

## 신호 변조 방식 분류를 위한 계층적 알고리즘

\*안성배, \*장민규, \*윤동원<sup>†</sup>

\*한양대학교 융합전자공학과

dwyoona@hanyang.ac.kr<sup>†</sup>

## A Hierarchical Algorithm for Signal Modulation Method Classification

\*Sungbae An, \*Mingyu Jang, and \*Dongweon Yoon<sup>†</sup>

Hanyang University

## 요 약

비협력 통신 상황에서 신호를 복조하기 위해서는 변조 방식에 맞는 적절한 추정 기법을 이용하여 통신 제원을 추정하여야 한다. 따라서 이러한 비협력 통신 상황에서 신호를 복조하기 위해서는 수신 신호에 적용된 변조 방식을 분류하는 것이 가장 중요하다. 본 논문에서는 단일 반송파 신호, 다중 반송파 신호와 잡음 신호가 수신되는 상황을 가정하여 신호의 변조 방식을 추정하는 알고리즘을 제안하고 모의실험을 통해 성능을 분석한다.

## I. 서 론

일반적인 협력 통신 상황에서 수신기는 송신기에서 사용된 통신 제원에 대한 모든 정보를 알고 있기 때문에 이를 이용하여 신호를 복조할 수 있다. 하지만 송신기에서 사용한 통신 제원에 대한 정보가 없는 감시나 정찰 같은 환경의 비협력 통신 상황에서는 송신기에서 사용된 통신 제원을 모르기 때문에 수신된 신호를 복조할 수 없다. 이러한 상황에서 수신 신호를 복조하기 위해서는 신호에 적용된 변조 방식에 따라 적절한 제원 추정 알고리즘을 이용하여 통신 제원을 추정해야 한다. 이때 사용되는 통신 제원을 추정하는 방식은 신호에 적용된 변조 방식에 따라 다양하게 존재한다. 신호를 복조하기 위해서 단일 반송파 신호의 경우 가장 먼저 신호의 심볼률을 추정해야 하지만 다중 반송파 신호인 CP-OFDM (Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호의 경우 먼저 OFDM 심볼의 길이를 추정하여야 한다. 이처럼 신호에 적용된 변조 방식에 따라 제원을 추정하는 알고리즘이 달라지기 때문에 비협력 통신 상황에서 미지의 신호를 복조하기 위해서는 수신 신호만을 이용하여 어떠한 변조 방식이 사용되었는지 판별하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 통신 제원에 대한 정보가 없는 비협력 통신 상황에서 수신 신호만을 이용하여 신호의 변조 방식이 단일 반송파 선형 변조 신호, 단일 반송파 비선형 변조 신호, CP-OFDM, 잡음 신호 중에 어떠한 신호인지 판별하는 알고리즘을 제안하고 분류 성능을 분석한다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서 단일 반송파 선형 변조 신호의 경우 Phase Shift Keying (PSK)와 Quadrature Amplitude

Modulation (QAM) 방식을 고려하였고 단일 반송파 비선형 변조 신호의 경우 Frequency Shift Keying (FSK) 방식을 고려하였다.

수신된 신호는 가산성 백색 잡음 (additive white gaussian noise, AWGN) 채널을 지나는 것을 가정하였다.

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서  $x(t)$ ,  $s(t)$ ,  $n(t)$ 은 각각 수신 신호, 송신 신호, AWGN을 의미한다.  $s(t)$ 의 경우 송신되는 신호의 변조 방식에 따라 QAM, PSK, FSK, CP-OFDM의 파형을 따르게 된다.

## III. 신호 변조 방식 분류 알고리즘

본 논문에서 제안하는 신호의 변조 방식 분류 알고리즘은 계층적인 방식으로 순차적으로 이루어진다. 먼저 단일 반송파 비선형 변조 신호인 FSK 신호가 변조 차수와 동일한 수의 주파수 톤을 사용하는 것을 이용하여 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT) 분석을 통해 신호를 분류한다[1].

$$X(f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i) e^{-j2\pi f \frac{i}{N}} \quad (2)$$

단일 반송파 비선형 변조 신호의 경우 FFT 분석으로 신호를 관찰하게 되면, 다른 신호와는 달리 변조 차수와 동일한 수의 첨도가 나타나기 때문에 이를 이용하여 신호를 분류할 수 있다.

CP-OFDM 신호는 신호 전송 시에 발생하는 심볼간 간섭과 반송파간 간섭을 예방하기 위해 OFDM 신호 앞

단에 반복되는 파형인 CP를 함께 전송하게 된다. OFDM 심볼마다 반복되는 CP가 존재한다는 특성을 이용하여 자기 상관 함수를 이용하여 신호를 분류할 수 있다[2].

$$A(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)x^*(i-\tau) \quad (3)$$

(3)을 이용하여 시간에 따른 CP-OFDM 신호의 자기 상관도를 확인하면 시간 지연인  $\tau$ 가 useful time과 일치할 때 CP가 겹치게 되어 다른 신호와는 달리 높은 상관도 값을 얻는 것을 확인할 수 있으며 이를 통해 CP-OFDM 신호를 분류할 수 있다.

