

# 잡음 환경하에서의 CW신호 검출 및 판독을 위한 효율적인 알고리즘 연구

김효원\*, 이규하\*, 방극준\*, 주판유\*\*, 함영권\*\*, 홍대식\*, 윤대회\*  
\*연세대학교 전기컴퓨터공학과, \*\*한국 전자통신 연구원

## A Study on Efficient Algorithm for CW Signal Detection and Determination in Noisy Environment

Hyo-Won Kim\*, Kyu-Ha Yi\*, Keuk-Joon Bang\*, Pan-Yuh Joo\*\*,  
Young-Kwon Ham\*\*, Dae-Sik Hong\*, Dae-Hee Youn\*

\*Department of Electrical Computer Engineering, Yonsei University, \*\*ETRI

\* 본 연구는 전자통신연구원 1999년도 수탁과제 연구지원비에 의해 이루어졌습니다. \*

### 요 약

본 논문에서는 수신된 CW 신호로부터 Morse 코드를 자동 인식하는 알고리즘을 제안하였다. 전체 알고리즘은 수신된 CW 신호로부터 잡음 및 간섭신호 성분을 제거하고 신호의 존재유무를 판정하는 부분, 신호 길이의 변화를 극복하여 Morse 코드의 요소(Long, Short, Null set)로부터 코드로 판독하는 부분으로 구성되었다.

제안된 알고리즘은 CW 신호의 주파수, 위상 및 길이 정보가 필요 없으며, 모의 실험 결과, SNR -15dB, 20%의 신호 길이 변화 환경에서도 100%의 해석률을 나타내었다.

### I. 서 론

전자 산업의 발전과 더불어 통신은 전자 산업의 중요한 부분이 되었다. 전자 통신 분야에는 크게 무선 통신과 유선 통신으로 나눌 수 있는데, 무선 통신에서 CW (Continuous Wave) 통신은 선박통신이나 아마추어 무선 햄 등 현재까지 중요한 역할을 담당하고 있다.

CW 통신은 전송하려고 하는 정보를 Morse 부호 (Long, Short, Null)로 코딩하고 이로부터 캐리어 주파수를 온-오프(On-Off)하여 발생시킨 '1' 또는 '0'의 정보를 단파대의 신호로 변조한 후 전송한다. 일반적으로 CW 신호에 쓰이는 단파신호는 멀리까지 전송이 가능하여

많은 응용분야에 널리 이용되고 있다.

CW은 채널 특성 때문에 잡음이 섞이게 되고, 페이딩 현상도 일어나며 상호간의 간섭 등 여러 가지 문제가 발생한다. 이러한 환경하에서 수신된 신호로부터 정보를 정확히 획득하기 위하여는 숙련된 OM (Old Man)이 필요하다. 이러한 요구에 비추어 현재 CW 신호로부터 Morse 코드를 인식하는 프로그램의 개발에 대해 국내에서는 미약한 실정이나, 국외의 경우 많은 software들이 개발되어 있다. 하지만 그 중에서도 성능이 우수한 것은 소수에 불과한 실정이다.

이러한 필요에 따라 본 논문에서는 수신된 CW 신호로부터 Morse 코드를 자동으로 인식하는 알고리즘을 제안하였다. 특히, CW 수신신호에 포함되어 있는 정현파의 크기, 위상, 지속시간을 정확히 모르고 주파수가 시간에 따라 변하며, gaussian 잡음 환경이라는 가정하에서 알고리즘을 연구하였다.

### II. CW 신호 검출 알고리즘

#### 1. Quadrature 정합 검출기

잡음 환경 속에서 CW 신호를 검출하기 위한 문제는 정현파 버어스트 신호를 검출하는 문제와 동일하다. 정현파 버어스트 신호를 검출할 때, 정현파의 주파수( $f_c$ ), 지속시간, 위상( $\theta$ ), 크기( $A$ )를 알면 된다. 정현파의 크

기, 주파수는 측정에 의하여 알 수 있으나, 위상은 알 수 없다. 위상에 대해  $(0, 2\pi)$ 에서 균일하게 분포되어 있는 랜덤변수라고 가정하고, 전송 채널에서 더해져진 잡음의 평균값이 0, 전력이  $\sigma_g^2$ 로 주어지는 백색 가우시안 잡음을  $g(n)$ 이라 하면 전송신호  $H_1, H_0$ 에 대해 식(1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_1: x(n) = A \sin(2\pi f_c n / f_s + \theta) + g(n) \quad (1)$$

$$H_0: x(n) = g(n) \quad (2)$$

여기서 수신된 신호로부터 전송신호를 판단하기 위한 최적의 알고리즘은 수신 신호가 가장 근사하게 판단되는 likelihood ratio를 임계값(threshold)  $\lambda_0$ 와 비교하는 다음식(3)과 같으며 이러한 수신기를 최적 수신기라 한다[1].

