

S-DMT 케이블 모뎀의 등화기 설계 및 성능평가

조병학*

요약

잡음환경이 열악하고 대역폭이 부족한 HFC 망 상향채널에서 보다 나은 대칭형 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 S-DMT 방식의 상향 채널 케이블모뎀을 위한 등화기를 설계하고 그에 대한 성능을 평가하였다. 주파수 영역 등화기와 시간 영역 등화기를 설계하였고, 각 경우에 대해 AWGN, ISI, 및 임펄스 잡음 환경에서 시뮬레이션을 통해 성능을 평가 하였다. 성능 평가 결과, 잡음환경에 의한 성능차이가 있으나 두 경우 모두 비교적 양호한 등화 성능을 보였으며 시간영역에서 등화기가 주파수영역 등화기보다 전 Eb/No 범위에서 약 1dB 정도 성능이 우수함을 확인하였다.

Design and Performance Evaluation of Equalizer for the S-DMT Cable Modem

Byung-Hak Cho*

Abstract

In this paper, we design and performance evaluate the equalizer for S-DMT cable modem, which supports more channels and better quality symmetric multimedia services over HFC network. We verified that both of the designed equalizers show good convergence characteristics and that the performance of the time domain equalizer is 1 dB better than that of the frequency domain equalizer overall range of Eb/No.

Keywords : Equalizer, FEQ, TEQ, Cable Modem, S-DMT, HFC

1. 서론

최근 전 세계적으로 초고속 인터넷 확산과 더불어 케이블 모뎀이 널리 보급되어 있으나 상향 채널주파수는 5MHz~42MHz로 좁을 뿐 아니라, 깔대기(noise funneling)효과와 임펄스 잡음, 협대역 간섭 등의 영향으로 인해, 화상회의, VoIP (Voice over IP), 일대일 파일 공유 등, 보다 넓은 대역폭과 QoS를 요구하는 대칭형 멀티미디어 서비스를 제공하는데 어려움이 있어왔다. 현재 HFC 망에서 사용 가능한 주파수 대역폭은 대부분 5MHz~870MHz까지이나 국내에서는 아

날로그 및 디지털 CATV 방송 대역을 제외하고 인터넷 서비스를 위한 케이블모뎀 하향채널 주파수 대역으로 500~552MHz를 사용하고 있다. 따라서 이러한 대역폭 부족의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 방식의 차세대 케이블 모뎀에 대한 기술 개발이 요구되고 있다.

이에 부응하여 미국의 CableLabs 에서는 2001년 12월에 대칭형 멀티미디어 서비스가 가능한 Advanced PHY 케이블모뎀 규격으로, 채널당 30Mbps급 상향 대역폭을 지원할 수 있는 DOCSIS 2.0 표준규격을 발표한 바 있다[1][2].

새로운 방식의 차세대 케이블 모뎀은 현재의 케이블 모뎀 상향 채널에서 TDMA 방식보다 상향 채널 용량을 증대 시킬 수 있고, 잡음 면역성이 강하며 30Mbps 이상의 전송속도가 가능한 변조 기술이 필요하다. 이러한 차세대 케이블 모뎀을 위한 변 복조 기술로는 주파수 대역확산 효과를 이용하는 S-CDMA(Synchronous CDMA) 방식[3]과, 직교성(orthogonality)을 갖는

* 제일저자(First Author) : 조병학
접수일:2006년 05월 27일, 완료일:2006년 06월 30일

* 한국정보통신대학 방송통신설비과

choch@icpc.ac.kr

□ 본 연구는 2006년도 한국정보통신기술대학 연구비 지원으로 수행되었음

여러 개의 부 반송파를 이용하여 동시에 전송함으로써 유사한 확산 효과를 얻는 S-DMT (Synchronous-Discrete Multi-Tone) 방식이 있다.

