

## Joint 채널등화 알고리즘 개발 및 8-VSB HDTV 수신시스템에의 응용

박경도, 황유모  
명지대학교 제어계측공학과

### Development of a Joint Equalization Algorithm and Its Applications to 8-VSB HDTV Receiver

Kyung-Do Park, Humor Hwang  
Dept. of Control and Instrumentation Eng., Myong Ji University

**Abstract** We propose a robust equalization algorithm to improve the performance of airplane flutter causing dynamic ghosts. The algorithm is an augmentation of the DFE with training sequence(DFE-TS) with the Modified Stop-and-Go Algorithm(MSGA) based on DFE structure, which is called a DFE-TS/MSGA. This will allow the equalizer to switch itself back to blind mode almost instantaneously when drastic and sudden changes in the channel occur.

Test results based on the 8-VSB HDTV receiver show that the proposed algorithm is robust against dynamic ghosts and outperforms the conventional DFE-TS in reducing the intersymbol interference.

#### 1. 서론

8-VSB 변조 방식을 사용하는 GA HDTV<sup>(1)</sup> 전송시스템에서 채택하고 있는 채널등화기는 혼련열을 이용한 결정피드백 채널등화(decision feedback equalization with training sequence : DFE-TS) 알고리즘을 바탕으로 하고 있는데 이는 구현의 용이 및 빠른 start-up 채널 등화의 이점이 있지만 비행기 flutter 등에 의해 dynamic 고스트가 발생하여 갑자기 채널 상황이 악화되는 경우에는 32-QAM 전송 시스템에서 채택한 자력복구 채널 등화(blind equalization) 알고리즘 만큼 급격한 채널상황 변화에 잘 대응하지 못함이 Lab 및 Field 테스트 결과에서 나타났다.

본 논문에서는 dynamic 고스트가 존재하는 열악한 채널상황에서도 잘 동작할 수 있는 joint 채널등화 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 DFE-TS와 Modified Stop-and-Go Algorithm(MSGA)<sup>(2)-(4)</sup>를 결합한 것으로 dynamic 고스트 등에 의해 채널상황이 갑자기 악화 될 경우 다음 혼련열이 도달하기 전 자력복구 방식으로 채널등화를 하기 위한 알고리즘이다.

제안한 joint 알고리즘을 8-VSB HDTV 모델 수신시스템에 적용하여 성능을 DFE-TS와 비교 평가하여 그 우수성을 보임으로써 GA HDTV 채널등화의 성능향상을 도모한다.

#### 2. Joint 채널등화 알고리즘

본 절에서는 8-VSB HDTV 시스템에서 채택한 DFE-TS 알고리즘과 대표적인 자력복구 채널등화 알고리즘들을 간략히 설명하고 본 논문에서 제안하는 joint 알고리즘 및 8-VSB 시스템에의 그 응용을 설명한다.

##### 2.1 DFE-TS 알고리즘

본 알고리즘은 random 심볼내에 포함된 전송된 혼련열을 사용함으로써 채널 노이즈 및 고스트가 존재하는

채널상황에서 LMS에 근거한 필터탭 갱신의 수렴은 보장받게 되는 이점이 있다. 특히 채널등화 루프는 반송파 및 심볼타이밍 복구 루프들과는 별도로 구성되어 있으며 그 동작은 두 단계로 구분된다.

먼저 수신 데이터 eye를 열기 위하여 binary 혼련열을 이용하여 등화기 계수갱신을 위한 에리신호를 추출하며 그후 고스트를 빨리 추적(tracking)하기 위해 수신 데이터 자체를 이용하여 에리신호를 얻는 직접결정(decision directed : DD)모드로 전환된다. 이 채널등화기는 두부분 즉 78-탭 순방향(forward) transversal 필터와 177-탭 결정피드백 필터로 구성된다.

본 알고리즘은 구현이 용이하지만 비행기 flutter에 의한 dynamic 고스트에 적절히 대응하지 못하는 단점이 있다. 즉 갑작스런 채널상황의 변환시 DD 모드에서 추출되는 에리신호는 더 이상 등화 필터계수를 갱신하는데 사용될 수 없다. 그러므로 다음 혼련열이 도달될때 까지 기다려야 하는데 그 시간은 최소 24.2msec가 된다. 이런 경우 수신신호의 eye를 충분히 열지 못하므로 혼련열없이 수신된 신호에서부터 직접 채널의 특성을 파악하여 채널의 비이상적인 특성을 제거해 주어야 하는 자력복구 채널등화 알고리즘을 사용함이 바람직하다.

