

DWMT 데이터 전송을 위한 효율적인 시간영역 등화기 설계

홍훈희*, 박태윤, 유승선, 곽훈성, 최재호,
전북 전주시 덕진구 덕진동 661-14, 전북대학교 전자정보공학부 정보통신연구소
Phone : +82 (0652) 270-2415 / Fax : +82 (0652) 270-2418

Efficient time domain equalizer design for DWMT data transmission

Hoon-Heui Hong, Tae-Yoon Park, Seung-Sun Ryu, Hoon-Sung Kwak, Jae-Ho Choi
Electronic & Information Engineering Dept., Chonbuk National University
E-mail : wave@moak.chonbuk.ac.kr

본 논문은 한국과학재단 '97특정기초연구사업(과제번호 97-0100-1001-3)의 연구비로 지원됨

Abstract

In this paper, an efficient time domain equalization algorithm for discrete wavelet multitone(DWMT) data transmission is developed. In this algorithm, the time domain equalizer(TEQ) consists of two stages, i.e., the channel impulse response shortening equalizer(TEQ-S) in the first stage and the channel frequency flattening equalizer(TEQ-F) in the second stage. TEQ-S reduces the length of transmission channel impulse response to decrease intersymbol interference(ISI) followed by TEQ-F that enhances the channel frequency response characteristics to the level of an ideal channel, hence diminishes the bit error rate. TEQ-S is implemented using the least-squares(LS) method, while TEQ-F is designed by using the least mean-square(LMS) algorithm.

Since DWMT system also requires of the frequency domain equalizer in order to further reduce ICI and ISI the hardware complexity is another concern. However, by adopting an well designed and trained TEQ, the hardware complexity of the whole DWMT system can be greatly reduced.

1. 서론

코사인 변조된 필터뱅크(Cosine Modulated Filter Banks:CMFB)를 이용한 Discrete Wavelet Multitone (DWMT)시스템에서 M-밴드 IDWT/DWT 다중화 송·수신기(transmultiplexer)가 완벽 재구성 조건(Perfect Reconstruction constraint)을 만족하지만 송·수신 채널 및 잡음의 특성 때문에 DWMT 시스템은 상당히 심각한 심볼간 간섭(intersymbol interference: ISI)을 일으킨다. 또한 송·수신 채널을 M개의 부채널로 나누어 전송하는 다중반송파(multi-carrier) 변·복조 기술을 사용하기 때문에 k번째 시간에 i번째 부채널에 전송되는 심볼은 동일한 시간에 모든 다른 부채널에 전송되는 심볼에 영향을 받는 부채널간 간섭(interchannel interference:ICI)과, 다른 시간 즉, k-1번째 시간에 전송되는 심볼에 영향을 받는 부채널간·심볼간 간섭(intersymbol interchannel interference:ISCI)이 발생한다[1]. 이러한 ISI, ICI, ISCI를 제거하기 위하여 시간영역과 주파수 영역에서 각각 채널 등화기를 설계하여 DWMT 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

그림 1은 시간영역과 주파수 영역 등화기를 포함하는 DWMT 전체 시스템의 개략도이다.

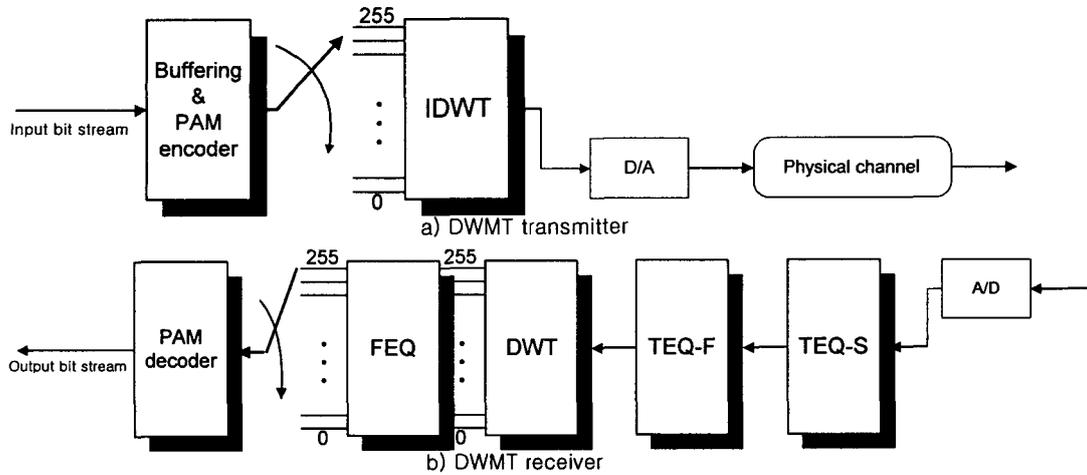
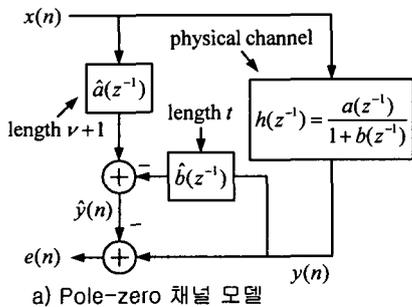