S-CDMA 방식은 DS-CDMA(Direct Sequence CDMA)기술과 같이, 직교성을 가지는 코드를 사용하여 전송 시간동안 전송 데이터의 에너지를 확산시키고 수신 측에서 데이터를 복원시킬 때 에너지를 다시 모음으로써 높은 잡음 면역성을 얻는 방식으로 태생적으로 협대역 잡음에 강한 특성을 가지고 있어서 Cable TV 망 상향 채널의 임펄스 잡음 환경에 대해서도 유리하다고 알려져 있으며[3,4] 잡음 확산효과에 의해 임펄스 잡음에 대한 면역성이 기존의 TDMA 보다 우수하다[5,6].

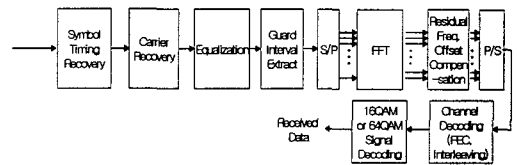
S-DMT 방식은 ADSL 과 VDSL에서 사용하고 있는 DMT 기술에 다대일(multi point-to-point) 통신환경에서 요구되는 동기 기능을 부가한 한 기술로써, 각 단말에서 전송한 데이터들이 수신단에서 동기 되도록 각각의 송신 단말이 데이터를 전송할 때에 Head-End와의 물리적인 거리에 따라 적당히 지연하여 전송함으로써 각각의 보호 구간이 동기 되어 마치 한 개의 송신기에서 데이터를 전송하는 것처럼 한 방식이다[7]. 케이블 모뎀의 상향 채널 변조 기술로서 DMT 기술에 관심을 갖는 이유는 단일반송파 변조방식의 복잡한 등화기에 비해 단순한 구조의 등화기를 사용하여 채널 영향을 보상할 수 있고 잡음 확산효과에 의한 임펄스 잡음 면역성 강화 효과를 얻을 수 있으며, 각 채널 용량에 따라 스펙트럼 효율을 최대화하여 그 채널에서 지원할 수 있는 전송률을 최대화 할 수 있기 때문이다[8].

이에 따라 본 논문에서는 S-DMT 방식 케이블 모뎀 복조기를 위한 등화기를 설계하고 그에 대한 성능을 평가하였다. S-DMT 방식에 적용 가능한 주파수영역 등화기와 시간영역 등화기를 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가하였다. 성능 평가에 있어서 변조방식은 16QAM, 64QAM인 경우로 하였고, 통신 채널 환경은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)과 ISI(Inter-Symbol Interference) 및 케이블 모뎀 상향 채널에서 가장 문제 시 되는 임펄스 잡음 채널 환경을 적용하였다.

2. S-DMT 복조기 구조

S-DMT 복조기는 다음 (그림 1)과 같이 기능상 크게 심볼 타이밍 복원부와 반송파 복원부, 등화기 부로 구성되며 이들 각 기능 블록을 Cable TV 망의 상향 채널 특성에 적합한 알고리즘을 선정하여 설계하여야 한다.

심볼 타이밍 복원부는 수신신호의 심볼에 대한 타이밍 즉, 클럭과 프레임의 시작 위치를 복원해내는 부분이다. 반송파 복원부는 송 수신기간에 RF 반송파 주파수를 일치시키는 기능을 하므로 주파수 동기부 라고도 한다. 등화기 부는 통신 채널에서의 왜곡을 보상하기위한 블록으로 구조, 수신기내의 위치, 탭 간격, 수렴 특성 등에 따라 여러 가지로 나누어 질 수 있다. S-DMT 방식에서는 신호가 크게 시간영역과 주파수 영역으로 구분되므로 주파수 영역 등화기 (FEQ: Frequency domain Equalizer)와 시간 영역 등화기 (TEQ: Time domain Equalizer)로 구분할 수 있으며 비교적 단순한 구조의 등화기를 사용하여 채널의 왜곡을 보상할 수 있는 특징이 있다.



