

# OFDM 통신시스템의 성능향상을 위한 고속웨이블렛변환 적응알고리즘에 관한 연구

이채욱, 문병현, 오신범  
대구대학교 정보통신공학과

## Fast Wavelet Transform Adaptive Algorithm for Improvement of OFDM Communcation System

Chae-Wook Lee, Byung-Hyun Moon, Shin-Bum Oh,  
Dept. of Computer & Communication Engineering, Daegu University

### 요 약

적응신호처리 분야에서 LMS알고리즘은 수식이 간단하고, 적은 계산량으로 인해 널리 사용되고 있지만, 시간영역의 적응알고리즘은 입력신호의 고유치 분포폭이 넓게 분포할 때는 수렴속도가 느려지는 단점이 있다. 이런 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 시간영역의 적응 알고리즘을 변환영역에서 수행하고, 변환영역에서 수렴성능 향상과 계산량을 줄이기 위하여 웨이블렛 기반의 고속 적응 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 OFDM 적응등화기에 적용하여, 기존의 OFDM 등화기 알고리즘과 비교하여 제안한 적응알고리즘의 성능이 우수함을 보인다.

### 1. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식은 최근 단일 반송파 전송방식에 비해 고속의 데이터 전송 및 광대역 통신 시스템에 유력한 방식으로 알려져, 유럽의 디지털 오디오 방송을 비롯한 디지털 비디오 방송, 디지털 육상 TV 방송의 표준으로 채택되었으며, 무선 ATM 및 무선 LAN에 응용하기 위한 연구가 널리 진행되고 있다[1][2].

주파수 비선형적 다중경로 채널에서 높은 데이터를 갖는 OFDM 신호의 전송은 주파수 영역에서 인접 심벌간 간섭과 동일한 형태를 갖는 승산성 왜곡에 의해 영향을 받는다. 이러한 간섭은 수신신호의 진폭과 위상을 왜곡시켜 전체적인 시스템 성능에 심각한 영향을 미친다. 이러한 보상을 위한 대표적인 것이 적응 등화기를 사용한다. 적응등화기에서 사용하는 LMS 계열 알고리즘은 식이 간단하고 계산량이 비교적 적기 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 시간영역에서 처리할 경우 입력신호의 고유값 변동폭이 넓게 분포되어 수렴속도가 저하하는 문제점이 있어 광대역 및 무선통신의 발전을 위해서는 이러한 문제점이 해결되어야 한다.

본 논문에서는 수렴속도 향상을 위하여 고속 웨이블렛 변환을 기반으로 하는 적응알고리즘을 제안한다. 제안한 고속 웨이블렛 변환 적응알고리즘을 적응등화기에 적용하여, 기존에 사용되고 있는 적응알고리즘 방식과 비교하여 그 성능이 우수함을 입증한다.

### 2. OFDM 시스템의 개요

OFDM방식은 대역이 겹치는 상호 직교하는 부반송파들을 사용함으로써 주파수 이용 효율이 높으며, FFT(Fast Fourier Transform)와 IFFT(Inverse FFT)를 이용한 고속 전송 구현이 가능하며, 데이터간의 전송되는 정보 신호의 1/4 길이만큼의 guard interval을 삽입하여 무선 채널로 데이터를 전송한다.

무선 디지털 통신에서 고속 데이터 전송 시 multipath fading 및 frequency selective fading 등에 의해 생기는 잡음, 간섭 등에 강인한 전송 방식이다.

그림 1에서는 OFDM시스템의 기본구조를 나타낸 것이다[2]. 입력되어진 고속의 직렬data가 S/P단을 통과후 병렬의 형태로 변환되어 저속의 데이터인  $d_0, d_1, \dots, d_{N-1}$ 이 된다.  $S(t)$ 는 IFFT를 통하여  $N$

개의 부반송파로 변조된 신호를 나타내며  $S'(f)$ 는 Guard interval이  $S(f)$ 의 1/4 길이만큼  $S(f)$ 의 전단부에 삽입된 신호를 의미한다.

