

Lattice 필터에 의한 OFDM 신호의 채널 등화 특성

조상현, 이우재, 신위재, 주창복
경남대학교 전자공학과

Channel Equalization Characteristic of Lattice Filter in OFDM Signal

Sang Hyun Cho, Woo Jae Lee, Wee Jae Shin, Chang Bok Joo
Dept. of Electronics, KyungNam Univ.
wireless@kyungnam.ac.kr

요약

본 논문에서는 OFDM 시스템에 있어서 심블간 간섭을 일으키는 채널에 대해 lattice 필터를 사용한 등화기의 등화 특성을 검토하였다.

Lattice 필터를 사용한 등화기는 다른 등화기와 비교해서 단수마다의 직교화 효과에 의해, 탭 수가 작아도 수렴이 빠르고 등화 오차를 작게 할 수 있는 특징이 있다.

본 논문에서는 Lattice 필터를 사용한 등화기 필터 계수의 수렴성과 정적인 BER 특성을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 해석하고 Transversal 필터 방식에 비해서 우수한 보상 방식인 것을 보인다.

Abstract

In this paper, the characteristic of the equalizer using lattice filter was investigated in channel ISI (Inter-Symbol Interference) in OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) system.

The equalizer using lattice filter has more fast convergence and little equalization error characteristic in two number of tap by orthogonal effect of each tap than another equalizers.

The filter coefficient convergency and static BER (bit error ratio) characteristic was analyzed by computer simulation. In this paper, it is shown that the equalizer using lattice filter has the better performance than a equalizer which makes use of another equalization method.

I. 서 론

OFDM 전송방식은 주파수를 유효이용 할 수 있고 멀티패스 환경에 강하고 고속의 정보전송을 필요로 하는 디지털 비디오 TV 방송[1]에 적용되고 있다. 최근 OFDM은 가입자선을 사용해서 고속데이터 전송을 하기 위해 ADSL[2]에의 채용이나 유럽의 ETSI-BRAN, 미국의 IEEE-802.11a, 일본의 MMAC등 5Ghz 고속 무선

액세스 방식의 세계표준으로의 채용이 검토되고 있다.[3]

OFDM 전송방식은 각 서브 캐리어의 전송속도를 주파수 선택성 페이딩의 영향을 받지 않는 정도로 억압하여 복수의 서브 캐리어를 채용해서 병렬 전송하는 것에 의해 전체로서 고속 전송을 실현하는 방식이다. 특히 인접 캐리어 사이의 직교성을 유지하면서 주파수간격이 최소가 되도록 함으로써 주파수이용 효율을 높일 수 있다. [4-6]

그러나 고속 이동 통신에 있어서 지연시간이 긴 지연파나 주파수 오프셋이 존재하는 환경에서는 인접 서브 캐리어 간의 간섭이 일어나고 전송특성이 열화되기 때문에 지연파와 주파수 오프셋의 보상이 과제이다. 이러한 전송특성의 열화에 대한 대책으로서 적응 등화기를 사용하는 보상방법까지 제안되어 있다. 구체적으로는 주파수 오프셋 보상을 등화기와 주파수 오프셋 보상의 비터비 등화기를[7] 사용한 것이 있다. 이들 등화기는 OFDM에 사용하는 경우에는 문제로서 많은 탭 수가 필요하고 오차 수렴성이 늦다고 하는 것이다. 이 문제에 대처하기 위해서 본 논문에서는 lattice 필터를 이용해서 등화하는 방식을 검토하였다.

lattice 필터는 다른 등화기와 비교해서 단수마다의 직교화 효과에 의해 탭 수가 적어도 수렴이 빠르고 등화 오차를 작게 할 수 있다고 하는 특징이 있다 검토 방식에서는 수신기 구성에서 지연소자를 이용하여, 캐

리어마다 지연파로 인한 파형 왜곡에 대해 적응 알고리즘을 사용하여 보상을 행한다. 검토 시스템에 관해서 이론 해석 및 컴퓨터 시뮬레이션을 행하고 부호간 간섭이 효과적으로 보상되므로 BER 특성이 개선되고 Transversal 필터에 의한 등화기에 비해 수렴이 빠르다는 것을 확인한다.

