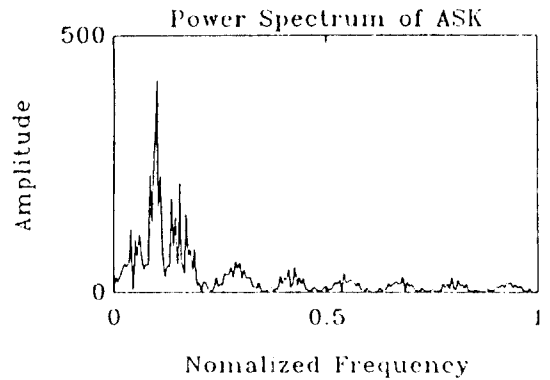
II.2 반송파 주파수의 추정

II.2.1 순시주파수 평균법

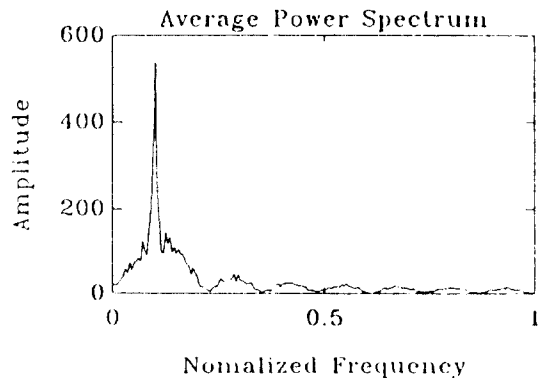
특징 추출단에서 추출된 신호의 순시주파수를 평균을 구해 이것을 반송파 주파수로 사용한다. 이 방법은 시스템 구성은 용이하나 위상 변조의 경우 위상 차이가 있을 때마다 펄스 형태의 오차를 발생시키기 때문에 이러한 경우 신뢰성 있는 반송파 주파수의 추정이 어렵게 되는 단점이 있다.

II.2.2 스펙트럼 평균법

입력신호를 FFT하면 주파수 영역에서의 신호의 특징이 나타나게 된다. 그런데 이때 입력신호중 가장 많은 전력을 가진 부분이 곧 반송파 주파수라 볼 수 있다. 따라서 입력신호의 전력 스펙트럼중 최대치를



(a)



(b)

그림 3. ASK 신호의 전력스펙트럼 :
(a) 1회 FFT (b) 3회 FFT후 평균
Fig. 3. (a) no average (b) averaged

찾아내서 반송파 주파수를 추정한다. 단구간의 측정으로는 정확한 반송주파수를 추정할 수 없으므로 FFT를 N회 실시한 후 평균을 취해 최대점을 찾아 반송주파수를 추정한다. 그림 3은 입력신호의 전력스펙트럼으로 추정된 반송파 주파수를 나타낸다. 이 방법은 잡음에 대한 성능은 비교적 우수하나 FFT를 여러 회 해야되기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

II.2.3 적응 예측법

입력신호의 특성에 따라 필터의 임펄스 응답이 적응해 나가는 LMS 적응 알고리즘을 이용한 반송파 주파수 추정기를 구성하여 미지의 신호가 일정대역을 가졌고 반송파 변조된 미지의 변조신호였을 때 입력 신호에 자기적응(self-adjust)하여 반송파 주파수를 추적한다. 다음의 그림 4는 추정기의 구조이고 그림 5는 추정기의 주파수 응답을 나타내며 입력신호

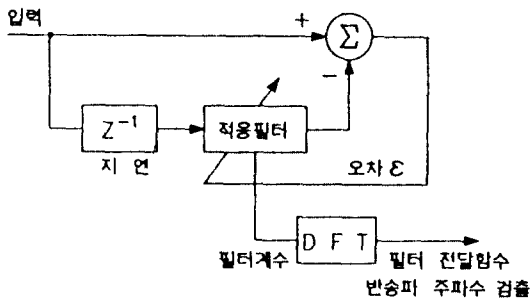


그림 4. 적응 반송파 주파수 추정방식
Fig. 4. Adaptive Carrier Frequency Estimator

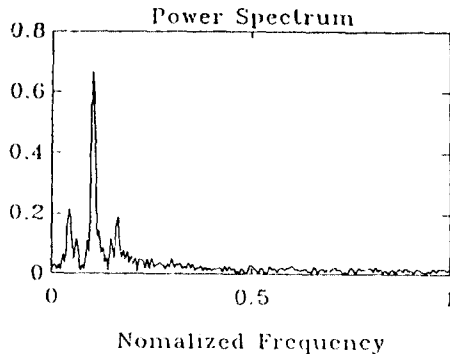


그림 5. 적응 반송파 주파수 추정기의 주파수응답
Fig. 5. Frequency Response of Adaptive Carrier Frequency Estimator