(그림 1). S-DMT 방식 복조기 복조과정

3. 등화기 알고리즘

등화기는 구조에 따라서 선형등화기와 비선형 등화기로 구분할 수 있는데, 선형등화기는 형태적 구조에 따라 transversal 등화기, lattice 등화기로 구분되고, 등화기의 탭 계수를 최적화하는 평가 기준을 설정하는 알고리즘에 따라, 등화기의 최대 출력 왜곡을 최소화 하는 ZF(Zero Forcing) 알고리즘[9], 출력의 평균제곱오차 (MSE: Mean Square Error)를 최소화 하는 LMS(Least Mean Square)알고리즘[10] 등으로 세분할 수 있다.

비선형 등화기는 DFE(Decision Feedback

Equalizer), MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimator), ISI canceller, MLSD(Maximum Likelihood Symbol Detector) 등으로 분류할 수 있으며 DFE는 기본적으로 FFE와 FBE로 구성되어 동작한다.

또한, 수신기내에서의 위치에 따라서 통과 대역 등화기(passband equalizer)와 기저대역 등화기(baseband equalizer)로 구분된다. 통과 대역 등화기는 반송파를 복조하기 이전 신호에 대해 등화하는 구조로, 반송파 복조와 위상 오차 계산 사이의 시간지연이 적어, 빠른 위상 지터를 추적할 수 있는 장점이 있다. 기저대역 등화기는 일반적으로 많이 사용되는 방식으로 복조 후, 기저대역에서 등화를 하는 방식이다. S-DMT 시스템에서는 신호가 크게 시간영역과 주파수 영역으로 구분되므로 주파수 영역 등화기 (FEQ: Frequency domain Equalizer)와 시간 영역 등화기 (TEQ: Time domain Equalizer)로 구분할 수 있다.

등화기의 탭 간격에 따라서는 심볼 간격(symbol-spaced) 등화기(또는 T-spaced 등화기)와 부분 간격(fractional-spaced) 등화기로 나눌 수 있으며 전통적으로 심볼 간격 등화기가 많이 사용된다. 부분간격 등화기는 샘플 간격이 좁아짐으로써 심볼 간격 등화기에 비해 좀 더 다양하게 채널 특성에 부합되는 정합 필터 특성과 조합을 얻어낼 수 있어, T-등화기에 비해 심한 지연 왜곡을 보상할 수 있고 진폭 왜곡 보상의 경우의 잡음 증가를 작게 할 수 있는 장점이 있다.

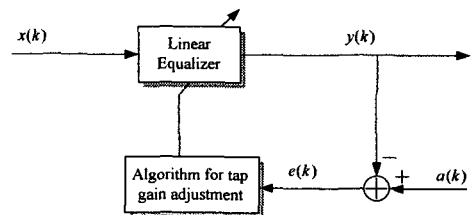
채널 등화기는 일반적으로 채널 왜곡을 보상하기 위한 등화기의 탭 계수를 수신신호로부터 실시간에 자동적으로 추정해나가는 자동 적응 등화방법을 사용하게 되는데 탭 계수를 설정하는 방법에 있어 수신신호만을 이용하여 스스로 갱신해 나가는 자력등화(blind equalization) 방법과 송수신단 사이에 약속된 훈련 열을 이용하여 탭 계수를 적응적으로 갱신해 나가는 훈련 등화 방법이 있다.

본 논문에서는 S-DMT 시스템 특성상 비교적 간단한 선형 등화기를 채택하였고 알고리즘은 비교적 널리 쓰이는 ZF 알고리즘과 LMS 알고리즘만을 채택하였다. 또한 고속 데이터 통신을 요구하므로 빠른 시간 안에 최적한 탭 계수

를 추정할 수 있도록 훈련 등화 방법을 이용하였다.