##### 2.2 자력복구 채널등화 알고리즘

Godard<sup>(5)</sup>에 의해 제안된 Constant Modulus Algorithm(CMA) 등화방식은 심볼간 간섭(ISI)이 약한 환경에서는 잘 동작하지만 전송된 데이터에 대한 사전정보가 전혀 없는 ad-hoc 방식에 의해 발생된 제어신호를 이용해서 등화를 수행하는 단점이 있다. 이런 점을 해결하기 위한 방법으로 G.Prati<sup>(6)</sup> 등은 확률적으로 결정된 에러가 실제에러와 같은 확률이 높지 않으면 계수갱신을 중단하고 그렇지 않을 경우에만 계수를 갱신하는 Stop-and-Go Algorithm(SGA)를 제안하였다.

최근 Y.S.Choi 등은 결정에러를 좀 더 감소시키기 위하여 SGA에서 사용한 영역의 갯수보다 작은 갯수를 사용하고 SGA에서 추정에러를 구하는데 필요한  $\beta_n$  값을 채널상태에 따라 다르게 선정해야 하는 문제점을 해결한 MSGA를 제안했으며 그 알고리즘을 32-QAM HDTV 시스템에 적용해 본 결과 SGA보다 우수한 성능을 보였다.

MSGA를 8-VSB 시스템에 적용할 경우 실(real) 채널의 등화를 위한 등화기 계수갱신 알고리즘은 다음과 같다.

$$c_{n+1} = c_n - \alpha f_n \hat{e}_n y_n$$

$$f_n = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{sgn} \hat{e}_n = \text{sgn} \tilde{e}_n \\ 0, & \text{if } \text{sgn} \hat{e}_n \neq \text{sgn} \tilde{e}_n \end{cases}$$

$$\hat{e}_n = z_n - \hat{a}_n$$

$$\tilde{e}_n = z_n (|z_n|^2 - R^2) \quad (1)$$

여기서  $c_n$ 은  $n$ 번째 출력 심볼기간 동안의 등화기 계

수벡터.  $y_n$ 은  $n$ 번째 출력심볼기간 동안에 등화기의 지연소자에 저장된 등화기 입력벡터.  $z_n$ 은 등화기 출력이고  $\hat{a}_n$ 은 등화기 출력이 DD모드를 통해 결정된 심볼 포인트이다.

### 2.3 DFE-TS/MSGA

본 논문에서는 비행기 flutter등에 의해 발생하는 dynamic 고스트 때문에 갑자기 채널상황이 악화될 경우에도 잘 동작할수 있는 강인한 채널등화를 위해 다음과 같은 joint 채널등화 알고리즘을 제안하고 8-VSB HDTV 시스템에서 채택한 DFE-TS 알고리즘과의 성능 비교를 통하여 제안한 알고리즘의 우수성을 보이고자한다. 본 알고리즘은 DFE-TS와 MSGA를 결합한 것으로 시스템 초기에는 훈련열을 이용한 DFE-TS를 동작시킨다. DFE-TS의 DD 모드에서 추출되는 에리신호를 더 이상 등화 필터계수 갱신에 이용할 수 없을 정도로 채널상황이 악화될 경우 다음 훈련열이 도달할때까지 기다리지 않고 즉시 DFE형태의 MSGA(DFE-MSGA) 자력복구 채널등화로 다시 start-up을 하여 수신 데이터 eye를 연 후 수렴을 위한 등화기 탭계수를 갱신한다. 그림 1은 8-VSB HDTV 시스템에 적용될 본 알고리즘의 개념 블록도이다.

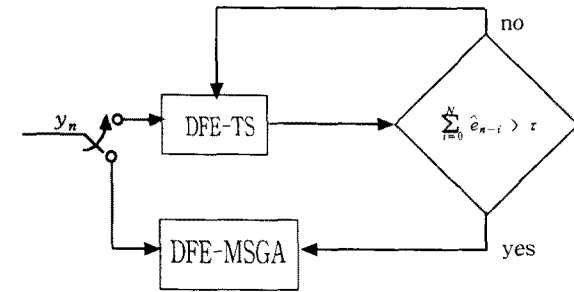


그림 1. DFE-TS/MSGA 블록도.

급격한 채널 상황 변화를 검출하기 위하여 DFE-TS 모드에서 다음 조건을 만족하면 채널상황이 악화되었다고 판단하고자 한다.

$$\sum_{i=0}^n \hat{e}_{n-i} > \tau \quad (2)$$

여기서  $\tau$ 는 외부에서 주어진 값으로 실험적으로 구한다. 한편 급격한 채널상황이 검출되지 않은 상태에서 다음 훈련열이 도달되면 DFE-TS로 다시 데이터 eye를 열게 된다.

