

레터논문 (Letter Paper)

방송공학회논문지 제19권 제6호, 2014년 11월 (JBE Vol. 19, No. 6, November 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.6.967>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

M-FSK 변조 신호 분류를 위한 효율적인 진폭 스펙트럼의 첨두 검출 방법

안 우 현^{a)}, 서 보 석^{b)‡}

An Efficient Peak Detection Algorithm in Magnitude Spectrum for M-FSK Signal Classification

Woo-Hyun Ahn^{a)} and Bo-Seok Seo^{b)‡}

요 약

이 논문에서는 M-FSK(frequency shift keying) 변조신호를 자동으로 분류하는데 필요한 효율적인 첨두 검출 방법을 제안하였다. 다른 디지털 변조신호와 FSK 신호는 진폭 스펙트럼의 특성을 이용하여 분류할 수 있다. FSK 신호의 진폭 스펙트럼은 다른 디지털 변조신호와 다르게 변조차수와 동일한 수의 첨두를 나타낸다. 일반적으로 신호의 첨두를 검출하기 위해서는 임계치가 필요한데, 변조인식과 같이 사전에 신호에 대한 정보가 없는 경우 임계치를 정하기 어려운 점이 있다. 이 논문에서는 진폭 스펙트럼의 히스토그램을 이용하여 자동으로 간단하게 임계치를 결정하는 방법을 제시하였다. 모의실험 결과 적은 수의 표본과 잡음이 많은 환경에서도 매우 우수한 분류확률을 나타내었다.

Abstract

An efficient peak detection algorithm in magnitude spectrum is proposed to distinguish the M-frequency shift keying(FSK) signals from other digitally modulated signal. In addition, recognition of the modulation order estimation of FSK signals is also studied based on the fact that the magnitude spectrum of FSK signals reveals the number of peaks equal to the modulation order. When no a priori information about the signals, we utilize the histogram of the magnitude spectrum to determine the threshold which is important factor in peak detection algorithm. The simulation results show high probability of classification under 500 symbols and signal-to-noise ratio(SNR) higher than 4dB.

Keyword : peak detection, spectrum histogram, M-FSK signal classification

a) 충북대학교 전자공학과 (Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University)

b) 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소, 전자공학과 (Department of Electronics Engineering, Research Institute for Computer and Information Communication, Chungbuk National University)

‡ Corresponding Author : 서보석(Bo-Seok Seo)

E-mail: bouseok@cbnu.ac.kr

Tel: +82-70-8267-3267

※ 이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

· Manuscript received August 21, 2014 Revised October 20, 2014 Accepted October 20, 2014

I. 서론

침투 검출 알고리즘은 지구 물리학(geophysics), 천체물리학(astrophysics), 무선통신 공학과 같은 다양한 분야^{[1][2]}에서 이용되고 있다. 특히 이 논문에서는 무선통신 공학의 한 분야인 변조인식을 위한 침투 검출 알고리즘을 중점적으로 다루었다. 변조인식^{[3][4]}이란 신호에 대한 사전 정보 없이 수신신호의 변조방식과 파라미터를 추정하는 기술로 전자전, 신호 및 간섭 식별, SDR(software defined radio)^[5], 무선인지(cognitive radio)^[6] 등에 적용할 수 있다. 변조인식 방법은 대상이 되는 변조신호의 종류와 개수에 따라 다르기 때문에 정형화된 방법이 존재하지 않는다. 한 예로 진폭 스펙트럼(magnitude spectrum)에서 나타나는 침투의 개수로 M진 주파수편이변조(M-ary frequency shift keying: M-FSK) 신호와 비FSK 신호를 효과적으로 분류할 수 있다. 논문^[7]에서는 M-FSK 신호의 진폭 스펙트럼이 등간격으로 변조차수와 동일한 수의 침투를 나타내는 성질을 이용하였다. 실험 결과는 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio: SNR)가 0 dB 이상인 경우에 $M=32$ 까지의 M-FSK 신호에 대해 100%에 가까운 분류 확률을 나타내었다. 하지만 알고리즘의 성능에 중요한 영향을 미치는 임계치에 대한 충분한 정보가 제시되지 않았다. 논문^[8]에서는 M-FSK 신호가 나타내는 순환 정상성을 이용한 통계적 검증 방법을 이용하였다. Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 SNR=0dB 일 때 $M=8$ 까지의 FSK 신호에 대해 87% 이상의 분류 확률을 나타내었다. 하지만 통계적 검증을 위한 계산과정이 복잡하다는 단점이 있다.