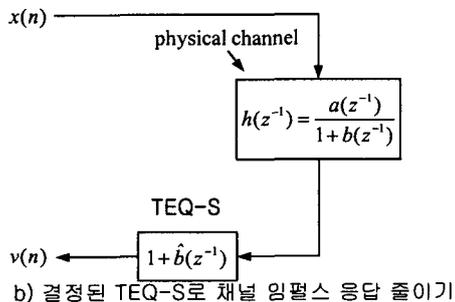
그림 1 간략화된 DWMT transceiver

2. Channel shortening (TEQ-S)

채널 임펄스 응답의 길이를 줄이기 위하여 LS (least-squares) 방법을 사용한다. 그림 2는 pole-zero 모델을 통한 LS 방법으로 TEQ-S 탭 계수를 결정하는 방법과, 결정된 TEQ-S로 채널 임펄스 응답의 길이를 줄이는 방법을 보여준다[2].



a) Pole-zero 채널 모델



b) 결정된 TEQ-S로 채널 임펄스 응답 줄이기

그림 2 채널 임펄스 응답을 줄이는 LS 방법

원래의 채널 전달함수가 $h(z^{-1}) = \frac{a(z^{-1})}{1+b(z^{-1})}$ 라면

짧아진 채널의 전달함수를 $\hat{a}(z^{-1})$ 라고 할 수 있고, 다음과 같이 벡터 Θ , $\Phi(n)$ 를 정의하면

$$\Theta = [\hat{a}_0 \hat{a}_1 \dots \hat{a}_\nu - \hat{b}_1 - \hat{b}_2 \dots - \hat{b}_l]^T \quad (1)$$

$$\Phi(n) = [x(n) x(n-1) \dots x(n-\nu) y(n-1) y(n-2) \dots y(n-l)]^T \quad (2)$$

자승오류(squared-error) $e(n) = y(n) - \hat{y}(n)$ 를 최소화하는 벡터 Θ_{LS} 는 다음과 같다.

$$\Theta_{LS} = R^{-1} r \quad (3)$$

여기에서

$$R = E\{\Phi(n)\Phi^T(n)\}, \quad r = E\{y(n)\Phi(n)\} \quad (4)$$

이고, $E\{x(n)\} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x(k)$ 를 의미한다.

3. Channel flattening (TEQ-F)

TEQ-S를 통해 채널 임펄스 응답의 길이가 줄어들기는 하였지만, 그림 3에서 보는바와 같이 이상적인 채널 즉, $\delta(n)$ 과는 거리가 멀다. 여기에 짧은 길이의 등화기를 적용하여 이상적인 채널에 가깝게 만들어 줌으로써 DWMT 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. TEQ-F는 전형적인 least mean-square (LMS) 알고리즘으로 구현하였다.[4]

TEQ-F 탭 계수 벡터를 C 라 정의하면, $k+1$ 번째 반복수행에서의 C 는

$$C_{k+1} = C_k + \Delta \varepsilon_k V_k^* \quad (5)$$

이다. 여기에서 V_k 는 TEQ-F로 입력되는 벡터

$$V_k = [v_{k+K} \dots v_k \dots v_{k-K}]^T \quad (6)$$

이고, $2K+1$ 은 TEQ-F의 탭 수이다. 또한 수렴 제어상수 Δ 는

$$0 < \Delta < \frac{2}{\lambda_{\max}} \quad (7)$$

가 되게 설정하며, λ_{\max} 는 입력벡터 V_k 의 자기 상관 행렬의 고유치(eigenvalues)중 최대값이고, V_k^* 는 V_k 의 켈레 전치(conjugate transpose)행렬이다.

