

## 2진 정합필터를 이용한 웨이브릿 편이변조 시스템

오형진\* · 정태일\* · 이태오\*\*

\*동명대학교 정보통신대학 정보통신공학과

\*\*동명대학교 정보통신대학 컴퓨터공학과

### Wavelet Shift Keying System using Binary Matching Filter

\*Hyoung-Jin Oh · \*Tae-Il Jeong · \*\*Tae-Oh Lee

\*Dept. of Information & Communication Engineering, Tongmyong University.

\*\*Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University.

Email : [tijeong@tu.ac.kr](mailto:tijeong@tu.ac.kr)

### 요 약

기존의 대표적인 디지털 통신방식으로 주파수 편이 변조(FSK: frequency shift keying), 위상 편이 변조(PSK: phase shift keying), 진폭 편이 변조(ASK: amplitude shift keying) 방식들이 있다. 본 논문에서는 2진 정합필터를 이용하여 웨이브릿 편이변조 신호를 복원하는 알고리즘을 제안한다. 웨이브릿 편이 변조 시스템은 스케일링 함수(scaling function)와 웨이브릿(wavelet)을 이용한다. 스케일링 함수를 1로, 웨이브릿 함수를 0으로 할당하여 2진 데이터를 변조한다. 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에서는 복원을 위해 후처리가 필요하였다. 본 논문에서는 2진정합필터를 이용하여 복원하므로, 별도의 후처리 과정없이 복원을 가능하게 하였다. 모의실험 결과 제안한 알고리즘이 타당함을 확인하였다.

### 키워드

스케일링 함수(scaling function), 웨이브릿(wavelet), 웨이브릿 편이 변조(wavelet shift keying), 정합필터(matching filter)

## I. 서 론

웨이브릿 변환은 음성 신호처리, 영상 신호처리 등 여러 분야 많이 응용되고 있다[1-4]. 웨이브릿 변환은 임의의 입력 신호에 대하여 스케일링 계수와 웨이브릿 계수를 컨벌루션(convolution)함으로써 스케일링 함수와 웨이브릿 함수를 구할 수 있다. 이러한 웨이브릿 변환은 통신 분야에서도 많이 응용되고 있다.[5-7].

기존의 대표적인 통신방식으로 진폭 편이 변조(ASK: amplitude shift keying), 주파수 편이 변조(FSK: frequency shift keying), 위상 편이 변조(PSK: phase shift keying)가 있다[8,9]. 주파수 편이 변조 통신은 동기를 맞추기가 어렵다는 단점이 있다. 그래서 J.Olive 등[10]과 정 등[11]은 웨이브릿을 이용한 변조방식을 제안하였다.

정[11]이 제안한 방식은 저주파 계수(low frequency coefficients)와 고주파 계수(high frequency coefficients)를 이용하여 입력이 1인 신호에 대하여 임펄스 응답을 구하면, 스케일링 함수와 웨이브릿 함수로 나누어진다. 2진 데이터 통신에서 0과 1을 구분하면 되므로, 기존의 주파수 편이 변조와 같은 개념으로서, 스케일링 함수를 1로, 웨이브릿 함수를 0으로 할당하여 2진 데이터를 변조한다. 이 시스템에서는 복원을 위해 변조신호를 증폭하는 후처리 과정이 필요하였다.

본 논문에서는 웨이브릿 편이 변조(WSK: wavelet shift keying) 시스템을 2진 정합필터를 이용하여 후처리 없이 복원하는 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 주파수 편이 변조를 중심으로 살펴보고, 웨이브릿을

소개한다. 3절에서는 제안한 복조 알고리즘을, 4절에서는 모의실험 및 결과, 5절 결론으로 구성되어 있다.

## II. 관련이론

### 2.1 기존의 통신 방식

기존의 대표적인 디지털 통신 방식으로는 진폭 편이 변조, 위상 편이 변조, 주파수 편이 변조가 있다. 진폭 편이 변조는 반송파의 진폭으로서 2진 데이터를 구분하는 방식이다. 즉, 반송파의 진폭이 크면 1, 진폭이 작으면 0을 할당한다. 위상 편이 변조방식은 반송파의 위상으로서 2진 데이터를 구분하여 전송하는 방식이다. 즉, 반송파의 위상을 그대로 전송하면 1, 위상을 반전시켜 전송하면 0을 할당한다.