$$\lambda_T(\theta) = \frac{p_1(x_0, x_2, \dots, x_{N-1})}{p_0(x_0, x_2, \dots, x_{N-1})} \geq \lambda_0 \quad (3)$$

여기서  $H_0$ 와  $H_1$ 에 대한 관계식을 이용하여 likelihood 함수를 정리하면, 다음과 같은 식을 얻는다 [2].

$$\lambda_T = \exp\left(-\frac{A^2 N}{4\sigma_g^2}\right) I_0\left(\frac{Aq}{\sigma_g}\right) \quad (4)$$

윗 식에서  $I_0(x)$ 는 modified Bessel 함수로서  $q$ 에 대하여 단조 증가의 성질을 가진다. 그러므로 정현파의 크기, 지속시간, 잡음 전력 밀도를 알고 있다면 판별식은  $q$ 나  $q^2$ 로 나타낼 수 있다.

한편, 식(3)을 정리하면  $q^2$ 는 다음과 같이 얻는다.

$$q^2 = \left[ \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin(2\pi f_c n / f_s) \right]^2 + \left[ \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos(2\pi f_c n / f_s) \right]^2 \quad (5)$$

식(5)은 최적 수신기에서 랜덤변수  $q^2$ 를 얻기 위한 식이다. 이 식을 도식적으로 표현하면 그림1과 같고 이러한 구조를 Quadrature 정합 수신기라고 한다[2].

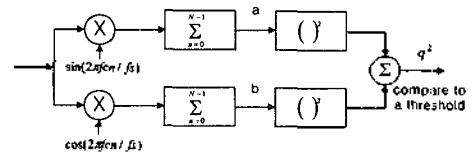


그림 1. Quadrature 정합 수신기

## 2. DFT를 이용한 정현파 검출

DFT를 이용한 정현파 검출 방법은 샘플링 된 신호  $x_n$ 의 임의의 구간을 DFT하여 각 주파수  $(2\pi/N)$ 마다의 전력을 계산하여 최대 전력으로 나타나는 주파수의 전력과 Neyman-Pearson criteria를 이용하여 구한 임계값  $z$ 와 비교하여 정현파의 존재 유무를 판별하게 된다.

위의 그림 1의 quadrature 정합 수신기를 통과한 출력은  $a^2 + b^2 = q^2$ 이다. 이 출력값은 입력 잡음이 Gaussian분포를 갖기 때문에, 또한 Gaussian 분포를 갖는다.

$H_0$ 인 경우에 대한  $q$ 의 pdf는

$$p_0(q) = \frac{q}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{q^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

이고, 여기에서  $\sigma^2$ 의 값을 안다면 Neyman-Pearson criteria를 사용하여 임계식을 구할 수 있다. 그러나 일반적으로  $\sigma^2$ 은 모르므로 잡음만 있는  $H_0$ 인 경우에서  $I_p$ 의 분산을 측정하면 다음과 같다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{2(N/2)} \sum_{p=1}^{N/2} I_p(\omega) \quad (7)$$

이 결과를 이용하면, 다음과 같은 판별식을 얻을 수 있다.

$$I = \frac{\max [I_p(\omega)]}{\left\{ \frac{1}{2(N/2)} \sum_{p=1}^{N/2} I_p(\omega) \right\}} \begin{matrix} H_1 \\ > \\ < \\ H_0 \end{matrix} z \quad (8)$$

그러나 수신된 정현파 신호의 주파수가 DFT bin 사이의 주파수라면, 즉  $\omega$ 가  $2\pi p/N$ 와  $2\pi(p+1)/N$  사이에 정현파의 주파수가 위치해 있다면  $2\pi p/N$ 와  $2\pi(p+1)/N$ 의  $I_p(\omega)$  값은 같기 때문에 이 때의 판별식  $I$ 은 임계값  $z$ 보다 클 수 없다.