선형등화기는 (그림 2)와 같이 추정한 오차신호에 의해 등화기의 탭 계수를 갱신하는 구조로 되어있으며 등화기의 전달함수가 채널의 전달함수의 역함수 관계를 가짐으로써 ISI로 인한 채널 왜곡을 보상하게 된다. 그러나 실제 통신 시스템에서는 채널의 전달 함수를 알 수 없기 때문에 시간마다 등화기의 탭 계수를 적응적으로 갱신하여 최적의 탭 계수 설정한다. 등화기 탭 계수를 최적화하는데 널리 사용하는 방법으로는 등화기 출력의 최대 왜곡을 최소화하는 ZF 알고리즘과 평균제곱오차를 최소화하는 LMS 알고리즘이 있다.

ZF 알고리즘은 채널의 전달함수와 등화기의 전달함수의 곱이 1이 되도록 하는 전달함수를 구하여 주 신호만 남기고 나머지 ISI 성분을 모두 제거하는 알고리즘으로, 주파수 반응 상으로는 대역의 에지 부근에서의 감쇄를 보상하여 전체적인 주파수 반응이 Nyquist 필터에 접근하는 방식으로 결과적으로 대역 에지 부근($f=1/2T$)에서의 잡음이 상당히 증가하게 된다. 채널에 따라서는 잡음으로 인한 스펙트럼 골이나 null이 존재하여 심한 진폭왜곡을 유발할 수가 있는데, 이런 경우에 스펙트럼 골에서 과도한 잡음 증폭 현상을 일으켜 시스템의 성능을 저하시키는 단점을 가지고 있다. 그러므로, SNR이 낮은 시스템에서는 적용하기가 어려우나, LMS 알고리즘보다 계산 속도가 훨씬 빠를 수 있으므로 고속 데이터 전송과 높은 SNR이 보장되는 마이크로파 디지털 전송 장치 등에 적합한 알고리즘이다.



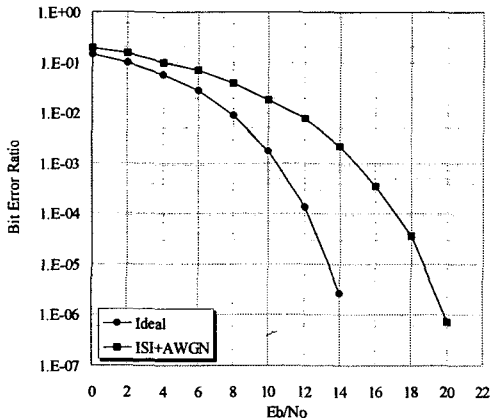
(그림 2) 선형 등화기 모델

LMS 알고리즘은 ZF 알고리즘과는 달리 등화기의 출력의 평균제곱오차를 최소화하도록 등화기의 탭 계수를 결정하는 알고리즘으로 등화기

출력신호와 혼련열인 송신신호와와의 오차신호의 평균제곱오차를 최소화 하도록 탭 계수를 실시간에 설정함으로써 채널에 의한 송신신호의 왜곡을 보상하는 방법이다.

4. 주파수영역 등화기 설계 및 성능 평가

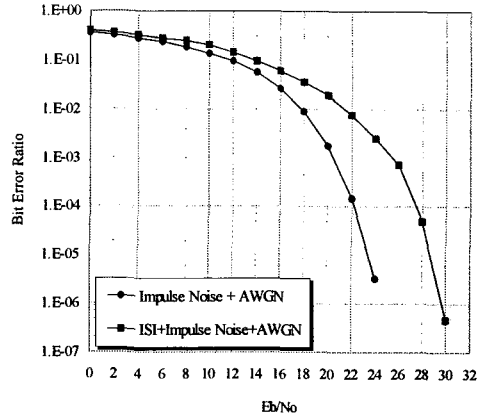
S-DMT 에서의 등화기는 일반적인 디지털 모델에서의 등화기와 마찬가지로 수신단의 FFT 과정을 거치기 전의 시간 영역에서 수행하는 방법과 FFT를 거치고 난 후의 주파수 영역에서 수행하는 방법이 있는데 우선적으로 후자의 경우인 주파수 영역 등화기에 대해 성능 평가를 하였다. 본 설계에서는 ZF 알고리즘을 적용한 횡단구조의 선형등화기를 채택하였다.