II. lattice 필터에 의한 OFDM 시스템

2.1 ISI의 발생 시스템 구성

OFDM 전송의 통신로에 있어서 ISI가 일어나는 상황을 가정한다.

통신로에서 지연파가 생김으로써 부호간 간섭이 일어난다. 이 통신로의 역특성을 갖는 필터를 설계하는 것으로 간섭의 제거가 가능하게 된다.

통신로 특성은 지연파로 되는 MA(Moving Average) 과정이므로 피드백 루프를 포함하는 IIR형의 필터로 등화를 한다.

다차원 통신로에 있어서 i시점의 입력과 출력 벡터를 $x_i = [x_{i,1}, \dots, x_{i,N}]$ (1)

$y_i = [y_{i,1}, \dots, y_{i,N}]$ (2)

로 취하면 통신로의 전달함수 $G(z)$ 를 이용해서 $y_i = G(z)x_i$ (3)

로 표현하고 필터는 $G(z)^{-1}$ 을 실현하면 된다.

2.2 lattice 필터에 의한 채널 보상

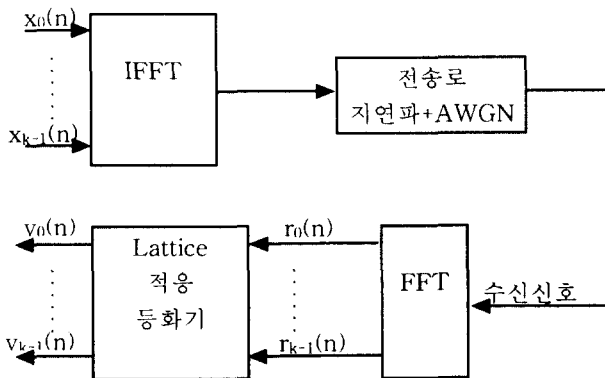


그림1. lattice 필터에 의한 OFDM 시스템 구성

ISI가 일어나는 것으로 가정한 시스템 구성을 그림1에 나타낸다.

이 통신로 상황에 있어서 lattice 필터에 의한 등화는, 각 캐리어에 백색 신호가 지연파의 영향으로 유색신호로 변화한 것을 lattice 단에서 백색화 해 원래의 신호로 복원하는 것으로 ISI의 보상을 행하고 있다.

OFDM은 심벌 길이를 길게 하는 것이나 가드 인터벌을 도입하는 것으로 지연파에 대해서 강한 방식이지만

이것은 1심벌 이내의 범위에 한해 제한된다. 고속 이동통신과 같은 1심벌 보다 크게 지연된 지연파에 대해서는 열화되나, lattice 필터로 그 지연파의 간섭을 제거할 수 있다.

III. lattice 필터의 최적화

3.1 적응 제어 알고리즘

예측오차나 반사 계수의 경신 알고리즘으로서의 전방향, 후방향 lattice 필터를 사용한다. 결합 추정기에는 LMS알고리즘을 사용한다.

3.1.1 Lattice 필터의 구조

시간 i, 제 m단(m=0, ..., M)에 있어서 IIR 형의 전방향 예측오차 $f_{m-1}(i)$, 후방향 예측오차 $b_m(i)$ 는 각각 전방향, 후방향의 반사 계수 Γ_m 을 사용해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$f_{m-1}(i) = f_m(i) - \Gamma_m g_{m-1}(i-1)$ (4)

$g_m(i) = g_{m-1}(i-1) + \Gamma_m f_{m-1}(i)$ (5)