이 논문에서는 간단하면서도 효율적인 방법으로 진폭스펙트럼을 이용하여 FSK 신호와 비FSK 신호를 분류하고, M-FSK 신호의 변조차수를 인식하기 위한 방법을 제시하였다. 대상으로 하는 변조방식은 $M=8$ 까지의 M-FSK 신호와 3 종류의 비FSK 신호 MSK(minimum shift keying), QPSK(quadrature phase shift keying), 16-QAM(quadrature amplitude modulation)를 합하여 모두 6가지이다. 간단한 침투 검출 과정을 위해 제안한 침투 검출 알고리즘을 크게 임계치 결정 단계, 국부 최대값 검출 단계, 등간격으로 위치한 표본 선택 단계 등의 3 단계로 처리한다. 알고리즘에 사용된 중요한 인자인 임계치는 진폭 스펙트럼의 분포를

나타내는 히스토그램을 이용하여 설정하였다.

II. 신호 모델

신호분류에 사용하는 신호는 과표본화(over sampling)한 기저대역 수신신호로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(n) \equiv x(t)|_{t=nT_s} \tag{1}$$

여기서 $x(t)$ 는 기저대역으로 복조한 통과대역 신호의 등가 복소 포락선 신호(equivalent complex envelope signal)를 나타낸다. T_s 는 표본화 간격을 나타내는 것으로 심볼길이 T_{sym} 에 비해 매우 작게 설정한다. 일반적으로 변조인식에서는 과표본화율(T_{sym}/T_s 로 정의함)이 4 이상이 되도록 과표본화한 신호를 사용한다^[3]. 표본화한 $x(n)$ 의 전력은 1로 정규화 한다.

신호 $x(n)$ 의 진폭 스펙트럼은 다음과 같이 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform: DFT)의 크기로 정의한다.

$$M_x(f_k) \equiv |DFT\{x(n)\}|_{normalize} \tag{2}$$

여기서 f_k 는 주파수 구간을 $[-0.5, +0.5]$ 로 정규화 했을 때 k 번째 주파수를 나타내는 것으로 DFT를 취하는 표본수를 N 이라 할 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_k = \frac{k}{N} \tag{3}$$

$|\cdot|_{normalize}$ 는 최대 침투치의 값으로 정규화한 것을 나타낸다.

M-FSK 신호의 진폭 스펙트럼은 PSK, QAM 등 다른 디지털 변조신호와 다르게 편이 주파수를 중심으로 침투 형태의 모양을 나타낸다^[6]. 따라서 이 특성을 이용하면 FSK 신호를 비FSK 신호와 구별하고 또 침투의 개수를 추정하여 FSK 신호의 변조차수도 추정할 수 있다. 그러나 침투 부근에는 잔 침투가 많이 나타나 구별하기 어려운 경우가 발생할 수 있다. 따라서 적절하게 침투를 검출할 수 있는 방법이 필요하다.

III. 제안한 M-FSK 분류 알고리즘

신호의 진폭 스펙트럼에서 침투를 구별하기 위해서는 임계치의 설정이 중요하다. 특히 변조인식에서는 신호의 변조 방식에 대한 사전 정보가 없는 상황이므로 임계치는 수신 신호로부터 구해야 한다.

먼저 예를 들어 설명하기로 한다. 그림 2는 4-FSK 신호의 정규화된 진폭 스펙트럼으로 구한 히스토그램이다. 그림의 왼쪽에서 가우시안 형태로 나타나는 부분은 잡음의 진폭 스펙트럼에 해당하고, 오른쪽에 있는 부분은 진폭 스펙트럼의 침투에 해당한다. 다른 관점에서 히스토그램의 세로축 값은 가로축 크기의 진폭 스펙트럼이 나타날 확률로 볼 수도 있다. 한편 변조신호에 의한 침투의 경우 불과 수개의 표본만 높은 값을 가진다. 따라서 상위 P% 내에 있는 스펙트럼의 진폭을 임계치로 설정하면 변조신호에 의한 침투를 검출할 수 있다. 확률의 임계치 P는 비교적 SNR이 낮은 조건에서 실험적으로 구하며, 이렇게 결정하면 SNR이 높은 영역에서는 침투를 더 잘 검출할 수 있다. 그림 2에서 예를 든 임계치를 기준으로 왼쪽의 히스토그램 면적은 163.4, 오른쪽 히스토그램의 면적은 0.8이다. 따라서 그림의 임계치 예는 진폭 스펙트럼이 상위 $0.8/(163.4+0.8) \times 100=0.48\%$ 에 있는 경우 침투로 고려하겠다는 것을 의미한다.