(그림 3) ISI 채널 환경에서 주파수 영역 등화기의 성능

(그림 3)과 (그림 4)는 주파수 영역에서의 등화기의 성능을 시뮬레이션 한 결과이다. 이 때 보호 구간은 12 샘플 구간으로 하였다. (그림 3)을 보면 AWGN 만이 있는 이상적인 채널과 비교하여 10-4을 기준으로 약 5dB가량 성능 열화가 생기는 것을 알 수 있으며 이것은 ISI 에 의해 발생하는 성능 열화로 볼 수 있다. (그림 4)는 임펄스 잡음 채널 환경에서의 성능 시뮬레이션 결과로 임펄스 잡음 채널 환경에서도 이상적인 채널 환경인 경우와 10-4을 기준으로 비교해

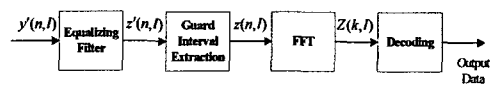
보면 약 5 dB 정도 성능열화가 발생됨을 알 수 있다.



(그림 4) 임펄스 잡음 채널 환경에서 주파수 영역 등화기의 성능

5. 시간영역 등화기 설계 및 성능 평가

S-DMT 시스템에서 채널의 임펄스 응답 길이가 보호 구간 보다 클 경우 ISI와 ICI(Inter Channel Interference)가 발생하게 된다. 그러므로 임펄스 응답에 의한 ISI나 ICI의 영향을 줄이기 위해서는 임펄스 응답 시간을 가급적 짧게 하거나 보호 구간을 길게 해야 하지만 전송효율 면에서 효과적이지 못하다. 시간영역의 등화기는 임펄스 응답의 길이를 작게 만드는 역할을 수행함으로써 보호 구간을 늘리지 않고도 ISI 의한 영향을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이러한 시간영역 등화기가 포함된 S-DMT 수신기 구조는 (그림 5)와 같다.

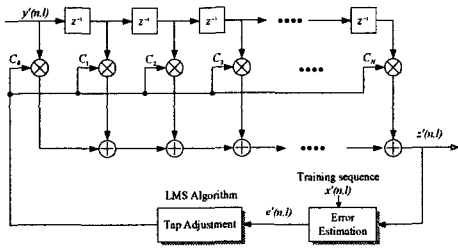


(그림 5) 시간 영역에서의 등화기가 포함된 S-DMT 수신기 구조

(그림 5)에서와 같이 시간영역 등화기는 FFT 블록 이전에 위치하며, FFT 과정을 거치기 전의 시간 영역에서 등화 기능을 수행한다. $y'(n,l)$ 는

채널을 통과한 수신 샘플, $z'(n,l)$ 은 시간 영역 등화기를 통과한 수신 샘플, $z(k,l)$ 는 단일 탭 주파수 영역 등화기를 통과한 수신 심볼, k 는 S-DMT sub-band 번호, n 은 전송 샘플 번호, l 은 S-DMT 심볼 번호이다.

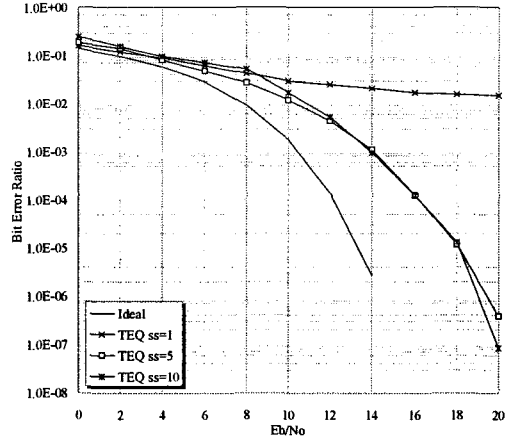
본 설계에서는 (그림 6)과 같이 LMS 알고리즘을 적용한 transversal 구조의 시간영역 등화기를 설계하였다. 가정한 케이블 TV 망의 상향 RF 채널의 micro-reflection(single-echo)가 그다지 크지 않음을 고려하여 7 탭으로 하였다.