자력복구 채널등화 알고리즘인 MSGA를 DFE 형태로 구성할 경우 ISI cancellation 관점에서 그 성능을 입증하기란 쉽지는 않지만 본 연구에서는 MSGA를 사용한 DFE를 그림2와 같이 구성하여 급격한 채널 변화에 적용할 수 있는지에 대한 feasibility를 확인하고자 한다. DD 모드후 심볼  $\hat{a}_n$ 는 feedback 부분의 자력복구 채널등화에서 요구되는 값의 추정치로써 사용된다.  $\hat{a}_{n-1}$ 를  $\hat{z}_{n-1}$ 의 근사값으로 가정할 때  $\hat{a}_{n-1} = a_{n-1}$  혹은  $\hat{a}_{n-1} \neq a_{n-1}$  에 무관하게  $g_n$ 의 계수벡터가 다음과 같이 선정된다.

$$g_{n+1} = g_n - \beta f_n \hat{e}_n \hat{a}_{n-1} \quad (3)$$

여기서  $\hat{a}_{n-1} = [\hat{a}_{n-1}, \hat{a}_{n-2}, \dots]^T$ 로서 결국 DD

모드후  $\hat{a}_{n-1}$ 은 심볼 에러율에 무관하게 feedback된다. 그림2에서 forward 자력복구 등화기 계수벡터  $\hat{c}_n$ 의 선정은 식(1)의 MSGA에서의 계수 벡터 갱신방식으로 수행된다.

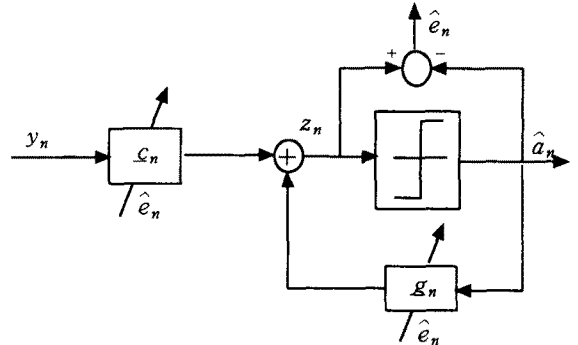


그림2. DFE-MSGA 블록도.

### 3. 시뮬레이션 결과

제안한 DFE-TS/MSGA 성능평가를 위하여 고려한 시스템은 8-VSB HDTV 모뎀수신부 로써 10.76 MHz 심볼율을 갖는 수신심볼은 백색 가우시안 노이즈 및 고스트에 의해 왜곡되어있다.

시스템의 초기동작에서는 참고문헌[7]에서 고려한 세 가지 형태의 고스트를 고려했으며 채널의 급격한 변화를 모델링하기 위해 표1과 같은 고스트를 첨가 했다.

표1. 채널고스트 상황

크기(dB)	위상(°)	지연(μs)
-6.02	45°	0.25
-13.97	225°	1.25
-29.76	-45°	2.25

그림3은 SNR이 14.9dB인 상황에서 표1과 같은 dynamic 고스트가 발생한 후 iteration 수에 따른 DFE-TS/MSGA의 SER 성능을 나타내는데 DFE-TS 알고리즘은 발산하는 반면 제안한 DFE-TS/MSGA는 약 1,500 iteration 후 수렴함을 알수 있다.

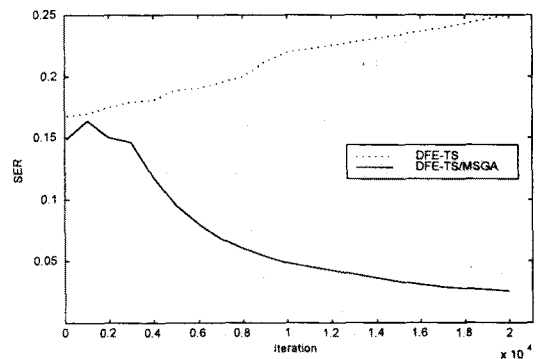
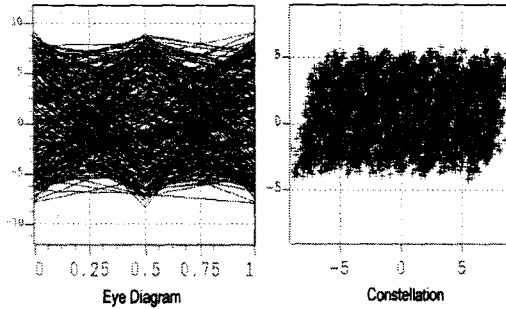