제안한 침투 검출 알고리즘은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 수신 신호의 진폭 스펙트럼을 구하고 최대 진폭이 1이 되도록 정규화 한다.
- (2) 히스토그램을 이용해서 상위 P% 이내에 포함된 진폭 스펙트럼을 검출하기 위한 임계치를 설정한다.
- (3) 일정 길이의 창을 이동 시키면서, 창 내에서 최댓값을 찾는다. 이때 창의 길이는 침투 간격보다 작아야 한다.
- (4) 위 과정에서 검출된 모든 침투에 대해 그 간격을 계산하고, 중간 값을 침투 간격으로 선택한다.
- (5) 비FSK 신호는 FSK 신호 보다 침투 간격이 매우 작기 때문에 침투 간격이 임계치 F_d 보다 작으면 비FSK 신호로 분류하고 침투 결정 단계를 종료한다. 침투 간격이 임계치 F_d 보다 크면 M-FSK 신호로 분류하고 다음 단계를 진행한다. 임계치 F_d 는 알고

리즘을 적용하기 위한 최소 심볼율을 1 ksymbol/s로 가정했을 때, 500Hz에 해당하는 값으로 설정하였다.

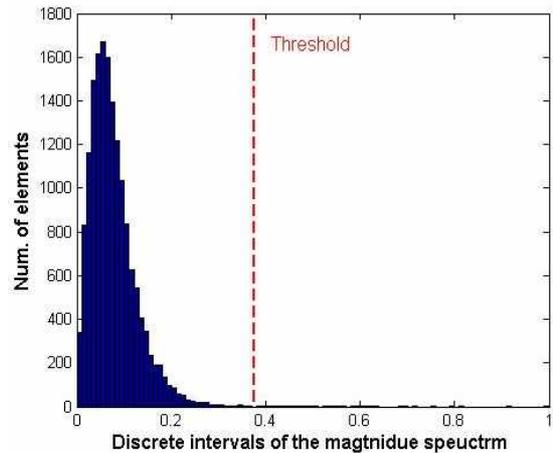


그림 2. 4-FSK 신호의 히스토그램과 예를 든 임계치
 Fig. 2. Histogram of magnitude spectrum of 4-FSK signal and threshold

- (6) 검출된 침투의 개수가 2개면 2-FSK로 분류하고 침투 결정 단계를 종료한다.
- (7) 계산한 침투 간격과 다른 간격으로 위치한 침투를 제외한다.
- (8) 침투 개수에 따라 3개 또는 4개면 4-FSK, 6개에서 8개 사이면 8-FSK로 분류한다.

V. 모의실험 결과

모의실험에 사용한 신호의 과표본화율은 16으로 설정하였다. FSK 신호와 비FSK 신호를 분류하기 위한 침투 간격의 임계치 F_d 와 창 길이는 실험을 통해 각각 517표본과 100표본으로 설정하였다. 성능을 확인하기 위해 각 변조 방식에 대해 300번씩 모두 1800번의 변조인식을 수행하고 평균을 취하여 평균 분류확률(average probability of correct classification)을 구하였다.

그림 3은 임계치를 설정하는 실험으로, SNR=5dB 에서 사용한 심볼수가 1000개 일 때의 8-FSK 신호를 대상으로 하였다. 상위 진폭 스펙트럼의 확률이 P=0.15~0.19% 일때 8-FSK 신호의 분류확률이 1이 됨을 확인할 수 있다. 따라

서 상위 진폭 스펙트럼의 확률이 0.17% 일 때의 진폭 스펙트럼인 0.5를 임계치로 설정하였다.