(그림 6) 시간 영역의 등화기 구조

시간영역 등화기에서 에러추정함수에 의한 MSE(Mean Square Error)는 스텝 크기에 따라 특성이 달라진다. 스텝크기가 클수록 수렴 속도는 빠르나 값이 커지게 되어 수렴 후의 정확도가 떨어지며, 스텝 크기가 작을 경우에는 발산 가능성은 적으나 수렴속도가 늦어지게 된다. 전송 대역 효율을 높이기 위해서는 프리앰블 길이를 가급적 작게 하여야 하므로 작은 프리앰블 구간 내에서 수렴하게 하려면 스텝 크기를 크게 하는 것이 유리하지만 정확도가 떨어지므로 최적의 스텝 크기를 설정하여야한다. 따라서 최적의 스텝 크기를 구하기 위해 여러 가지 다양한 스텝 크기에 따른 BER 성능을 비교하였다. (그림 7)은 여러 가지 스텝 크기에 따른 시간영역 등화기의 성능을 나타낸 것이다. S-DMT 방식에서의 스텝 크기는 일반적으로 단일 반송파 방식에 비해 큰데, 스텝 크기가 1인 경우는 훈련열 내에 채널 등화를 끝내지 못하고 에러 플로어가 발생하므로 적당한 값이 아님을 알 수 있다. E_b/N_0 가 높은 경우, 스텝 크기가 5와 10인 경우가 거의 비슷한 성능을 나타낸다. 그러나 E_b/N_0 가 낮은 경우 스텝 크기가 5인 경우가 10인 경우 보다 우수한 성능을 보이고 있다. 따

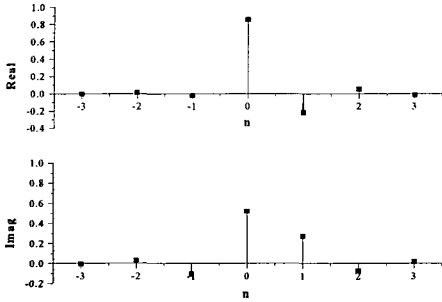
라서 본 설계에서는 스텝 크기를 5~6 정도의 값으로 하였다.