의 중심주파수가 효과적으로 추적되었음을 보인다. 이 방법은 비교적 잡음에 대한 성능이 우수하고 FFT를 사용하는 경우보다 시스템이 간단하며 주파수 응답이 아주 좁은 협대역의 형태를 갖기 때문에 주파수의 검출이 비교적 용이한 방법이다.

III. 2차원 특징공간과 신호의 식별

변조신호는 반송파의 진폭, 위상, 주파수의 3성분 중 한가지 혹은 두가지를 이용하여 변조되기 때문에 이들 기본 특징을 이용하면 변조방식에 따른 고유한 신호점 배치 구조를 파악할 수 있다. 따라서 신호 배치 구조를 비교하여 변조방식을 식별할 수 있으나 개개의 신호점의 위치를 직접 비교하는 방법은 계산량이 많아 비효율적이다. 그러므로 변조방식에 따라 특징공간내에서 단일한 지점을 나타내는 지표가 필요하게 된다. 이러한 지표로서 배치구조의 무게중심(산술평균)을 생각할 수 있으나 변조된 신호의 신호점은 평균을 중심으로 대칭을 이루기 때문에 산술 평균값은 변조 방식에 관계없이 모두 같게 된다. 그러나 기하평균은 신호점의 배치 구조에 따라 고유한 값을 갖게 되므로 변조방식의 식별에 이용할 수 있다.

본 논문에서는 특징정보들을 각각의 표준편차로 정규화하여 로그연산(Logarithm)을 취하는 비선형 사상방법으로 특징정보를 변환한 후 무게중심, 기하평균을 구하는 방법을 사용한다. 식(8)은 비선형 사상규칙의 정의식이며, 그림 6의 (a)와 (b)는 각각 선형 사상규칙에 의한 신호점의 배치와 본 논문에서 사용한 비선형 사상규칙을 이용한 신호점의 배치이다.

$$I_k' = \text{LOG}(I_k / \sigma), \quad k=1 \dots n \quad (8)$$

- I_k : 추출된 특징정보
- I_k : 사상된 특징정보
- σ : 특징정보의 표준편차

그림 6에서 볼 수 있듯이, 선형 공간의 신호점의 배치와 비선형 공간의 신호점의 배치는 그 형태가 확연히 다름을 알 수 있다.

따라서 진폭-위상 또는 진폭-주파수의 2차원의 식별공간으로 구성하였을 때 기하평균으로 구한 식별점 S_{AP} (진폭-위상공간)와 S_{AF} (진폭-주파수 공간)은 변조방식에 따라 그림 7과 같이 위치하게 된다. 이때 식별점은

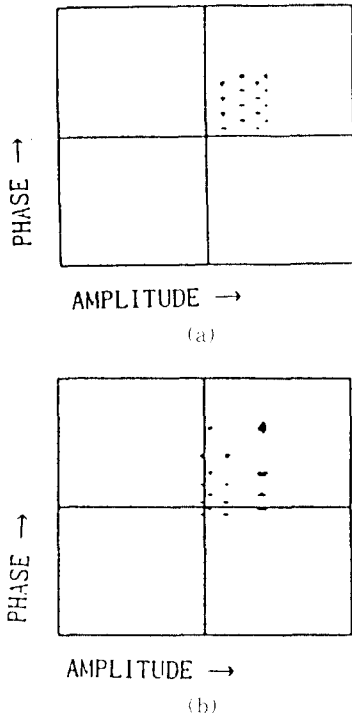


그림 6. QAM 신호점의 배치도 :
 (a) 선형 사상법 (b) 비선형 사상법
 Fig. 6. QAM Signal Constellation :
 (a) linear mapping (b) non linear mapping