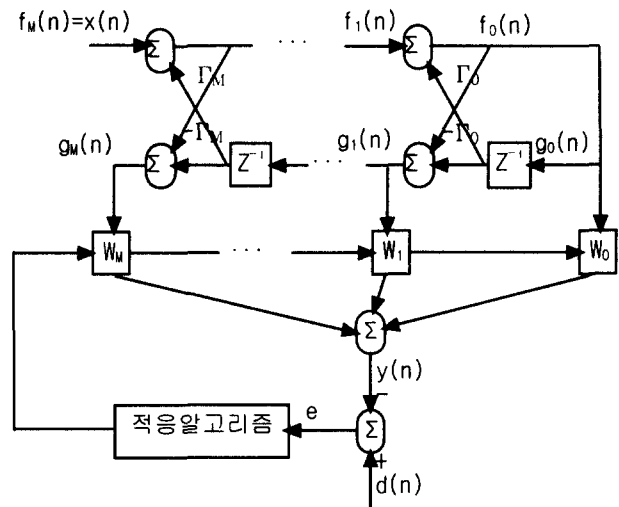


그림2. IIR lattice 필터의 구성

필터의 각 단계는 차수-재귀 방정식[8]에 의해 관계를 맺는 입력과 출력을 갖는다.

위의 반사 계수 Γ_m 를 경신하는 것으로 경신 알고리즘이 가능하다.

3.1.2 탭 갱신 식

탭 계수의 계수 알고리즘은 아래의 식으로 나타내진다.

여기서 W_m 는 탭 계수, m lattice 단수, i 시간, β 는 시변 스텝 사이즈 파라미터, e 오차이다.

$$W_m(i+1) = W_m(i) + \beta_m(i)e(i)g_m(i) \quad (8)$$

$$\beta_m(i) = (E[g_m(i)] \times 10)^{-1} \quad (9)$$

$$e(i) = d(i) - \sum_{m=0}^M W_m(i)g_m(i) \quad (10)$$

3.2 Lattice 필터의 반사 계수

통신로에 잡음이 없는 경우에 있어서 다차원 통신로의 역 특성을 실현할 수 있는 lattice 필터의 반사 계수를 구한다.

3.2.1 FIR lattice 필터의 전달함수

입력 $x(n)$ 의 선형 예측에 있어서 전방향 후방향 예측 오차는 다음과 같이 표현된다.

$$f_0(n) = g_0(n) = \Gamma_0 x(n) \quad (11)$$

$$y(n) = f_{M-1}(n) \quad (12)$$

FIR 필터가 다음과 같이 주어지고,

$$H(z) = \sum_{m=0}^{M-1} b_m z^{-m} = b_0 (1 + \sum_{m=1}^{M-1} \frac{b_m}{b_0} z^{-m}) \quad (13)$$

다항식 $A_{M-1}(z)$ 를 다음과 같이 나타낸다면,

$$A_{m-1}(z) = (1 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_{m-1}(m) z^{-m}); \quad (14)$$

$$\alpha_{m-1}(m) = \frac{b_m}{b_0}, \quad m = 1, \dots, M-1$$

반사 계수 Γ_m 은 다음의 재귀적 알고리즘[8]으로부터 얻을 수 있다.

$$\Gamma_0 = b_0 \quad (15)$$

$$\Gamma_{M-1} = \alpha_{M-1}(M-1) \quad (16)$$

$$J_m(z) = z^{-m} A_m(z^{-1}); \quad m = M-1, \dots, 1 \quad (17)$$

$$A_{m-1}(z) = \frac{A_m(z) - \Gamma_m J_m(z)}{1 - \Gamma_m^2} \quad m = M-1, \dots, 1 \quad (18)$$

$$\Gamma_m = \alpha_m(m), \quad m = M-2, \dots, 1 \quad (19)$$

이 식으로부터 전달함수 $A_{M-1}(z)$ 를 갖는 FIR 특성의 lattice 필터가 얻어진다.

3.2.2 IIR lattice 필터의 전달함수

시스템 함수가 다음과 같이 주어지면

$$H(z) = \frac{1}{1 + \sum_{m=1}^N a_N(m) z^{-m}} \quad (20)$$

식(14)로부터 $H(z) = \frac{1}{A_N(z)}$ 임을 알 수 있다.