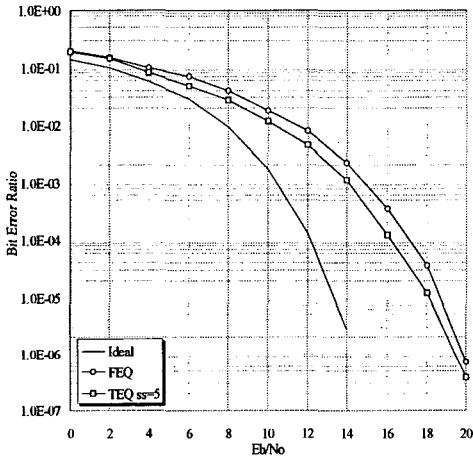
(그림 7) 스텝 크기에 따른 시간 영역 등화기의 BER 성능

6. 주파수영역 등화기와 시간영역 등화기의 성능 비교

주파수 영역 등화기와 시간 영역 등화기는 각기 장, 단점, 성능차이가 있어, 이 둘 두 가지 방식 등화기의 성능을 비교 평가하기 위해 동일한 시스템 채널 환경 하에서 각각 시뮬레이션 하여 성능을 비교하였다. 본 논문에서 시뮬레이션에 사용한 ISI 채널 모델은 (그림 8)과 같은 등가 기저대역 채널모델의 임펄스 응답 특성을 갖는 모델[11]을 채용하였고 보호 구간은 12 샘플로 하였다. 변조방식은 케이블 모델에서 적용하고 있는 16QAM 및 64QAM을 사용하였으며, 신호열은 White Gaussian 분포의 동일 발생 확률을 갖는 신호열로, 평균전력은 정규화 하였다. (그림 9)는 시뮬레이션 결과로 TEQ가 FEQ의 경우보다 거의 전 E_b/N_0 범위에서 약 1dB 정도 성능이 우수함을 볼 수 있다. 이것은 FEQ의 경우, 채널의 영향을 받은 수신 신호가 FFT에 의해 1차 변형된 후의 신호를 이용하여 등화 함에 따라 생기는 현상으로 볼 수 있다.



(그림 8) 등가 기저 대역 채널 모델의 임펄스 응답 특성

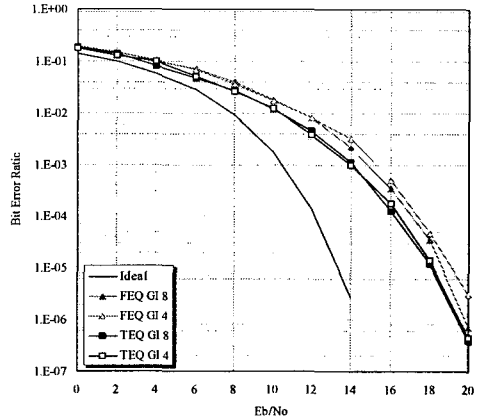


(그림 9) FEQ와 TEQ의 BER 성능 비교

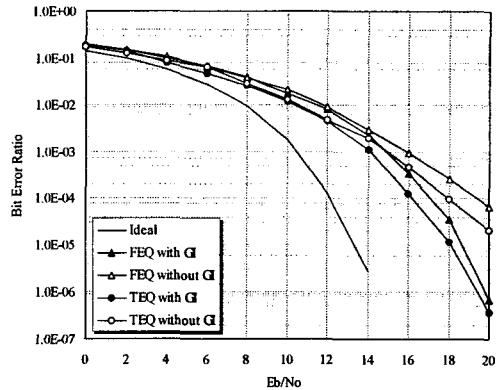
즉, FEQ의 경우 FFT를 통과한 후의 신호를 이용하기 때문에 시간 영역의 영향이 이미 전 주파수 범위로 퍼진 상태로, 채널의 영향을 받은 직후 바로 동작하는 TEQ의 경우보다 상대적으로 심볼 상관도가 낮은 상태에서 채널 등화를 하게 되기 때문에 성능이 다소 열화 되는 것이다.

시간영역 등화기에 대해서는 채널의 임펄스 응답 길이와 보호 구간과의 관계에 따른 성능을 비교하여 보았다. 시뮬레이션 조건으로, 변조 방식은 16QAM을, 채널 환경은 ISI와 AWGN를 사용하였다. 채널 환경을 그대로 유지한 채, 보호 구간의 길이를 짧게 변화시켜 성능을 평가하였는데 (그림 10)은 보호 구간을 4 샘플 길이로 한 경우이고, (그림 11)은 보호 구간을 없앤 경우이다. (그림 10)과 (그림 11)에서, 보호 구간을

사용하지 않은 경우는 물론이고, 임펄스 응답보다 짧은 보호 구간을 사용하였을 경우, TEQ와 FEQ 두 방식 모두 성능 열화가 생기는 것을 볼 수 있다.



(그림 10) 보호 구간 길이가 4 샘플인 경우 TEQ와 FEQ의 성능비교



(그림 11) 보호 구간을 사용하지 않았을 경우 TEQ와 FEQ의 성능비교

이는 이전 심볼의 지연 성분이 다음 심볼에 영향을 미친 결과라고 볼 수 있다. 그러나 TEQ가 FEQ보다 열화되는 정도가 적은 것을 볼 수 있는데 이는 TEQ의 경우 채널을 통과한 수신신호가 다른 여타의 과정을 거치지 않고 시간영역에서 바로 채널의 영향을 보상하기 때문에 임펄스 응답 길이를 작게 하는 효과로 인하여 보호 구간을 비교적 짧게 사용하여도 성능열화가 상대적으로 적음을 알 수 있다.