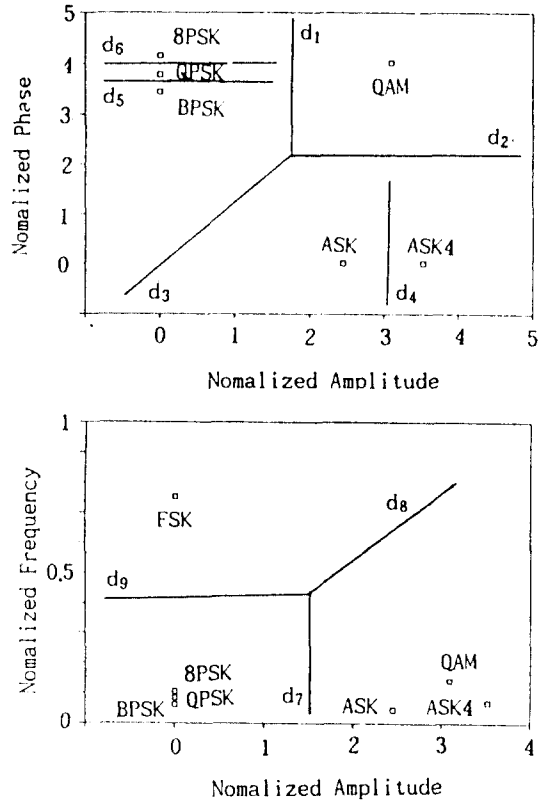


그림 7. 식별점의 분포도
 Fig. 7. Location of Discrimination Points

$$S_{AP} = (S_A, S_P), \quad S_{AF} = (S_A, S_F) \quad (9)$$

$$S_A = \frac{1}{n} \{ (I_{A1}') + (I_{A2}') + \dots + (I_{An}') \} \quad (10)$$

$$S_P = \frac{1}{n} \{ (I_{P1}') + (I_{P2}') + \dots + (I_{Pn}') \} \quad (11)$$

$$S_F = \frac{1}{n} \{ (I_{F1}') + (I_{F2}') + \dots + (I_{Fn}') \} \quad (12)$$

로 구하며, 여기서 I_A, I_P, I_F 는 각각 특징추출단에서 추출된 진폭, 차위상, 순시주파수 특징정보이다.

그림 7에서 보면 진폭 정보의 경우 진폭변조가 되지 않은 신호와 진폭변조가 된 신호가 확연히 구분되며, 같은 진폭변조 신호의 경우에도 ASK-2보다 ASK-4의 경우가 평균이 치우치는 정도가 크기때문에 식별이 가능하다. 그러나 입력신호의 중 대다수가 위상변조 또는 진폭과 위상의 혼용 변조방식이며 이러한 변조방식이 현재 가장 널리 쓰이는 디지털 변조

방식이므로 신호 식별은 진폭-위상 공간에서 대부분 수행된다. 진폭-주파수 공간과 주파수-위상 공간은 보조식별공간으로 사용할 수 있으며 본 논문에서는 진폭-주파수 공간을 사용한다.

특정공간에서 사상된 신호의 특징점들을 식별하기 위한 식별함수는 가장 간단한 형태인 1차 선형 식별함수(1st order Linear Discriminant function)를 사용하여 신호를 식별한다. 우선 진폭변조, 위상변조, 진폭-위상변조를 식별하기 위한 식별함수를 설계하고 다시 위상변조 영역에서 BPSK, QPSK, 8PSK를 구분할 식별함수를 구성한 후 진폭변조영역에서 ASK-2와 ASK-4를 식별할 식별함수를 설계한다.

일반적으로 식별함수 $d(X)$ 는

$$d(X) = w_1 X_1 + w_2 X_2 + \dots + w_n X_n + w_{n+1} \quad (13)$$

$$= WX + w_{n+1}$$

으로 나타내며, 여기서 X는 특징이고 W는 가중치이다.

특징점의 식별은 M개의 식별함수가 사용되는 경우

$$d_i(X) = W_i X \begin{cases} > 0 & \text{if } X \in \text{class } i \\ < 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad i=1,2,\dots,M \quad (14)$$

로 식별한다

식(13)과 식(14)를 이용한 본 논문의 대상 신호의 식별을 위해 필요한 식별함수는

•진폭-위상 특징공간

진폭-위상 공간에서는 대상 신호중 ASK-2, ASK-4, QAM, BPSK, QPSK, 8PSK를 식별한다.