마지막으로 잡음 신호와 단일 반송파 선형 변조 신호의 분류는 신호 진폭의 분포를 이용한다. 잡음 신호 진폭의 분포는 가우시안 분포를 따르는 반면 단일 반송파 신호는 신호에 적용된 심볼 매핑 방식에 따라서 다른 분포를 갖는다는 특성을 이용하여 (4)와 같은 goodness-of-fit test를 이용하여 분류할 수 있다[3].

$$W^2 = \frac{1}{K} \int_{-\infty}^{\infty} \{F_k(w) - F(W)\}^2 dF(w) \quad (4)$$

여기서  $F_k(W)$ 는 수신 신호로부터 계산한 진폭의 누적 분포 함수이며,  $F(W)$ 는 가우시안 분포의 누적 분포 함수를 나타낸다. 단일 반송파 선형 변조 신호의 경우 신호의 심볼 매핑 방식에 따른 특정한 형태의 진폭의 분포를 가지고 있기 때문에 (4)의 값이 크게 나오지만 잡음 신호의 경우 진폭의 분포가 가우시안 분포를 따르기 때문에 낮은 값이 나오게 된다. 이를 통해 임계 값을 설정하여 잡음 신호와 단일 반송파 선형 변조 신호를 분류할 수 있다.

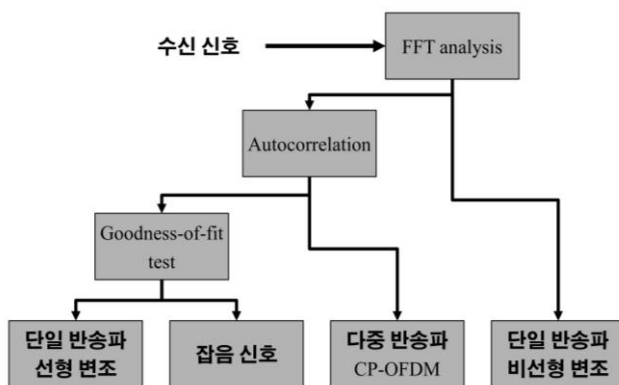


그림 1 제안된 알고리즘 분류 순서도

그림 1은 제안된 방식을 이용하여 구성한 계층적 알고리즘 분류 순서도를 나타낸다. FFT 분석을 이용하여 단일 반송파 비선형 변조 신호를 먼저 분류하고 자기상관 함수를 이용하여 CP-OFDM 신호를 분류한 뒤, 마지막으로 goodness-of-fit test를 이용하여 단일 반송파 선형 변조 신호와 잡음 신호를 분류한다.

#### IV. 모의 실험 및 성능 분석

그림 2는 본 논문에서 제안한 단일 반송파 선형 변조 신호, 단일 반송파 비선형 변조 신호, CP-OFDM 신호와

잡음 신호를 분류하는 알고리즘의 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)에 따른 분류 성능을 나타낸다. 성능 분석에 사용된 신호 모델은 모두 3.84Mbps의 전송률을 가지며 단일 반송파 선형 변조 신호의 경우 16-QAM, 64-QAM, 4-PSK, 8-PSK 중에서 랜덤으로 선택되고 단일 반송파 비선형 변조 신호의 경우 2-FSK, 4-FSK, 8-FSK 중에서 랜덤으로 선택되어 전송되었다. CP-OFDM의 심볼 매핑 방식 또한 16-QAM, 64-QAM, 4-PSK, 8-PSK 중에서 선택되어 전송되었다.

제안된 분류 알고리즘의 성능은 0dB에서 90%이상의 분류 성능을 갖는 것을 확인하였으며 단일 반송파 비선형 변조 신호, CP-OFDM, 단일 반송파 선형 변조 신호 순으로 분류 정확도가 높은 것을 확인하였다.

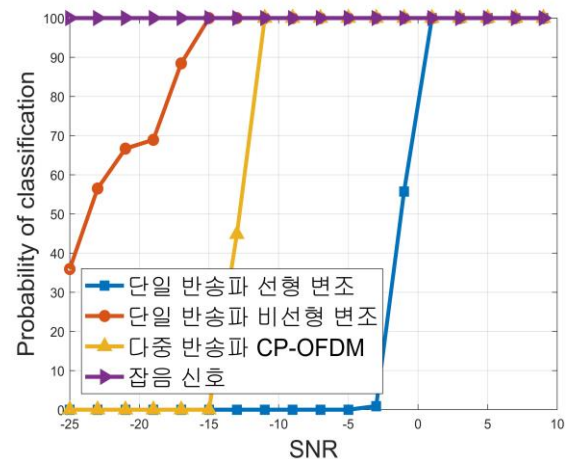


그림 2 제안된 알고리즘 분류 성능

#### V. 결론

본 논문에서는 비협력 통신 상황에서 수신 신호만을 이용하여 단일 반송파 선형 변조 신호, 단일 반송파 비선형 변조 신호, CP-OFDM 신호와 잡음 신호가 수신되었을 때 신호에 적용된 변조 방식을 분류하는 계층적 알고리즘을 제안하고 성능을 분석하였다. 제안한 알고리즘은 FFT 분석, 자기 상관 함수, goodness-of-fit test로 총 3개의 알고리즘으로 구성되어 있으며 약 0dB에서 90%의 분류 성능을 갖는 것을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Z. Yu, Y. Q. Shi and W. Su, "M-ary frequency shift keying signal classification based-on discrete Fourier transform," in *Proc. IEEE MILCOM*, Boston, USA Oct. 2003.
- [2] A. Punchihewa, V. K. Bhargava and Charles Despins, "Blind Estimation of OFDM Parameters in Cognitive Radio Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 3, pp. 733-738, Mar. 2011.
- [3] H. Li, Y. B. Ness, A. Abdi, O. S. Somekh and Wei Su, "OFDM Modulation Classification and Parameters Extraction," in *Proc. IEEE CROWNCOM*, Mykonos, Greece, Jun. 2006.