

2 비트 스케일을 갖는 웨이브릿 편이 변조 신호의 복원

김대성* · 김현진* · 정태일* · 이태오**
*동명대학교 정보통신대학 정보통신공학과
**동명대학교 정보통신대학 컴퓨터 공학과

Reconstruction of Wavelet Shift Keying Signal with 2bit Scales

*Dae-sung Kim · *Hyun-Jin Kim · *Tae-Il Jeong · **Tae-Oh Lee
*Dept. of Information & Communication Engineering, Tongmyong University.
*Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University.
Email : 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 디지털 통신에서 비트 전송률을 높이기 위하여 스케일링 함수(scaling function)와 웨이브릿(wavelet)을 이용한 2비트 스케일을 갖는 웨이브릿 편이 변조(WSK: wavelet shift keying)신호의 복원 알고리즘을 제안한다. 변조시 스케일링 함수(scaling function)와 웨이브릿(wavelet) 그리고 이 두 신호를 반전하여 2비트 스케일 즉, 00, 01, 10, 그리고 11로 변조하였다. 복조시에는 변조된 신호를 2개의 2진 정합필터에 통과시켰다. 그리고 정합필터를 거친 파형을 조합하여 4가지 신호를 복원하였다. 모의 실험 결과 제안한 알고리즘이 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에 비해 전송효율이 향상되었음을 알 수 있었다.

키워드

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

1. 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 컨볼루션(convolution)함으로써 스케일링 함수와 웨이브릿 함수를 구할 수 있다. 이러한 웨이브릿 변환은 통신분야에서도 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.

J.Olive 등[10]이 제안한 웨이브릿 편이 변조방식은 기존의 통신방식에서 반송파 주파수(carrier frequency) 대신 웨이브릿을 이용하여 동기를 쉽게 맞출 수 있는 웨이브릿 편이 변조(WSK: wavelet shift keying) 방법을 제안하였다. 이 방법은 2진 데이터가 입력되면 bit/scale 부호기를 거쳐 웨이브릿 변조기로 입력된다. 변조기에서는 0과 1을 구분하기 위하여 웨이브릿을 위상 편이 변조하였다. 즉, 입력 데이터가 0인 경우, 웨이브릿을 그대로 전송하고, 1인 경우 웨이브릿을 180° 위상 반전하여 전송하였다. 특히 정[11] 스케일링 함수와

웨이브릿을 이용한 잡에 강인한 새로운 웨이브릿 편이 변조 시스템을 제안하였다.

본 논문에서는 디지털 통신에서 스케일링 함수(scaling function)와 웨이브릿(wavelet)을 이용한 전송효율을 높인 새로운 2비트 스케일 웨이브릿 편이 변조(WSK: wavelet shift keying) 시스템을 제안한다. 제안한 방법은 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 00으로, 반전 스케일링 함수는 01로 웨이브릿 함수를 10으로 반전 웨이브릿 함수를 11로 할당하여 4진 데이터를 변조한다. 즉, 웨이브릿 편이 변조방식은 2개의 반송파로서 0과 1을 구분하였으나, 제안한 방법은 스케일링 함수와 웨이브릿 함수로 00, 01, 10 그리고 11을 구분하였다. 웨이브릿의 특성상 스케일링 함수의 계수들의 합은 1이고, 웨이브릿 계수들의 합은 0이므로, 잡에 강인하며 보다 높은 전송 효율을 가지는 시스템 구현이 가능하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 웨이브릿 변환과 기존의 WSK 알고리즘을 소개한다. 3절에서는 제안한 알고리즘을, 4절에는 모의실험 및 결과, 5절 결론으로 구성되어 있다.

II. 관련이론

2.1 웨이브릿 변환(wavelet Transform)

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

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

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

$$Wf(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} \psi_{m,n}(t) &= 2^{m/2} \psi(2^m t - n) \\ \phi_{m,n}(t) &= 2^{m/2} \phi(2^m t - n) \end{aligned} \quad (3)$$

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.

$$V_{m-1} = V_m \oplus W_m, \quad W_m \perp V_m \quad (4)$$

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

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \phi(2t-n) \quad (5)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \psi(2t-n) \quad (6)$$

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

2.2 기존의 WSK 알고리즘

기존의 WSK에서는 2개의 반송파 대신 스케일링 함수와 웨이브릿을 사용하며, 그림 1에서처럼 2진 입력에 대하여 1일 때는 버퍼에 스케일링 함수

를 할당하고, 0일 때는 웨이브릿을 할당하며, 이를 수식으로 표현하면 식(7)과 같다.

$$f_{N-WSK}(t) = \begin{cases} s_1(t) = \phi(t) & 0 \leq t \leq T, 1 \text{인 경우} \\ s_2(t) = \psi(t) & 0 \leq t \leq T, 0 \text{인 경우} \end{cases} \quad (7)$$