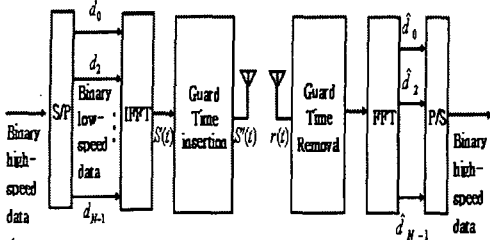


그림 1. OFDM시스템의 기본구조

$r(t)$ 는 수신된 OFDM신호를 의미하며,  $r(t)$ 에서 guard interval을 제거하고 FFT를 통해 부반송파를 복조한 후의 저속의 병렬 데이터인  $\hat{d}_0, \hat{d}_1, \dots, \hat{d}_{N-1}$ 이 된다. P/S단을 통과후 고속의 직렬데이터로 변환되게 된다.

### 3. 적응등화기

그림 2는 적응등화기에 대한 블록도이다. 적응등화기는 training 모드와 DDA(Decision Directed Adaptation)모드, 두 가지 모드에서 동작한다. training 모드에서는 미리 알고 있는 Sequence에 의하여 알고리즘이 적응을 위한 훈련을 거치는 단계이며, DDA 모드는 훈련이 끝난 다음 Decision device의 출력과 적응필터의 출력차를 이용하여 계수벡터를 업데이트 시킨다[1].

채널을 통해서 송신되어진 신호에 백색잡음  $v(n)$ 이 추가되어 적응등화기 입력을 형성하며 적응등화기 계수 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\min_w E\{d(i) - U_i w\} \quad (1)$$

이때  $e_i$ 가 최소가 되도록 추정되어진다.

한편 시간영역의 적응알고리즘은 신호의 고유치 분포폭이 넓게 분포하므로 변환영역 적응알고리즘에 비해 수렴속도가 늦어지는 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서 신호를 변환하여 신호간의 상관도를 제거함으로써, 시간영역에서 적응알고리즘을 적용할 때보다 수렴속도를 향상시킬 수 있다.

변환영역에서 계수 추정 알고리즘은

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu R_s^{-1} S_k e_k \quad (2)$$

### 4. 제안하는 알고리즘

필터계수가 16차 이하인 경우 FFT를 이용한 고속컨벌루션은 시간영역의 컨벌루션보다 계산량이 증가하는 문제점이 있다. 그러므로 실제 웨이블릿 변환과 같은 짧은 필터계수를 가지는 응용분야에서는 이것에 맞는 적절한 고속 알고리즘을 적용해야 한다. 본 연구에서는 짧은 필터계수를 가지는 웨이블릿 변환 특성에 맞는 fast running FIR 알고리즘을 적용하여 기존 FIR 필터와 계산량을 비교하여, 그 성능이 우수함을 입증한다.

일반적인  $M$ 차 멀티레이트 분석, 합성 필터 बैं크를 그림 2에 나타내었다. 그림 2은 주기  $N$ 으로 서브샘플링되고, 채널신호에 대한 필터링을 가지는 구조로서 일반적인 형태의 멀티레이트 분석, 합성 필터구조라고 할 수 있다. 먼저 입력신호  $x(n)$ 에 대한  $z$ 변환을  $X(z)$ 라 하고  $N$ 에 의해 서브샘플링된 출력신호  $y(n)$ 에 대한  $z$ 변환을 나타내면 다음과 같다.

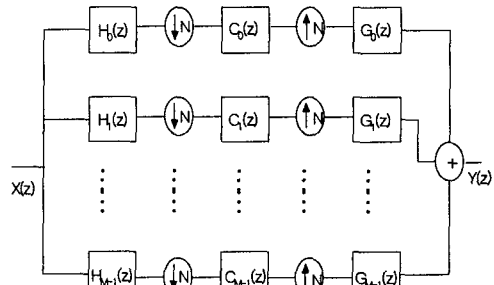


그림 2. 일반적인  $M$ 차 멀티레이트 분석, 합성필터 बैं크

$$Y(z) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(W_N^k z^{1/N}), W_N = e^{-j2\pi/N} \quad (3)$$

역으로 입력신호  $x(n)$ 에 대한 업샘플링된 신호에 대한  $z$ 변환은

$$Y(z) = X(z^N) \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 컨벌루션 알고리즘은 입력신호와 임펄스응답을  $z$ 변환하면  $z$ 변환 영역에서는 변환된 신호들이 다항식들의 곱의 형태로 나타낼 수 있으므로 효율적으로 수행할 수 있다. 먼저  $N=2$ 로 서브샘플링되고, 다음에 따르는 필터구조를 갖는 3채널 필터 बैं크가 있다는 가정 하에 고속컨벌루션 알고리즘