- ① $d_1(S_{AP})$: 위상변조와 진폭-위상변조의 식별함수
- ② $d_2(S_{AP})$: 진폭변조와 진폭-위상변조의 식별함수
- ③ $d_3(S_{AP})$: 진폭변조와 위상변조의 식별함수
- ④ $d_4(S_{AP})$: 진폭변조중 ASK-2와 ASK-4의 식별함수
- ⑤ $d_5(S_{AP})$: 위상변조중 BPSK와 QPSK의 식별함수
- ⑥ $d_6(S_{AP})$: 위상변조중 QPSK와 8PSK의 식별함수

•진폭-주파수 특징공간

진폭-주파수 공간에서는 대상 신호중에서 FSK를 식별한다.

- ⑦ $d_7(S_{AF})$: 위상변조 그룹과 진폭-위상변조, 진폭변조 그룹의 식별함수
- ⑧ $d_8(S_{AF})$: FSK와 진폭-위상변조, 진폭변조 그룹의 식별함수
- ⑨ $d_9(S_{AF})$: FSK와 위상변조의 식별함수

의 9가지이며 그림 7에 신호의 특징점과 식별함수를 함께 도시하였다. 또한 본 논문의 대상 신호를 식별하기 위한 식별 규칙은

$$\circ \text{ if } d_1(S_{AP}) > 0 \text{ AND } d_2(S_{AP}) > 0 \text{ AND } d_6(S_{AP}) > 0, \\ \text{Input Sinal is 8PSK.} \quad (15)$$

$$\circ \text{ if } d_1(S_{AP}) > 0 \text{ AND } d_2(S_{AP}) > 0 \text{ AND } d_5(S_{AP}) > 0, \\ \text{AND } d_6(S_{AP}) < 0 \\ \text{Input Sinal is QPSK.} \quad (16)$$

$$\circ \text{ if } d_1(S_{AP}) > 0 \text{ AND } d_2(S_{AP}) > 0 \text{ AND } d_5(S_{AP}) < 0,$$

$$\text{Input Sinal is BPSK.} \quad (17)$$

$$\circ \text{ if } d_1(S_{AP}) < 0 \text{ AND } d_2(S_{AP}) > 0, \\ \text{Input Sinal is QAM} \quad (18)$$

$$\circ \text{ if } d_1(S_{AP}) < 0 \text{ AND } d_2(S_{AP}) < 0 \text{ AND } d_3(S_{AP}) < 0 \\ \text{AND } d_4(S_{AP}) > 0, \\ \text{Input Sinal is ASK-2} \quad (19)$$

$$\circ \text{ if } d_1(S_{AP}) < 0 \text{ AND } d_2(S_{AP}) < 0 \text{ AND } d_3(S_{AP}) < 0 \\ \text{AND } d_4(S_{AP}) < 0, \\ \text{Input Sinal is ASK-4} \quad (20)$$

$$\circ \text{ if } d_7(S_{AF}) > 0 \text{ AND } d_8(S_{AF}) > 0 \text{ AND } d_9(S_{AF}) > 0, \\ \text{Input Sinal is FSK} \quad (21)$$

이다.

IV. 모의실험 및 결과

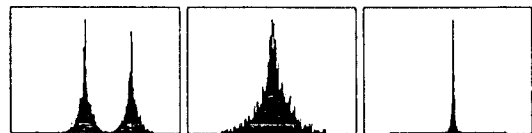
IV.1 기본 특징의 히스토그램

신호의 인식에 앞선 전처리단계로서 컴퓨터를 이용한 기본 특징 추출 과정의 모의실험을 실시하였다. ASK, FSK, PSK, QPSK, 8PSK, QAM등의 변조 신호를 대상으로 하여 SNR을 변화시키면서 특징 추출을 수행하였다.

특징추출 단계에서 추출된 특징을 각각의 신호에 대해 진폭, 차위상, 순시주파수의 히스토그램으로 도시하였다.

•ASK(Amplitude Shift Keying)

ASK-2 신호에 대한 히스토그램은 그림 8에 도시한 것처럼 ASK 2 신호의 특징대로 진폭 히스토그램은 2-상태로 모여 나타나며, 순시주파수 히스토그램은 거의 반송파 주파수 성분으로 한군데 모여 나타났



진폭 순시주파수 차위상
그림 8. ASK-2의 히스토그램 (SNR 20dB)
Fig. 8. Histogram of ASK-2(SNR 20dB)

고 차위상 히스토그램 역시 한군데 모여 나타났다.