이러한 난점을 해결하기 위하여 식 (8)의 잡음의 분산을 측정한 분모항에서  $I_p(\omega)$ 의 최대 전력과 이웃한 성

분의 전력(잡음 전력)을 제외시켜야 한다. 이러한 방법을 deleted bin DFT 검출 방법이라고 한다[3]. 그러면 새로운 판별식을 다음과 같이 얻는다.

$$m = \frac{\max[I_p(\omega)]}{\left\{ \frac{1}{2(N/2-3)} \sum_{p=1}^{N/2} I_p(\omega) \right\}} \begin{matrix} H1 \\ > \\ < \\ H0 \end{matrix} z \quad (9)$$

( $p = p_m - 1, p_m, p_m + 1$ )

( $p_m$ 은  $I_p(\omega)$  중 최대 전력을 나타내는 주파수 성분)

Neyman-Pearson criteria를 사용하여 임계값은 고정된  $P_{fa}$ 에 대해 식(6)을 이용하여 정의한다.

한편 Quadrature 정합 검출기의 출력값( $q^2$ )과 식(9)에서 구한  $\max[I_p(\omega)]$ 값은 식(10)에서와 같이 같은 값을 갖는다.

$$\begin{aligned} |X(p)|^2 &= \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-2\pi j n p / N} \right|^2 \\ &= \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-2\pi j n p / F_s} \right|^2 \\ &= \left( \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin(2\pi f_c n / F_s) \right)^2 \\ &\quad + \left( \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos(2\pi f_c n / F_s) \right)^2 \\ &= q^2 \end{aligned} \quad (10)$$

결국 두 값 모두 정현파 주파수  $f_c$ 에서의 에너지를 나타내는 것이므로 같은 값을 갖는 것이다. 이를 이용하면, Quadrature 정합 검출부분과 정현파 DFT 부분을 하나로 합칠 수 있어 시스템을 간단하게 구성할 수 있다.

### III. 수신 신호 검출 과정

앞에서 설명한 CW신호 검출 알고리즘을 이용하여 수신된 신호의 검출과정은 다음과 같다.

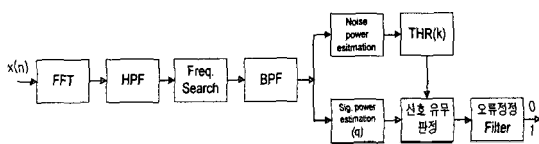


그림 2. 수신된 신호 검출 과정

수신된 CW신호는 그림 3에서와 같이 DC 성분 및 저주파 잡음이 크게 존재한다.

이는 정현파 버어스트 신호의 유무를 찾는데 있어서 큰 영향을 주므로, 이러한 잡음들을 제거하는 전처리 과정이 필요하다. 여기에서는 FFT과정을 통해 주파수 영역에서 저주파 성분을 제거한 후  $f_c$ 를 검색한다.

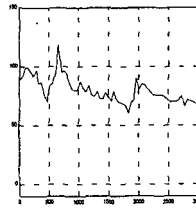


그림 3. spectrum

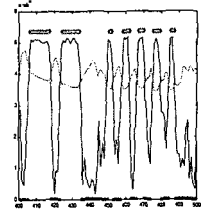


그림 4. 검출 결과

이렇게 측정된 주파수를 이용하여 입력 신호에 대해 band-pass 필터를 통과한 후, 2-2절에서 설명한 방법을 이용하여 신호 유무 판정과정을 거치면서 CW 입력 신호는 on/off의 이진 신호로 변환된다. '0' 또는 '1'로 결정된 신호는 뒷단의 오류정정 filtering부분에서 버어스트 noise 및 fading 현상으로 왜곡된 판정을 정정하게 된다. 여기에서 FFT block size에 대한 결정은 오류정정 filtering 부분과 버어스트 noise 및 fading현상을 고려하여 모르스 부호의 판정의 기준이 되는 'dot'의 길이 4~10 블럭 정도로 하였다.

### IV. CW 신호 인식 알고리즘

Morse code는 정보를 전달하는 데 있어서 간단하지만, 유용한 도구중 하나이다. 즉, 스위치를 누른 상태의 길이 'dash' ('-')와 'dot' ('·')를 조합하여 모든 문자와 숫자를 나타낼 수 있다. (예를 들어, 'A'는 '·-'로, 'B'는 '-···'으로 코드화 된다.)

표준화 된 'dot'와 'dash'의 길이 비는 3이다. 또한 스위치를 누르지 않은 상태에서 'dot'와 'dash', 'dot'와 'dot' 또는 'dash'와 'dash' 사이의 간격, 즉, 문자 내에서 'dot'와 'dash'의 구분을 위한 간격을 'disc1'이라 하고 그 길이 또한 'dot'의 길이와 같다고 본다. 그리고 문자와 문자 사이에는 'dot'길이의 3배에 해당하는 문자간격을 두며 이를 'disc2'라 한다. 마지막으로 단어와 단어의 구분은 'dot'길이의 7배에 해당하는 상태를 두며 이를 'disc3'라 한다[4][5].