이것은 FIR lattice의 역구조이다. 여기서 반사 계수 Γ_m 은 1의 값을 갖는 Γ_0 를 제외하고 식(15)~(19)로부터 얻을 수 있다.

IV. 시뮬레이션에 의한 성능 평가

종래 방식인 transversal 필터에 의한 보상방식과 본 논문에서의 검토 방식인 IIR lattice 필터에 의한 보상방식에 대해서 비교를 행하였다. 실행한 컴퓨터 시뮬레이션에서의 성능 해석 제원은 아래의 표1에 나타낸다.

| | |
|----------------|--------------------------------------|
| 심볼 수 | 12800 |
| Training 심볼수 | 128 |
| lattice 단수 | 1~2 |
| transversal 탭수 | 1~2 |
| 변조방식 | 64QAM |
| 지연과 | $G(z) = 1.0 - 0.5z^{-1} + 0.2z^{-2}$ |
| 통신로 잡음 | AWGN |

표1. 시뮬레이션 제원 (lattice 와 transversal)

4.1 반사계수의 수렴특성

통신로의 역 특성을 구하는 의미에서 Lattice 필터 반사 계수의 최적치는 지연과의 이론치와 일치하여야 한다.

통신로의 전달함수를 다음과 같이 가정하면

$$G(z) = 1.0 - 0.5z^{-1} + 0.2z^{-2} \quad (21)$$

반사계수는 0.5에 수렴해야 한다.

검토방식인 lattice 필터에 의한 보상방식에 관해 컴퓨터 시뮬레이션 결과 같은 값으로 수렴하고 있음을 알 수 있다.

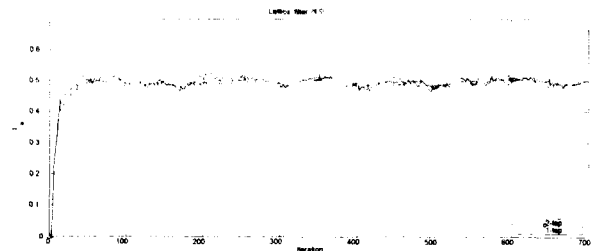


그림3. 반사계수의 수렴 특성

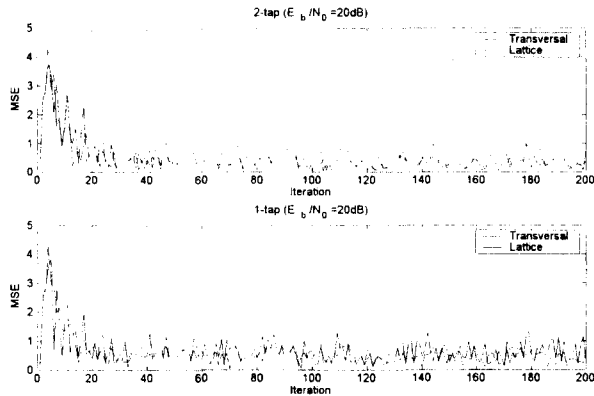
4.2 평균 자승오차의 수렴치의 비교

평균 자승오차(MSE)의 특성을 그림4에 표시한다.

앞 절에서 표시한 상황에서 잡음이 없을 때와 잡음이 $E_b/N_0 = 20\text{dB}$ 일 때의 lattice 필터와 transversal 필터를 비교했다.

그림4. 평균 자승오차의 수렴 특성

2탭에 비해 1탭 Transversal 필터의 경우 MSE가 크게 변화를 보이는 반면에 1탭 Lattice 필터의 경우 MSE의 변화 폭이 작은 특성을 보였다. 필연적으로 잡음이 없는 경우가 잡음이 있는 경우보다 평균자승오차



의 값이 작아진다.