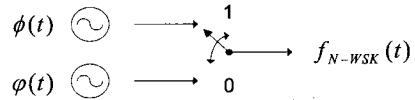


그림 1. 기존의 웨이브릿 편이 변조 알고리즘

WSK의 변조기 블록은 그림 2와 같다. 2진 입력 데이터는 변조를 조절하는 스케일 당 비트 수로 변환되어 진다. 스케일링 함수와 웨이브릿 함수는 발생되어지고 매 스케일된 버전은 스케일링 층(scaling layer)에서 구동되어 진다. 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. X1(1비트 스케일)일 때, 입력 데이터가 0이면 버퍼에 스케일링 함수를 할당하고, 1일 때는 웨이브릿 함수를 할당한다. X2일 때는 4진 데이터 00, 01, 10, 11로 변조가 가능하다. 기존의 방법은 스케일링 요소가 X1, 즉 1비트 스케일(2진)로 가정하였다.

III. 제안한 2비트 스케일 웨이브릿 편이 변조 시스템

3.1 변조기 알고리즘

본 논문에서는 디지털 통신에서 스케일링 함수, 반전 스케일링 함수, 웨이브릿 함수, 그리고 반전 웨이브릿 함수를 이용한 전송효율을 높인 2비트 스케일을 갖는 새로운 웨이브릿 편이 변조 시스템을 제안한다. 제안한 방법은 주파수 편이 변조에서 2개의 반송파 대신, 스케일링 함수와 웨이브릿을 이용한다. 즉, 2진 데이터가 입력될 때, 2bit씩 나누어 00은 스케일링 함수로, 01은 반전 스케일링 함수로, 10은 웨이브릿 함수로, 11은 반전 웨이브릿 함수로 할당한다. 스케일링 함수와 웨이브릿을 생성하는 과정은 다음과 같다. 선형 시불변(LTI: linear time invariant) 시스템에서 두개의 신호 $x(t)$ 과 $h(t)$ 의 출력 $y(t)$ 은 다음과 같다.

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t-\tau) d\tau \quad (8)$$

이다. 여기서 제안한 방법의 스케일링 함수 $\phi(t)$ 와 반전 스케일링 함수 $\phi(t)'$ 는 수식 (9)와 (10)같이 정의한다.

$$\phi(t) = x(t) * h_0(t) \quad (9)$$

$$\phi(t)' = -(x(t) * h_0(t)) \quad (10)$$

여기서 $x(t)$ 은 1이고, $h_0(t)$ 은 스케일 함수의 계수들이다. 또 제안한 방법의 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 와 반전 웨이블릿 함수 $\psi(t)'$ 는 수식 (11)과 (12) 같이 정의한다.

$$\psi(t) = x(t) * h_1(t) \tag{11}$$

$$\psi(t)' = -(x(t) * h_1(t)) \tag{12}$$

여기서 $x(t)$ 은 1이고, $h_1(t)$ 은 웨이블릿 계수들이다.

수식 (9),(10),(11),(12)을 근거로 하여 만든 제안한 방법의 스케일링 함수와 웨이블릿 함수를 그림 2에 나타내었다. 기존의 방법은 스케일링 요소가 X1인 경우를 사용하였지만 제안한 방법의 스케일링 요소는 X2를 사용하여 전송효율을 높였다.

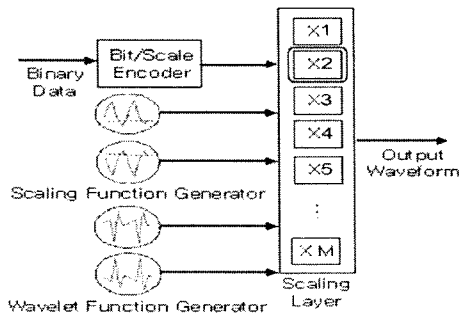


그림 2. 제안한 방법의 변조기

스케일링 계수 및 웨이블릿 계수의 탭수를 많이 사용하면 좀 더 부드러운 스케일링 함수와 웨이블릿을 구할 수 있다. 신호 00, 01, 10 및 11에 대한 파형은 그림 3과 같다.

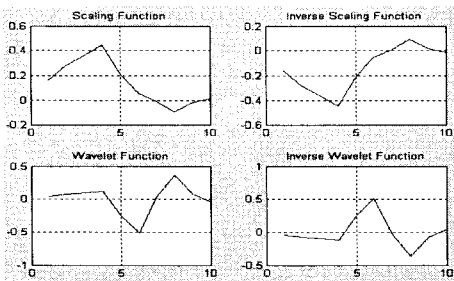


그림 3. 신호 00, 01, 10, 11에 대한 파형

기존의 WSK에서는 2개의 반송파를 사용하였으나, 제안한 방법은 2개의 반송파 대신 스케일링 함수와 웨이블릿, 이 둘의 반전 함수를 사용하며, 그림 4에서처럼 4진 입력에 대하여 00일 때는 버피에 스케일링 함수를 할당, 01일 때는 반전 스케일링 함수를 할당, 10일 때는 웨이블릿 함수를 할당, 11일 때는 반전 웨이블릿을 할당하며, 이를 수식으로 표현하면 식(13)과 같다.