하지만, 사람이 보내는 모르스 부호는 아무리 OM이라고 하더라도, 부호간의 길이 비를 표준화된 비와 같게 보낼 수 없고 또한 어느 정도의 길이 변화 또한 생기게 마련이다. 따라서 여기에서는 모르스 부호의 길이 정보 없이 인식할 수 있도록 길이의 통계적인 특성을 이용하여 신호를 판독하는 방법을 사용하였다.

#### 1. Morse 부호 mapping 알고리즘

CW 신호 검출 흐름을 통해 나온 결과는 0의 열과 1의 열이 서로 번갈아 나오는 형태이다. 이 때문에 시작

하는 점이 '0'인지 '1'인지에 대한 정보만 알고 있으면, 연속된 '0'(Null)에 대한 정보와 연속된 '1'(Signal)에 대한 정보로 나누어 생각할 수 있다. 그림 5, 6과 같이 각 그림에서의 peak에 해당하는 점이 각각 'dot', 'dash', 'disc1', 'disc2', 'disc3'이다. 패턴 추정을 위한 임계값은 이들 peak값들의 중간값으로 결정이 된다. 이 임계값을 기준으로 연속된 '1'과 연속된 '0'들을 'dot', 'dash', 'disc1', 'disc2', 'disc3'로 mapping 시킴으로써 모르스 부호로 복호화 되는 것이다.

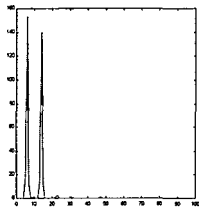


그림 5. '1'의 패턴

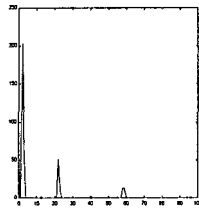


그림 6. '0'의 패턴

여기에서 신호의 길이의 변화가 크고, FFT 블록이 신호구간과 제대로 일치하지 않을 경우, 잘못된 판정을 내리는 경우가 있다. 이 같은 경우를 위해 신호에 대한 정보는 hard decision 방법을 쓰지 않고, 길이 정보에 대한 raw data를 이용하여, euclidian distance 방법을 써서 판정하도록 하면, 여기에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다.

## 2. 코드 인식

코드 인식 과정은 그림 7과 같이 신호의 장단에 따라 raw data 변환과정을 거쳐 코드로 인식된다.

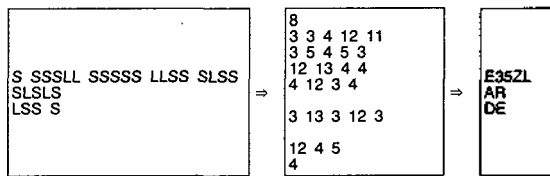


그림 7. 코드 인식 과정

Raw data의 모르스 부호는 모르스 부호 mapping 알고리즘에서 얻은 통계적 특성을 이용하여 생성 및 수정된 코드북에서 euclidian distance가 최소가 되는 코드로 인식된다.

## V. 결과 및 결론

제안한 알고리즘을 적용한 모의 실험 결과, SNR

-15dB, 20%의 신호 길이 변화 환경에서도 100%의 해석률을 나타내었다. 그리고 실제 무선 햄통신 상에서 받은 CW 데이터를 직접 sampling하여 인식시킨 결과에서도 90%이상의 해석률을 보였다.

본 논문에서는 잡음 환경하에서 CW 신호를 검출하고 판독하는 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 CW 신호의 주파수, 위상 및 길이 정보가 필요 없으며 신호의 통계적인 특성을 이용하기 때문에 어느 정도 신호 길이의 변화 환경에서도 적용할 수 있는 장점을 가진다.

앞으로 오류가 발생된 결과에 대해 신뢰도를 적용하여 오류부분을 찾고 정정하는 알고리즘을 보완한다면, 더 좋은 인식률을 보일 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] Anthony D. Whalen, *Detection of Signals in Noise*, Academic Press, 1971.
- [2] Richard O. Neilsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, 1991.
- [3] Lewis Pakula, "Detection Performance of the Circular Correlation Coefficient Receiver", *ASSP* vol.34, no.3, pp.399-404, Jun. 1986.
- [4] Ching-Hsiang Shih, "A morse-code recognition system with LMS and matching algorithms for persons with disabilities", *International Journal of Medical Informatics*, pp.193-202, Mar. 1997.
- [5] Ching-Hsing Luo, "Adaptive Morse-coded single switch communication system for the disabled", *International Journal of Bio-Medical computing* 41, pp. 99-106, Feb. 1996.