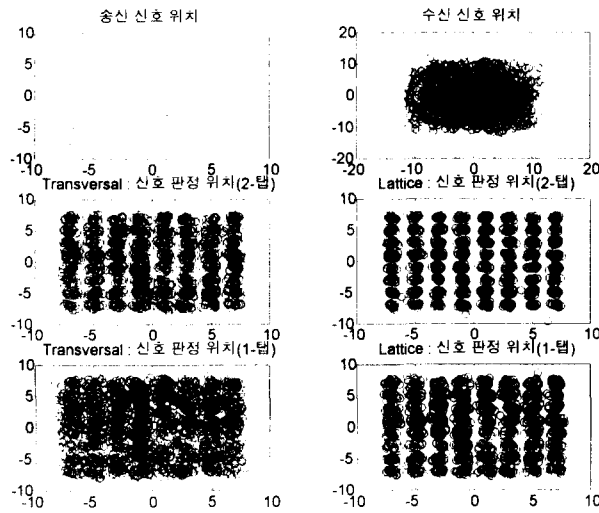


그림5. 수신신호 성상도

4.3 전송로에 있어서 BER특성의 비교

시간이 변동했어도 전송로의 특성이 일정한 경우의 비트 오류율을 그림 6에 나타낸다. 통신로는 1지연과가 존재하는 모델을 생각했다. lattice, transversal, 등화기가 없을 때의 BER 특성 비교를 행하였다. BER가 10^{-3} 에서 transversal 필터는 7dB정도의 개선을 보였고 lattice필터는 11dB의 개선을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 IIR lattice 필터를 이용해서 OFDM 전송에서 전송 열화의 요인인 ISI의 보상을 1탭 등화로 가능하다는 것을 검토하였다.

우선 검토 방식은 종래의 transversal 필터와 비교해서 수렴속도가 빠르고 시불변 통신로에서는 BER가 10^{-3} 에서 약 4dB의 이득이 얻어지는 것을 알았다.

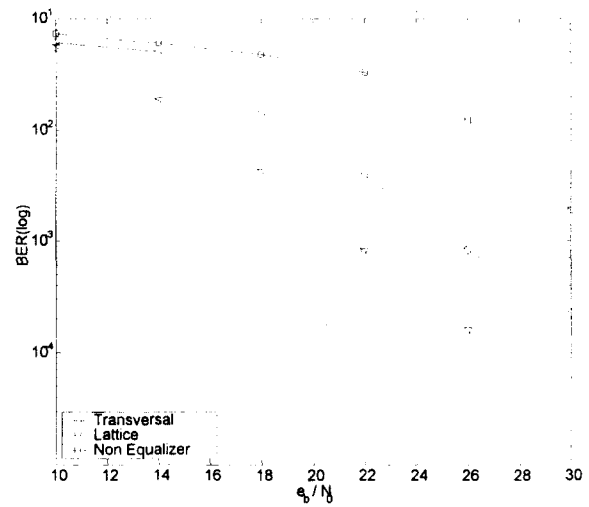


그림6. 시불변 통신로에서의 IIR lattice, 타 등화기로 보 상한 BER 특성

참고문헌

- [1] Richard Van Nee Ramjee Prasad, "OFDM for wireless multimedia communications", Deayoungsa, 2000.
- [2] K. Sistanazadeh, et al, "Multi-tone Transmission for Asymmetric Digital Subscriber Linse(ADSL)", Proc of ICC'93, 1993.
- [3] IEEE P802.11a, "High Speed Physical Layer(PHY) in 5GHz band",1999.
- [4] Ramjee Prasad, "Universal Wireless Personal Communication", Artech House, 1998.
- [5] S. B. Weinstein, " Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform", IEEE Trans. on Commun. Technol., vol. Com-19, no.5, Oct. 1971.
- [6] Sarah Kate Wilson, R. Ellen Khayata, John M. Cioff, "16QAM Modulation with Orthogonal Frequency Division Multiplexing in a Rayleigh -Fading Environment", VTC, 1994
- [7] Jin-Woong Cho and Cheol-ho Kang, "Joint Symbol Detection and Channel Estimation Methods for an OFDM System in Fading Channels", 電子工學會論文誌, 第38卷, TC編, 第3號, 2001
- [8] J. G. Proakis and D. G. Manolakis. "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications.", Macmillan, third edition, 1996