• FSK(Frequency Shift Keying)

FSK-2 신호의 경우, 진폭이 거의 일정하기 때문에 진폭 히스토그램은 한상태로 나타나고, 순시주파수 히스토그램은 FSK-2의 특징대로 2개의 상태, 차위상 히스토그램은 형태를 정의할 수 없는 모습으로 나타났다.

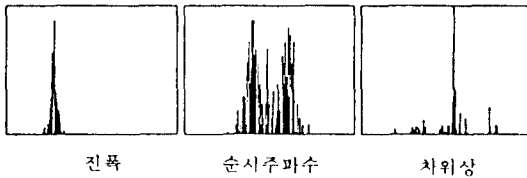


그림 9. FSK-2의 히스토그램(SNR 20db)
Fig. 9. Histogram of FSK-2(SNR 20dB)

• PSK(Phase Shift Keying)

PSK-2 신호는 FSK와 마찬가지로 진폭은 일정하게 1-상태로 나타났고, 순시주파수 히스토그램 역시 한상태이며 차위상 히스토그램은 2-상태로 나타났다. PSK-4와 PSK-8의 경우는 진폭과 순시주파수 히스토그램은 PSK-2의 경우와 같은 양상을 보였으나 차위상 히스토그램은 각각 4-상태와 8-상태로 나타났다.



그림 10. PSK-2의 히스토그램(SNR 20db)
Fig. 10. Histogram of PSK-2(SNR 20dB)

• QAM(Quadratic Amplitude Modulation)

QAM 신호의 경우 진폭과 위상 히스토그램은 각각 4-상태로 나타났으며, 순시주파수 히스토그램은 거의 반송과 주파수 성분 한 상태로 나타났다.

IV.2 신호식별의 모의실험

전술한 비선형 사상법에 의한 신호 식별의 타당성

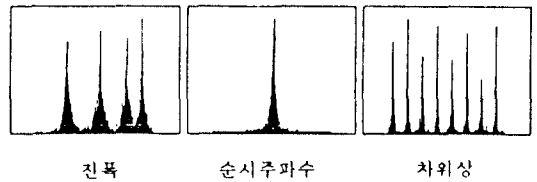


그림 11. QAM의 히스토그램(SNR 20db)
Fig. 11. Histogram of FSK 2(SNR 20dB)

을 검증하기 위하여 컴퓨터를 이용하여 신호식별의 모의실험을 실시하였다. 신호식별의 모의실험은 SNR을 0[dB]에서 30[dB]까지 변화시켜 가면서 수행하였으며 본 논문의 대상신호의 식별을 위해 구한 식별함수는 다음과 같다.

$$(1)d_1(S_{AP})=14.084 S_A+S_P-15.909 \quad (22)$$

$$(2)d_2(S_{AP})=0.027 S_A+S_P+2.093 \quad (23)$$

$$(3)d_3(S_{AP})=0.786 S_A-S_P+0.728 \quad (24)$$

$$(4)d_4(S_{AP})=S_A-2.986 \quad (25)$$

$$(5)d_5(S_{AP})=S_P-3.615 \quad (26)$$

$$(6)d_6(S_{AP})=S_P-3.971 \quad (27)$$

$$(7)d_7(S_{AP})=S_A-1.511 \quad (28)$$

$$(8)d_8(S_{AP})=4.033 S_A-S_P-5.72 \quad (29)$$

$$(9)d_9(S_{AP})=S_P-0.3751 \quad (30)$$

잡음에 대한 성능을 평가하기 위해 신호점간의 거리가 가장 가까운 경우의 예로 QPSK와 8PSK의 경우에 대해서 신호점간의 상호 거리변화량을 SNR을 0[dB]에서 30[dB]까지 변화시키면서 유클리드 거리(Euclidean distance)를 구하면 그림 12와 같다. 이 경우 SNR 10[dB] 이상에서는 거리의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있으며, 10dB이하에서는 특징점간의 거리가 급격히 감소하여 식별이 불가능해짐을 알 수 있다. 다른 변조방식에 대해서도 이와 유사한 양상을 나타낼 수 있었다.