4. 실험 결과

채널 임펄스 응답을 $h(n)$ 이라 하고 TEQ-S의 임펄스 응답을 $q(n)$ 이라고 하면, LS 방법에 의하여 좁아진 채널의 임펄스 응답은 $h_s(n) = h(n) * q(n)$ 이다. 그림 3 a)는 원래의 채널 임펄스 응답 $h(n)$ 과 11탭 TEQ-S를 사용한 LS방법에 의해 좁아진 임펄스 응답 $h_s(n)$ 을 보여주고, b)는 11탭 TEQ-S와 32탭 TEQ-S에 의해 좁아진 임펄스 응답을 보여준다. 그림 3 b)에서 보듯이 TEQ-S의 탭수가 증가할수록 좁아진 임펄스 응답의 리플이 적어졌음을 알 수 있다.

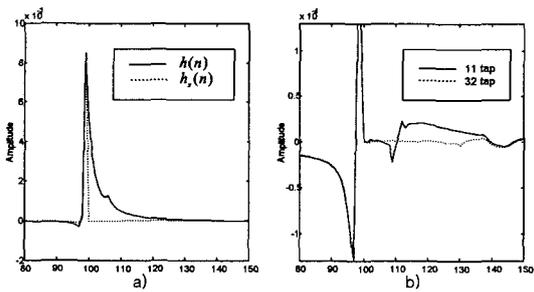


그림 3 LS 방법에 의하여 좁아진 임펄스 응답

DWMT 시스템은 부채널의 주파수 및 노이즈 특성에 따라 각 부채널의 데이터 전송률을 다르게 전송한다[7]. 따라서 각 부채널에서의 SNR을 알아야 하므로 필연적으로 훈련기간(train period)이 필요하고, 이 기

간 동안에 $E\{x(n)\} = 0$ 인 known sequence를 발생시켜 TEQ-S, TEQ-F, FEQ필터 계수를 결정한다. TEQ-S 탭 계수를 결정하기 위한 식 (3)에서 역행렬을 구해야하는데, 이는 steepest descent 알고리즘을 사용하여 재귀적으로 구할 수 있다[4].

훈련 기간동안에 TEQ-S와 TEQ-F를 각각 훈련시키고, 실제 데이터를 전송할 때에는 두 개의 필터를 컨볼루션하여 하나의 FIR 필터처럼 사용하며 탭 계수는 고정시킨다. 이렇게 고정된 필터의 임펄스 응답을 $t_{eq}(n)$ 이라하면,

$$t_{eq}(n) = q(n) * c(n) \quad (8)$$

이고, 탭 개수는 $(t+1) + (2K+1) - 1$ 이 된다. TEQ-S와 TEQ-F를 사용하여 등화된 채널의 임펄스 응답 $h_{eq}(n) = h(n) * t_{eq}(n)$ 이다.

그림 4 a)는 원래 채널의 주파수 응답 $H(f)$ 와 11탭 TEQ-S, 7탭 TEQ-F를 사용한 등화된 채널의 주파수 응답 $H_{eq}(f)$ 이며 그림 4 b)는 11탭 TEQ-S를 사용하고 TEQ-F의 탭 수가 각각 3, 5, 7 일 때 등화된 채널의 주파수 응답을 보인다.

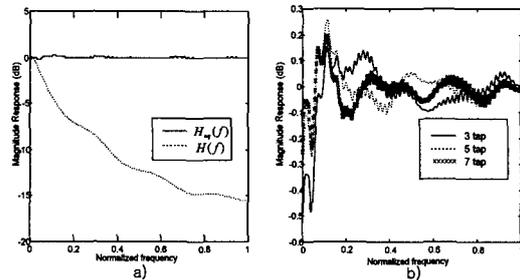


그림 4 등화된 채널의 주파수 응답

FIR TEQ를 사용하여 채널의 효과를 감쇠 시키기는 하지만 ISI, ICI, ISCI를 완전히 제거할 수는 없다. 여기에 주파수 영역에서 각 부채널에서의 등화기를 설계하여 사용자의 요구에 충족하는 비트 오류율과 데이터 전송률을 만족시킬 수 있다.

FEQ는 일반적인 LMS 알고리즘을 확장하여 2차원적인 LMS 알고리즘으로 구현할 수 있다.

그림 5는 TEQ와 FEQ를 사용한 DWMT 시스템에서 각 부채널에서의 SNR을 보여주며, 괄호 안의 수는 등화기의 탭 수를 의미한다.