주파수 편이 변조방식은 2개의 반송파의 주파수로서 2진 데이터를 구분하는 전송하는 방식이다. 즉, 반송파의 주파수가 높으면 1, 주파수가 낮으면 0으로 할당한다.

그림 1은 주파수 편이 변조의 개념을 나타낸다. 여기서 2개의 서로 다른 주파수 즉,  $f_1, f_2$ 가 필요하다.

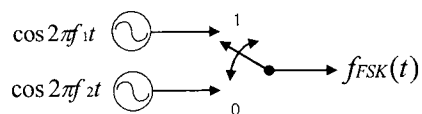


그림 1. 주파수 편이 변조

주파수 편이 변조에 대한 정의 식은 수식 (1)과 같다.

$$f_{FSK}(t) = \begin{cases} s_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \\ s_2(t) = A \cos(2\pi f_2 t) \end{cases}$$

$$0 \leq t \leq T, 1 \text{인 경우, (1)}$$

$$0 \leq t \leq T, 0 \text{인 경우}$$

## 2.2 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)

웨이브릿 변환에서의 기저함수들은 원형 웨이브릿을 편이(translation) 및 확장/수축(dilation)을 시킴으로써 만들어진다. 이에 대한 웨이브릿 기저함수들의 선형결합은

$$\psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (2)$$

이다. 여기서  $\psi(\cdot)$ 는 웨이브릿을 나타내고,  $a$ 는 웨이브릿을 확장/수축시키는 스케일링 변수이고,  $b$ 는 이동을 나타내는 편이변수이다. 어떤 신호  $f(t)$ 에 대한 웨이브릿 변환은

$$Wf(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (3)$$

로 정의된다. 여기서 매개변수  $a, b$ 가 정수일 때 이산 웨이브릿 변환이라고 하였다. 특히  $a=2^m, b=n \cdot 2^n$ 일 때 정규기저직교를 구성할 수 있고, 기저함수는

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{m/2} \psi(2^m t - n) \quad (4)$$

$$\phi_{m,n}(t) = 2^{m/2} \phi(2^m t - n)$$

가 된다.

주어진 스케일링 함수의 평행이동과 척도변환을 이용해 생성한  $\psi_{m,n}(t)$ 에 의해 생성한 벡터공간을  $V_m$ 이라 하면  $\psi_{m,n}(t)$ 는  $V_{m-1}$ 에서  $V_m$ 의 직교 보수 공간(orthogonal complement space)  $W_m$ 의 직교기저를 이룬다.

$$V_{m-1} = V_m \oplus W_m, \quad W_m \perp V_m \quad (5)$$

이때 스케일링 함수  $\phi(t)$ 와 웨이브릿 함수  $\psi(t)$ 는

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \phi(2t-n) \quad (6)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \psi(2t-n) \quad (7)$$

이다. 여기서  $h_0(n)$  및  $h_1(n)$ 는 스케일링 함수 및 웨이브릿의 필터계수(filter coefficients)이다.

### III. 제안한 2진 정합필터 복조 시스템

#### 3.1 기존의 WSK 변조기 알고리즘

변조 알고리즘은 정[11]이 제안한 WSK변조 알고

리즘을 사용하였다. 그림 2에서는 변조에 사용된 스케일링 함수와 웨이브릿 함수를 나타내었다.

변조기 알고리즘은 그림 3과 같다. 2진 입력 데이터는 변조를 조절하는 스케일 당 비트 수로 변환되어진다. 스케일링 함수와 웨이브릿 함수는 발생되어지고 매 스케일된 버전은 스케일링 층(scaling layer)에서 구동되어진다. 즉, X1인 경우, 2진(0,1) 데이터가 변조되고, X2인 경우, 4진(00,01,10,11) 데이터가 변조된다. 여기서 X1, X2, X3 ... XM은 스케일링 요소(scaling factor)를 나타낸다.