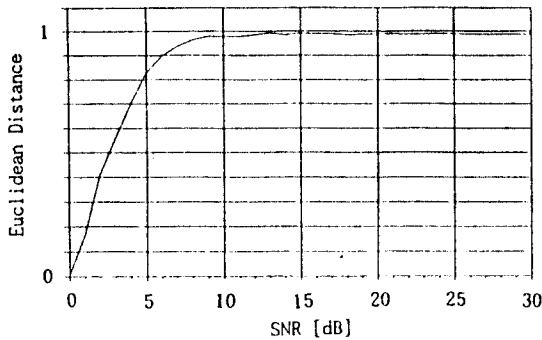


그림 12. 잡음 증가에 따른 식별점의 위치변화(QPSK와 8PSK의 경우)

Fig. 12. Position Variation of Discrimination point (QPSK vs 8PSK)

V. 결 론

본 논문은 전과감측 또는 유니버설 복조기를 구현하기 위한 기초 연구로서 신호의 기본적인 파라메터인 진폭, 순시 주파수, 차위상 등의 시간영역의 정보를 이용하여 디지털 변조 신호의 자동 식별 방법을 논의한 것이다. 2차원 비선형 특징공간에 기본특징을 사상하고 이에 의해 신호의 종류를 식별하는 방안에 대하여 논의하였으며 타당성을 검증하기 위하여 모의실험을 실시하였다. 제안된 방법은 특징공간의 차원이 낮고 1차 식별함수의 조합을 이용하기 때문에 계산량이 적다.

모의 실험 결과 SNR 10[dB] 이상에서는 식별점의 위치변화가 거의 무시될 정도로 작아 식별에 무리가 없었다. SNR 10[dB] 이하에서는 식별점 사이의 거리가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 논문은 미소신호의 검출을 목적으로 하지 않기 때문에 SNR[dB] 이상의 신호식별은 타당하다고 생각한다.

본 논문에서는 잡음에 대한 성능만을 고려하였으나 페이딩이나 왜곡 등의 통신환경에 대한 적용 연구와 시스템 구현 방안에 대해서 지속적인 연구가 있어야 된다.

참 고 문 헌

1. Janet AISBETT, "Automatic modulation recognition using time domain parameters," Elsevier science publishers B.V. 1987.
2. F.F. LIEDTKE, "Computer simulation of an automatic classification procedure for digitally modulated communication signals with unknown parameters," Elsevier science publishers B.V. 1984.
3. L.Vergara-Domínguez, J.M.Páez-Borrillo, J.I. Portillo-Carcía, B.Ruiz-Mezcua, "A radio communication signal classifier," Elsevier Science publishers B.V., 1988.
4. Stanton B. McMillan, Brian P.Flanagan, Tom K. Doong, "Determination of the modulation type of communication signals," IEEE, 1990.
5. Torres, Masgrau, Lagunas, "Signal Processing V," Elsevier, 1990.
6. 이진호, "Fading 통신로에서 변조 신호의 자동 식별," 경희대학교 석사학위논문, 1991년.
7. 신용조, 이종현, 진용욱, "변조신호의 자동식별을 위한 특징 파라미터 추출," 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 10권 2호, 1991년.
8. 김병진, 조동호, 이황수, 고봉수, "전화채널용 표준 변조방식의 식별에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, 16권 3호, 1991년 3월.
9. Bernard Widrow, Samuel D. Stearns, "Adaptive signal processing," Prentice-Hall Inc., 1985.
10. J.G.Proakis, "Digital Communication," McGraw-Hill, 1989.
11. Peyton Z. Peebles, Jr., "Probability, Random variables, and Random Signal Principles," McGraw-Hill, 1987.

※본 연구는 1990년도 한국과학재단의 목적기초 연구비 지원에 의하여 이루어진 것임



慎 鎭 朝 (Yong Jo SHIN) 正會員
1966年 4月24日生
1990年：慶熙大學校 電子工學科
卒業(工學士)
1992年：慶熙大學校 大學院 電子
工學科 卒業(工學碩士)
1992年：慶熙大學校 大學院 電子
工學科 博士課程 在學



李 宗 憲 (Jong Heon LEE) 正會員
1962年10月7日生
1985年 2月：慶熙大學校電子工學
科 卒業(工學士)
1987年 8月：慶熙大學校 大學院
電子工學科 卒業(工
學碩士)
1988年 9月～現在：慶熙大學校大
學院 電子工學科 博
士課程



陳 庸 玉 (Yong Ohk CHIN) 正會員
1943年 3月21日生
1968年 2月：延世大學校 工科學
電氣工學科 卒業
1975年 2月：延世大學校 大學院
電子工學科 (工學碩
士)
1981年 8月：延世大學校 電子工
學科(工學博士)

1980年：通信技術士

1976年～現在：慶熙大學校 工科學 電子工學科 教授