을 유도 해보자.

$$h(z) = [z^{-1}, 1 + z^{-1}, 1]^T \quad (5)$$

$$C(z^2) = \text{diag}[H_0(z^2), H_0(z^2) + H_1(z^2), H_1(z^2)]^T \quad (6)$$

$$g(z) = [1 - z^{-1}, z^{-1}, z^{-2} - z^{-1}]^T \quad (7)$$

식(3)과 (4)의 관계를 이용하여 그림 2의 시스템의 출력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(z) = [z^{-1} \cdot H_0(z^2) + z^{-2} \cdot H_1(z^2)] \cdot X(z) \quad (8)$$

원하는 필터의 전달함수  $H(z)$ 가 주어질 때  $H_0(z^2), H_1(z^2)$ 은 다음 방법으로 나타낼 수 있다.

$$H_0(z^2) = \frac{1}{2}[H(z) + H(-z)] \quad (9)$$

$$H_1(z^2) = \frac{1}{2}[H(z) - H(-z)] \quad (10)$$

여기서  $H(z)$ 의 필터 차수가  $2K$  일 때, 식 (9), (10)의 필터차수는  $K$ 로 줄어든다. 식 (9), (10)를 사용하여, 식 (8)를 나타내면,

$$Y(z) = z^{-1} \cdot H(z) \cdot X(z) \quad (11)$$

로 나타낼 수 있다.

식 (11)과 식 (9), (10)에서 보는 것처럼 한 개의 지연소자를 추가함으로써 원래 FIR 필터가 가지는 필터 차수보다 반으로 줄어든 3개의 필터로 대체할 수 있다. 즉 25% 출력 샘플당 곱셈수를 줄일 수 있다. 반면에 추가비용으로 두 개의 입력당 한번의 덧셈과 두 개의 출력당 3번의 덧셈이 필요하다. 앞에서의 알고리즘을 정리하면 그림 3과 같이 블록도로 표현할 수 있다.

만약 웨이블릿 필터 차수가 4이고 2단 분해한다고 가정하면, 알고리즘 반복수가 1000번이면, 일반적인 웨이블릿 알고리즘과 고속 제안한 웨이블릿 알고리즘을 비교했을 때, 같은 결과를 얻는데 필요한 계산량은 40,000번 줄어든다.

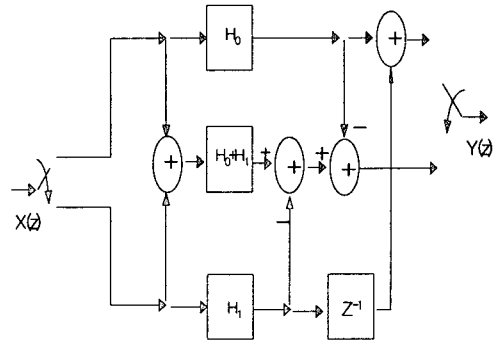


그림 3. 제안하는 short-length fast running FIR 알고리즘

### 5. 컴퓨터 시뮬레이션

- 부반송파의 수  $N$  : 10
- 각 부채널을 위한 변조 : BP나
- OFDM 실별 블록의 수 : 25(훈련구간)+400
- $E_b/N_0$  : 10dB
- 적응상수 : 0.05
- Wavelet 필터 : Daubechies wavelet filter

실험은 적응동화기에 적용하였으며, 시간영역 적응 알고리즘인 LMS 알고리즘, 웨이블릿 기반 적응 알고리즘인 WLMS 알고리즘, 그리고 본 논문에서 제안한 FWLMS(Fast WLMS) 알고리즘에 대하여 MSE 특성 곡선으로 비교하였다.