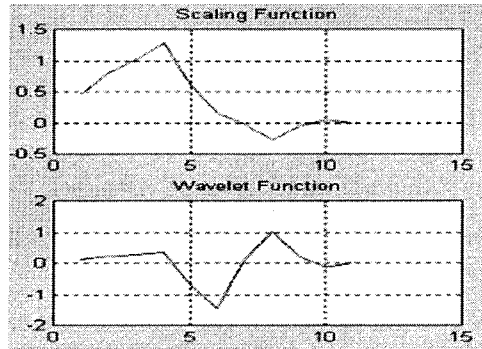


그림 2. 스케일링 함수와 웨이브릿

X1(1비트 스케일)일 때, 입력 데이터가 0이면 비파에 스케일링 함수를 할당하고, 1일 때는 웨이브릿 함수를 할당한다. X2일 때는 4진 데이터 00, 01, 10, 11로 변조가 가능하다. 본 논문에서는 스케일링 요소는 X1, 즉 1비트 스케일(2진)로 가정하였다.

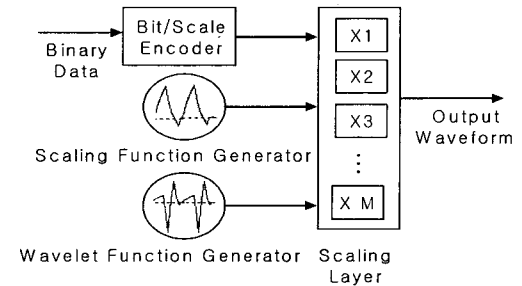


그림3. 기존의 방법의 변조기

#### 3.2 제안한 복조기 알고리즘

기존의 WSK 복조기는 신호의 복원을 위해 수신 신호를 10배 증폭하는 후처리 과정이 필요하였다. 본 논문에서는 2진 정합필터를 이용하여 후처리 과정 없이 WSK신호를 복원하는 시스템을 제안한다.

그림 4에서는 본 논문에서 제안한 2진 정합필터 수신기를 나타내었다.  $S(t)$ 는 정합필터에 입력되는 데이터를 뜻하며  $n(t)$ 는 입력 데이터에 첨가된 백색잡음 신호이다.  $S_1(t)$ 는 데이터가 1인 경우의 파형,  $S_0(t)$ 는 데이터가 0인 경우의 파형을 나타낸다.

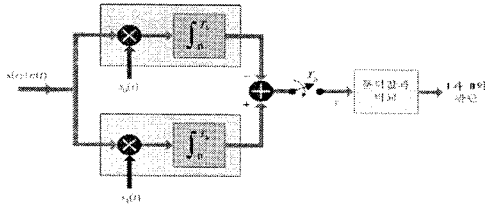


그림 4. 복원에 사용된 2진 정합필터

복원에 사용된 2진 정합필터의 출력과정을 수식으로 나타내면 식(12)와 같다. 입력이  $s_0(t)$ 인 경우,

$$\int_0^{T_b} s_0 s_1 dt - \int_0^{T_b} s_0^2 dt = (s_1 - s_0) s_0 T_b$$

입력이  $s_1(t)$ 인 경우,

$$\int_0^{T_b} s_1^2 dt - \int_0^{T_b} s_1 s_0 dt = (s_1 - s_0) s_1 T_b \quad (12)$$

그림 5는 2진 입력 데이터가 1100101101일 때의 출력파형과 2진 정합필터를 통과한 파형을 나타내었다. 여기서 스케일링 함수와 웨이브릿 함수가 서로 직교하고 이산적이기 때문에 동기를 쉽게 찾을 수 있다.

복원과정은 비동기식으로 구현이 가능하며, 그림 5과 같이 가능한 이유는  $\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt = 1$ 이고,

$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$ 인 웨이브릿 고유의 특징과 표본순간의 신호 대 잡음비를 최대로 하기 위해 파형의 조작에 사용되는 필터인 2진 정합필터를 사용함으로써 후처리 과정없이 웨이브릿 편이 변조 신호의 복원이 가능하였다.