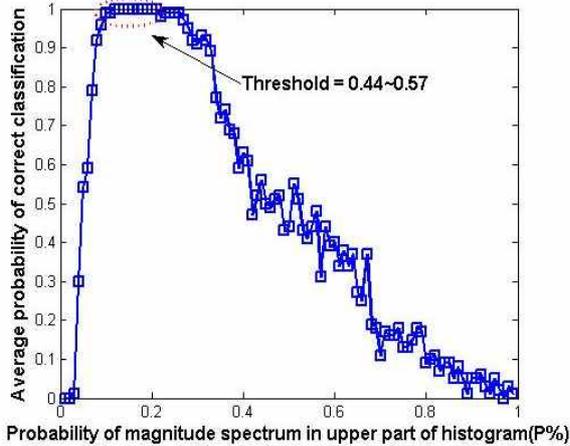


그림 3. 진폭 스펙트럼의 확률에 따른 제안한 첨두 검출 알고리즘의 성능
 Fig. 3. Performance of the proposed peak detection algorithm with probability of magnitude spectrum

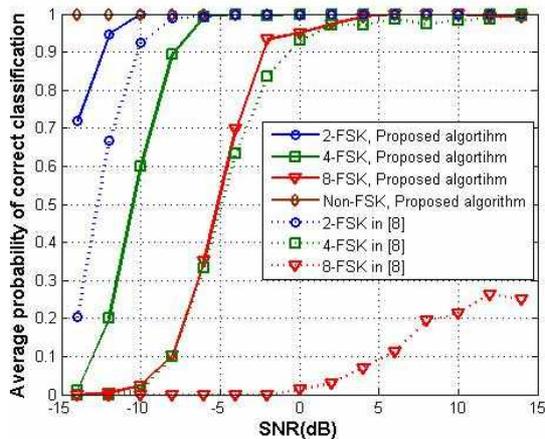


그림 4. 첨두 검출 알고리즘의 비교
 Fig. 4. Comparison of peak detection algorithm with 500 symbols

그림 4는 8-FSK 신호에 대해 비교 논문^[9]의 방법과 제안한 첨두 검출 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 2-FSK 신호의 경우 제안한 방법과 [9]의 방법은 각각 SNR=-10dB와 -5dB에서 1에 근접하는 성능을 나타내었다. 또한 4-FSK 신호의 경우 SNR=-5dB와 15dB에서 각각 1에 근접하는 성능을 나타내었다. 특히 8-FSK 신호의 경우 제안한 방법은

SNR=8dB에서 분류성능이 1에 근접하였지만 [9]의 방법은 그 이상의 SNR에서도 분류성능이 최대 0.25에 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결론

이 논문에서는 진폭 스펙트럼에 대해 확률밀도함수와 유사한 히스토그램을 이용해서 FSK 신호와 비FSK 신호를 분류하고, M-FSK 신호의 변조차수를 추정하는 방법을 제시하였다. 모의실험 결과를 통해 제시한 방법은 기존의 이동창 평균방법(moving average)을 이용하여 임계치를 설정하는 방법과 비교하여 계산량의 정도가 유사하면서도 더 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

참고 문헌 (References)

- [1] F. Scholkmann, J. Boss, and M. Wolf, "An Efficient Algorithm for Automatic Peak Detection in Noisy Periodic and Quasi-Periodic Signals", *Algorithms*, vol. 5, pp. 588-603, 2012.
- [2] G. Palshikar, "Simple algorithms for peak detection in time-series", *In Proceedings of 1st IIMA International Conference on Advanced Data Analysis, Business Analytics and Intelligence*, 2009.
- [3] O. A. Dobre and R. Inkol, "Blind signal identification: Achievements, trends, and challenges", *Communications (COMM), 9th International Conference on*, pp. 349-352, 2012.
- [4] A. Hazza, M. Shoaib, S.A. Alshebeili, A. FAHAD, "An overview of feature-based methods for digital modulation classification", *Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), 1st International Conference on*, pp. 1-6, 2013.
- [5] T. Ulversoy, "Software Defined Radio: Challenges and Opportunities", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, pp. 531-550, 2010.
- [6] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications", *in Proc. of the IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, pp. 201-220, 2005.
- [7] Z. Yu, Y. Q. Shi, and W. Su, "M-ary frequency shift keying signal classification based-on discrete Fourier transform", *in IEEE Military Communications Conference. MILCOM '03.*, vol. 2, pp. 1167-1172, 2003.
- [8] W. Hongfei, O. A. Dobre, L. Cheng, and R. Inkol, "M-FSK signal recognition in fading channels for cognitive radio", *in IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, pp. 375-378, 2012.
- [9] W.H. Ahn, S.P. Nah, and B.S. Seo, "Digitally Modulated Signal Classification based on Higher Order Statistics of Cyclostationary Process", *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 19, pp. 195-204, 2014.