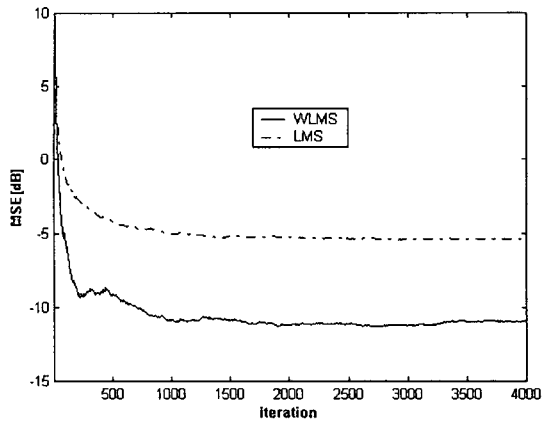


그림 4. LMS알고리즘과 WLMS알고리즘에 대한 mse 비교

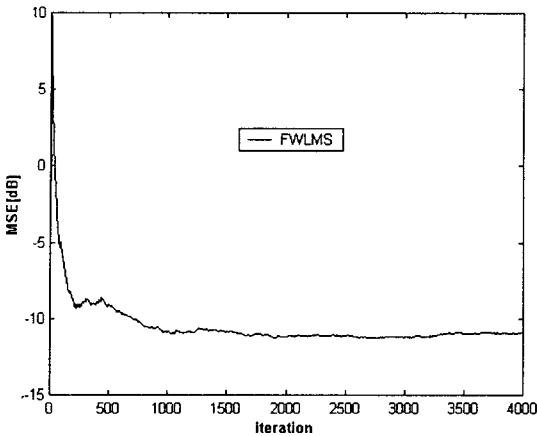


그림 5. 제안한 알고리즘에 대한 mse 곡선

그림 4에서는 두 개의 알고리즘을 MSE에 관하여 성능곡선을 dB로 나타낸 그림이다. 그림4에서 보는 것처럼 시간영역 적응알고리즘인 LMS 알고리즘보다 변환영역 알고리즘인 WLMS알고리즘에서 보다 빠른 수렴특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 5에서 보듯이 제안한 FWLMS 알고리즘은 그림 4에서 보이는 WLMS 알고리즘과 거의 동일한 성능특성을 보이고 있다. 즉, 제안한 알고리즘은 일반적으로 많이 사용되고 있는 시간영역 LMS 알고리즘보다 성능이 좋아지고, 적은 계산량으로 웨이블릿 기반의 WLMS 알고리즘과 거의 같은 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 수렴속도 향상을 위하여 가변스텝 사이즈를 갖는 고속 웨이블릿 기반 적응알고리즘을 제안하였으며, 제안한 알고리즘을 OFDM 적응동화기에 적용하여 기존 알고리즘과 비교하였다. 그 결과 제안한 알고리즘이 시간영역 적응알고리즘인 LMS 알고리즘보다 웨이블릿 기반 알고리즘인 WLMS 알고리즘에서 수렴성능이 개선됨을 알 수 있었으며 제안한 알고리즘은 적은 계산량으로도 WLMS알고리즘과 같은 수렴특성을 보였다.

향후 적응동화기 뿐만 아니라 다른 종류의 적응필터에 적용하여 성능을 비교, 분석하고 필터의 차수가 매우 큰 경우 계산량을 줄일 수 있는 효율적인 알고리즘에 관한 연구가 있어야 하겠다.

## [참고문헌]

- [1] J. Rinne and M. Renfors, "An Equalization Method for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Systems in Channels with Multipath Propagation, Frequency Offset and Phase Noise" Proc, IEEE GLOBECOM '96, London, pp. 1442-1446, Nov. 1996
- [2] M. A Shamma, "Improving the speed and performance of adaptive equalizer via transform based adaptive filtering" Digital Signal Processing, 2002. DSP 2002. 2002 14th International Conference on , Vol 2. pp. 1301-1304, July. 2002
- [3] S. Hosur and A. H. Tewfik, "Wavelet transform domain adaptive FIR filtering" Signal Processing, IEEE Transactions on, Vol. 45, Issue. 3, pp. 617-630, March, 1997.
- [4] Z. J. Mou P. Dauhamel, "Short-length FIR filters and their use on fast nonrecursive filtering", IEEE Trams. Signal Pro, vol 39, pp. 1322-1332, June 1991.
- [5] O. Rioul and P. Duhamel, "Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transforms", IEEE Trans. Information Theory, vol. 38, No. 2, March 1992.
- [6] Z. Yang and X. Wang, "A sequential Monte Carlo blind receiver for OFDM Systems in frequency selective fading channels", IEEE Trans. On Signal Processing, vol. 50, No. 2, Feb., 2002.
- [7] S. Kapoor and D. J. Marchok, "Adaptive Interference suppression in multiuser wireless OFDM systems using antenna arrays", IEEE Trans. On Signal Processing, vol. 47, No. 12, Dec., 1999.