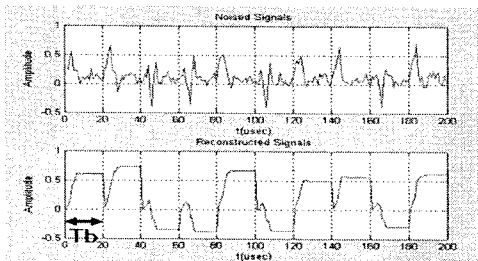


그림 5. 부호화된 신호의 출력파형

수신측에서 원래의 신호를 복원하기 위해서 그림 6과 같은 알고리즘을 사용하였다. 즉, 수신측에서는 전송되어온 정보를 2진 정합필터에 입력한다. 2진 정합필터에 입력받은 데이터가 마지막이 될 때까지 그림 5에서의  $T_b$  주기동안 계수들의 평균값을 구하고, 문턱치(threshold)와 비교하여 문턱치보다 크면 1

로 판단하고, 문턱치보다 작으면 0으로 판단함으로써 원래의 신호를 복원할 수 있다. 이 과정을 입력 받은 데이터의 크기만큼 반복하면 원래의 신호를 복원할 수 있다. 이러한 복조기 과정을 그림 7에 나타내었다.

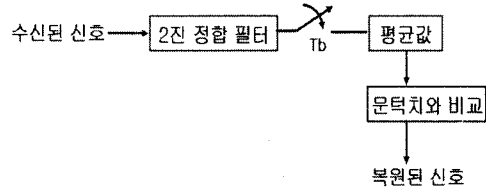


그림 6. 복원 알고리즘

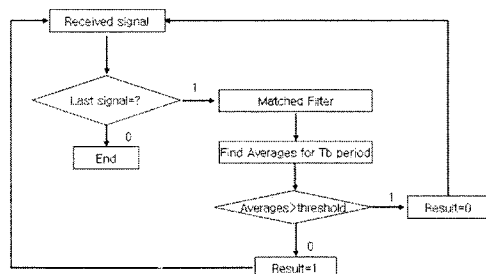


그림 7. 복원 순서도

#### IV. 모의실험 및 결과

본 논문에서 사용한 웨이브릿은 Daubechies 4 탭을 사용하였다. 스케일링 함수와 웨이브릿 함수를 만들기 위하여, 먼저 입력이 1인 신호에 대하여 임펄스 함수를 구한다. 여기서 4개의 탭 계수가 출력된다. 출력된 계수들을 내삽(Interpolation)하면 7개의 탭 수가 되고, 다시 원래의 4 탭과 Convolution 하였다. 논문에 사용된 스케일링 함수와 웨이브릿 함수의 계수(coefficient)의 크기는 10개(M+N-1)를 사용하였다. 여기서 M은 도비치 4 탭이고, N은 내삽된 계수들의 크기이다.

그림 8은 원래신호에 백색잡음(white gaussian noise)을 첨가한 신호를 나타내었다. 이는 통신채널에서 발생할 수 있는 잡음을 고려한 것이다.

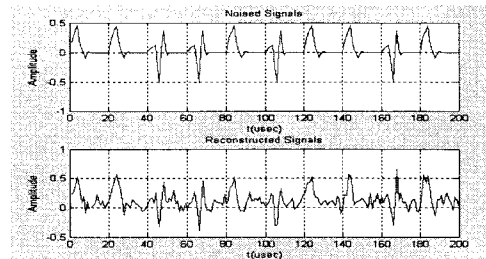


그림 8. 잡이 첨가된 신호

수신측에서 원래의 신호를 복원한 모의실험 결과

를 그림 9에 나타내었다. 여기서 문턱치는 0로 모의 실험 하였다. 그림(필)에서 크기가 0.3으로 표현된 것이 원래의 신호가 0인 경우이다. 이는 그림 9에서 수신된 데이터 계수와 원만한 비교를 위해, x축을 확장하는 과정에서 임의로 생긴 0과 구분하기 위해서이다. 여기서 2진 데이터 1100101101이 복조됨을 알 수 있고, 2진 정합필터의 출력과형으로 잡음에 강인함을 알 수 있다.