7. 결론

잡음환경이 열악하고 대역폭이 부족한 HFC 망 상향채널에서 보다 나은 대칭형 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 S-DMT 방식의 상향 채널 케이블모뎀을 위한 주파수 영역 등화기와 시간 영역 등화기를 설계하였고, 각 경우에 대해 AWGN, ISI, 및 임펄스 잡음 환경에서 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가하였다. 그 결과, 잡음환경에 의한 성능차이가 있으나, 두 경우 모두 비교적 양호한 등화 성능을 보였으며 시간영역에서 등화기(TEQ)가 주파수영역 등화기(FEQ)보다 전 Eb/No 범위에서 약 1dB 정도 성능이 우수함을 확인하였고 케이블 모뎀용 S-DMT 수신기의 등화기로 ZF 알고리즘을 적용한 FEQ 보다 LMS 알고리즘을 채용한 TEQ가 유리함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] http://www.cablelabs.com/news_room/PR/01_pr_adv_phy_083101.html.
- [2] Terayon DOCSIS 2.0 White Paper, "Enabling MSOs To Offer Broader Upstream Bandwidths and Powerful New Networking Services," 2002.
- [3] Yvo L. C. de Jong, Robert P. C. Wolters, Henrie P. A. van den Boom. "A CDMA Based Bidirectional Communication System for Hybrid Fiber-Coax CA TV Networks," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 43, no.2, pp. 127-135, Jun. 1997.
- [4] Terayon DOCSIS 2.0 White Paper, "Enabling MSOs To Offer Broader Upstream Bandwidths and Powerful New Networking Services," 2002.
- [5] Kiyun KIM, Hyounggeun LEE, Pansoo KIM, Byunghak CHO, Hyungjin CHOI, "Comparison between S-CDMA and TDMA for Cable Modem Upstream Channel", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E84-A, no. 6, pp. 1370-1377, Jun. 2001.
- [6] 김기윤, 이형근, 김관수, 조병학, 최형진, "상향채널 케이블모뎀을 위한 S-CDMA 기술 분석" 한국통신학회 논문지, 제25권, 제9A호, pp. 1422-1430, Sept. 2000.
- [7] J. M. Cioffi, "Discrete Multi-Tone Data Transmission System Using an Overhead Bus for Synchronizing Multiple Remote Unit," US Patent 5,625,651, Apr. 1997.
- [8] 조병학, 최형진, "케이블모뎀 상향채널을 위한 Advan-

ced PHY 변조 기술 성능 평가" 한국통신학회논문지, 제30권, 제2A호, pp. 1-11, Feb. 2005.

- [9] J. G. Proakis, Digital Communications, 3rd Ed., McGraw-Hill, 1995.
- [10] B. Widrow and S. D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Prentice Hall, 1985.
- [11] V. Weerackody and S. A. Kassam, "Dual-Mode Type Algorithms for Blind Equalization," IEEE Trans Commun., vol. COM-42, no. 6, pp. 22-28, Jan. 1994.



조 병 학

1981년:서울대학교전자공학과졸업
 1988년:서울대학교전자공학과 석사졸업(공학석사)
 2002년:성균관대학교전기전자컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1981년~1986년: 동양정밀 공업(주) 중앙연구소

1988년~1990년: LG전자 디지털미디어연구소 선임 연구원

1992년~2001년: 전자부품연구원 수석연구원

2001년~2002년: 이스텔시스템즈(주)인터넷미디어연구소장

2002년~2003년: (주)정소프트 연구소장

2004년~현 재:한국정보통신기능대학 방송통신설비과교수

관심분야: 디지털 변복조, 기술, 케이블 모뎀, 방통융합서비스