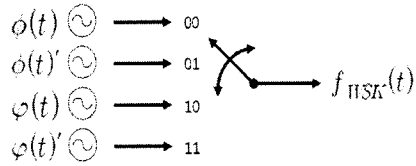


그림 4. 제안한 웨이블릿 편이 변조 알고리즘

$$f_{N-WSK}(t) = \begin{cases} s_{00}(t) = \phi(t) \\ s_{01}(t) = \phi(t)' \\ s_{10}(t) = \psi(t) \\ s_{11}(t) = \psi(t)' \end{cases} \tag{13}$$

$0 \leq t \leq T$, 00인 경우
 $0 \leq t \leq T$, 01인 경우
 $0 \leq t \leq T$, 10인 경우
 $0 \leq t \leq T$, 11인 경우

3.2 복조기 알고리즘

제안한 2비트 스케일 웨이블릿 편이 변조에서 전송되는 데이터의 형태는 그림 5와 같다.

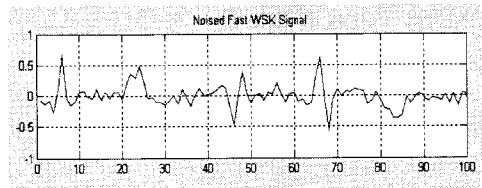


그림 5. 노이즈가 첨가된 신호.

수신측에서 원래의 신호를 복원하기 위해서 그림 6과 같은 알고리즘을 사용하였다. 수신측에서는 전송되어온 정보를 동시에 두 개의 정합필터로 보내어 진다. 첫 번째 정합필터에서는 00과 01 신호를 복원하고, 두 번째 정합필터에서는 10과 11 신호를 복원한다. 복원된 두 신호를 서로 더하면 원래의 신호를 복원할 수 있다.

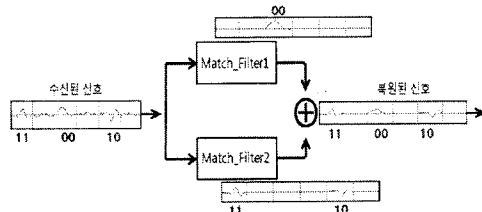


그림 6. 복원 알고리즘

이러한 정합필터 과정을 그림 7에 나타내었다. 복원과정은 비동기식으로 구현이 가능하며, 그림 7과 같이 가능한 이유는 정합필터를 통과한 파형이 서로 정반대의 특성을 가지고 있기 때문에 쉽게 복원이 가능하다.

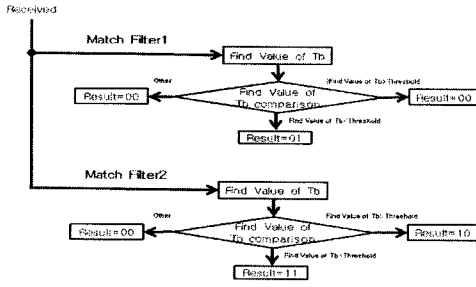


그림 7. 복원 순서도

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 4탭과 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 첫 번째 정합필터와 두 번째 정합필터를 통과시킨 파형을 나타낸다.

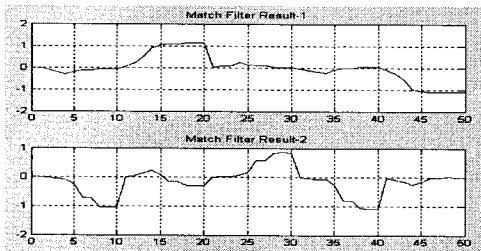


그림 8. 정합필터 신호

수신측에서 원래의 신호를 복원한 모의실험 결과를 그림 9에 나타내었다. 여기서 2진 데이터 1100101101이 복조됨을 알 수 있다.

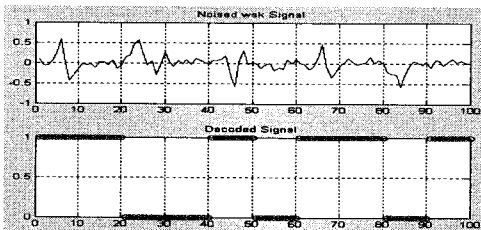


그림 9. 복원된 신호

V. 결론

기존의 WSK 변조 방식에서는 1bit만 변조하여 전송하기 때문에 전송효율이 떨어진다. 본 논문에서는 디지털 통신에서 스케일링 함수와 웨이브릿, 그리고 이 함수들의 반전된 함수를 이용한 전송효율을 높은 2비트 스케일을 갖는 새로운 웨이브릿 편이변조 시스템을 제안하였다. 정합필터의 복원과정에서 문턱치를 0.6로 설정하여 모의실험 결과 복조 과정에서 원래 신호를 완전하게 복조하였고, 제안한 알고리즘이 전송효율이 높아졌음을 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, *맷랩과 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 잡에 강인한 새로운 웨이브릿 편이변조 시스템" *신호처리 시스템 학회 논문지*, 제9권, 2호, pp.98-103, 2008