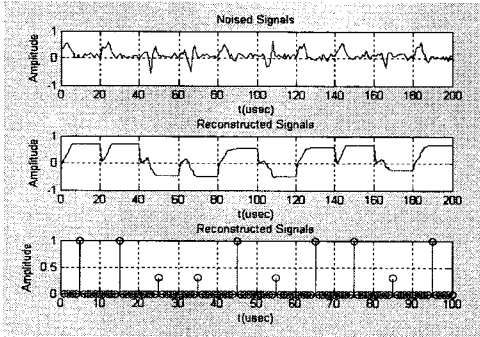
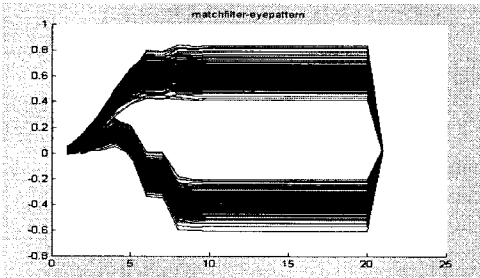
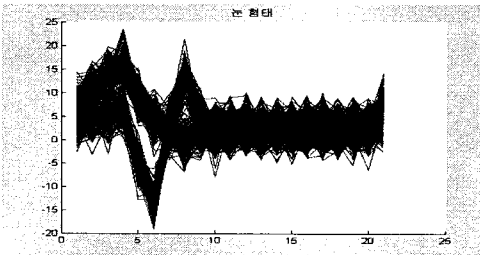


그림 9. 복원된 신호

그림 10은 백색잡음을 첨가한 임의의 신호 500bit에 대한 2진 정합필터의 출력 과형의 눈 형태와 기존 방법의 눈 형태를 나타내었다. 눈 형태에서 본 논문에서 제안한 2진 정합필터의 눈 형태의 눈이 클 수 있고 후처리 과정이 필요 없음을 확인하였다.



(a) 제안한 방법의 눈 형태



(b) 기존 방법의 눈 형태  
그림 10. 눈의 형태

## V. 결론

기존의 대표적인 통신방식으로 ASK, FSK, PSK 통신방식들이 있다. 그래서 J.Olive 등은 웨이브릿을 이용하여 동기를 쉽게 맞출 수 있는 웨이브릿 편이 변조 방법을 제안하였다. J.Olive 등은 기존의 통신 방식에서 반송파 주파수 대신 웨이브릿을 사용하여, 2진 입력에 대하여 위상 편이 변조방식을 사용하였다. 그리고 정은 스케일링 함수와 웨이브릿을 이용한 잡음에 강인한 새로운 웨이브릿 편이 변조시스템을 제안하였다.

본 논문에서는 디지털 통신에서 2진 정합필터를 사용하여 웨이브릿 편이 변조신호를 복원하는 알고리즘을 제안하였다. 문턱치를 0로 설정하여 모의실험 결과 복조과정에서 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에 비해 별도의 후처리 과정을 거치지 않고, 2진 정합필터만으로 원래 신호를 완전하게 복원하였고, 눈 형태 그림에서 눈의 크기로 제안한 알고리즘이 잡음에 강인함을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] M.Vetterli and C.Herley, "Wavelet and Filter Banks: Theory and Design," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 40, no.9, Sept. 1992.
- [2] M. Antonini, M.Barlaud, P.Mathieu, and I.Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 1, no. 2, April 1992.
- [3] T.D Bui and G.Y. Chen, "Translation Invariant Denoising Using Multiwavelets," *IEEE Trans. Signal Proc.* vol. 46, no. 12, pp.3414-3420, 1998.
- [4] C.Sidney, Ramesh A.Gopinath, and Haitao Guo, *Introduction to Wavelet and Wavelet Transforms*, Prentice-Hall, 1998.
- [5] Gregory W. Wornell, "Emerging Applications of Multirate Signal Processing and Wavelet in Digital Communication," *Proc. IEEE*, vol.84, no. 4, pp.586-603, April 1996.
- [6] Fred Daneshgaran and Marina Mondin, "Bandwidth Efficient Modulation with Wavelets," *IEEE Electronics Letters*, vol.30, no. 15, pp.1200-1202, July 1994.
- [7] N.J Fliege, *Multirate Digital Signal Processing*, JOHN WILEY & SONS, 1994.
- [8] 양원영, 조용수, *디지털 통신과 Matlab*, 대영사, 2001.
- [9] 신윤기, *매트랩과 함께하는 통신이론* 인터비전, 2005.
- [10] J.Olive, R.Shantha Selva Kumari, and V.Sadasivam, "Wavelet for Improving Spectral Efficiency in a Digital Communication System," *ICCIMA'05, IEEE*, 2005.
- [11] 정태일, "스케일링 함수와 웨이브릿을 이용한 잡음에 강인한 새로운 웨이브릿 편이 변조시스템", *신호처리 시스템 학회 논문지*, 제 9권, 제 2호, pp.98-103, 2008.