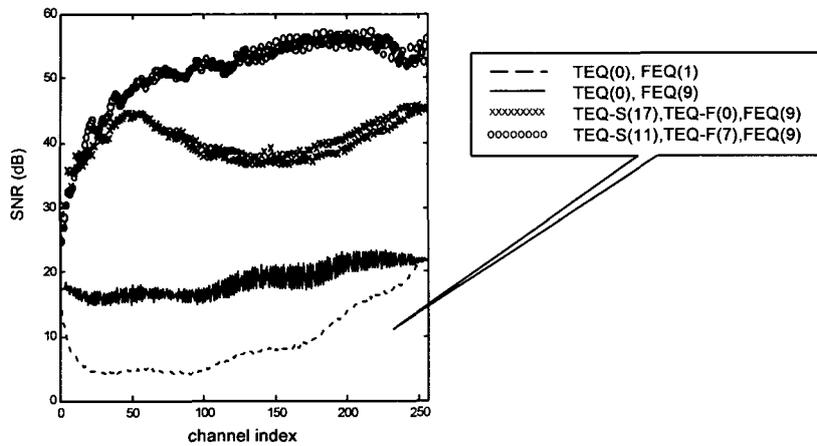


그림 5 TEQ, FEQ를 사용한 DWMT시스템에서 각 부채널에서의 SNR

5. 결론

참고문헌

LS 방법으로 채널 임펄스 응답의 길이를 줄이는 TEQ-S와 LMS 알고리즘으로 채널의 주파수 특성을 평활화 시키는 TEQ-F로 이루어진 두단계 타임 영역 등화기를 DWMT 시스템에 적용하여 각 부채널에서의 SNR을 30dB 이상 향상시켰다. 또한 같은 탭수로 이루어진 TEQ-S만을 적용하였을 때 보다도 제안한 방식인 두 단계로 이루어진 TEQ를 적용하였을 때 각 부채널에서의 SNR이 10dB 이상 우수함을 알 수 있다.

실험결과 TEQ-S만을 적용시켰을 때 제안한 알고리즘(9탭 FEQ사용)과 비슷한 성능을 나타내기 위해서는 27 탭 이상의 FEQ가 필요한 것으로 나타났다. FEQ는 각각의 부채널에서 설계되어야 하므로 M개의 부채널을 사용하는 DWMT 시스템에서 36*M개의 곱셈기와 18*M개의 덧셈기가 더 필요하게 된다. 일반적으로 DWMT 시스템은 256이상의 부채널을 사용하므로 제안한 알고리즘은 하드웨어 복잡도를 상당히 감소시킨다.

제안한 알고리즘은 하드웨어의 복잡도를 줄이면서 전송 시스템의 비트오율을 상당히 낮출수 있기 때문에 최근 활발이 연구되고 있는 VDSL등의 고속 모델에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 DWMT 다중화 송·수신기는 up·down 샘플링을 사용하고, TEQ-S와 TEQ-F는 채널 지연에 민감하기 때문에 채널 측정기(channel estimator)에 대한 연구와 Crosstalk, 임펄스 노이즈, RFI, AWGN 등의 채널 손상요인에 의한 효과에 대한 연구를 수행할 예정이다.

[1] M.A. Tzannes. et. al. "The DWMT: A Multicarrier Transceiver for ADSL using M-band Wavelet Transforms." ANSI T1E1.4 Committee Contribution No. 93-067, March 1993.

[2] Peter J. W. Melsa, Richard C. Younce, Charles E. Rohrs, "Impulse response Shortening for Discrete Multitone Transsceivers", IEEE Trans. on Comm., Vol. 44, December, 1996

[3] Sturt D. Sandberg, Michael A. Tzannes, "Overlapped Discrete Multitone Modulation for High Speed Copper Wire Communications", IEEE JSAIC, vol.13, December, 1995.

[4] John G. Proakis, "Digital Communications", 3th Edition, McGraw-Hill, 1995

[5] Walter Y. Chen, "DSL Simulation Techniques and Standards Development for Digital Subscriber Line Systems", Macmillan Technical Publishing, 1998.

[6] "Very-high-speed Digital Subscriber Lines System Requirements(T1E1.4/98-043R2)", ANSI T1E1.4

[7] John M. Cioffi, "A Multicarrier Primer", ANSI T1E1.4 Committee Contribution No. 91-157, November 1991.