그림 3. Iteration 수에 따른 SER

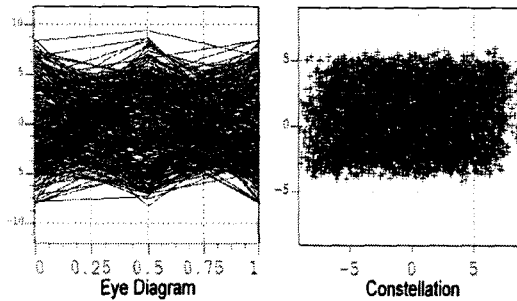
그림4(a)는 수신신호의 개안도(eye diagram) 및 신호星座(constellation)를 나타낸다. 그림4(b)와 (c)는

DFE-TS 및 DFE-TS/MSGA 알고리즘을 적용한 후의 개안도 및 신호성좌를 각각 나타내는데 DFE-TS 알고리즘은 표(1)의 dynamic 고스트를 제외한 나머지 고스트만 존재할 경우 SNR = 14.9dB에서 SER =  $10^{-3}$  정도의 만족할 만한 성능을 보였지만 dynamic 고스트가 추가로 존재 할 경우에는 수렴하지 못했다.

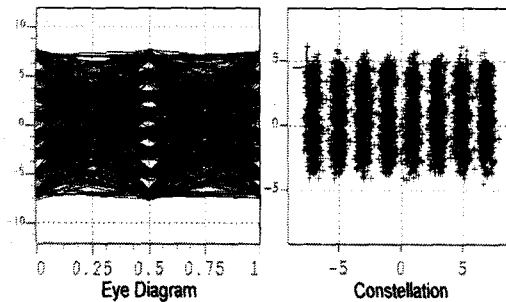
그림 4(c)는 DFE-TS/MSGA를 적용한후  $10^{-3}$  의 SER 성능을 보인 신호성좌들이다.



(a) 수신신호



(b) DFE-TS 적용후



(c) DFE-TS/MSGA 적용후

그림4. 알고리즘 적용 전·후의 개안도 및 신호성좌.

#### 4. 결론

비행기 flutter 등에 의해 발생하는 dynamic 고스트가 존재하는 채널상황에서도 잘 동작할 수 있는 joint 채널등화 알고리즘인 DFE-TS/MSGA를 제안했으며 8-VSB HDTV 모뎀 수신시스템에 적용하여 시뮬레이션한 결과 기존의 DFE-TS 알고리즘보다 고스트 제거 성능이 우수했다.

DFE-TS/MSGA에서는 DFE-TS와 MSGA 각각 알고리즘들의 장점을 채널상황에 적응적으로 이용하므로

써 dynamic 고스트에 대응할 수 있었다.

향후에는 급격한 채널변화시 DFE-TS/MSGA에서 요구되는 스위칭 메카니즘이 필요없이 자동적으로 훈련열을 이용하는 mode에서 자력복구 mode로 전환할 수 있는 알고리즘을 개발할 필요가있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Grand alliance HDTV System Specification Draft Document, submitted to the ACATS Technical Subgroup, Feb., 1994.
- [2] Y.S. Choi, H. Hwang and D.I. Song, "Adaptive Blind Equalization Coupled with Carrier Recovery for HDTV Modem," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.39, no.3, pp.386-391, August., 1993.
- [3] 지상방송용 신호처리 및 반도체 개발에 관한연구, 국책 HDTV 과제 4차년도 보고서, 삼성전자 신호처리 연구소, June., 1994.
- [4] Y.S. Choi, D.S. Han and H. Hwang, "Joint Blind Equalization, Carrier Recovery and Timing Recovery for HDTV Modem," *the Preceeding of the Visual Communications and Image Processing*, SPIE, vol.2094, pp.1357-1363, Nov., 1993.
- [5] D. N. Godard, "Self-recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-dimensional Data Communication Systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-28, no. 11, pp. 1867-1875, Nov., 1980.
- [6] G. Picchi and G. Prati, "Blind Equalizer and Carrier Recovery Using Stop-and-Go Decision-Directed Algorithm," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-35, no. 9, pp.877-887, sept.,1987.
- [7] S.S.Chae, etc., "Hardware Architectures of Adaptive Equalizers for the HDTV Receiver," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.46, no.2, pp.391-404, Feb.,1998.