

## 8-VSB HDTV 수신기용 자동 변환 채널등화 알고리즘

박경도, 황유모  
명지대학교 제어계측공학과

## Auto-switching Equalization Algorithm for 8-VSB HDTV Receiver

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

**Abstract** - Adaptive channel equalization accomplished without resorting to a training sequence is known as blind equalization. In this paper, we present a auto-switching blind equalization for 8-VSB HDTV receiver. The scheme operate in two mode : blind equalization mode and decision-directed equalization mode.

This proposed scheme changes from the blind equalization mode at high error levels to the decision-directed equalization mode at lower error levels smoothly and automatically. Manual switch from the blind equalization mode to the decision-directed mode is not necessary.

## 1. 서 론

8-VSB 변조 방식을 사용하는 GA HDTV<sup>(1)</sup> 전송 시스템에서 채택하고 있는 채널등화기는 훈련열을 이용한 결정궤환 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.

대부분의 자력복구 채널등화 알고리즘에서는 결정에러 값이 어느정도 낮아지면 수렴속도를 빠르게 하기 위해 직접결정 알고리즘(decision-directed algorithm: DDA)으로 수동적으로 변환(manual switch-over)하여 채널 등화 수렴을 완성한다.

최근 dual-mode 형태의 알고리즘으로써 제안된 Dual-Mode Generalized Sato Algorithm(DMGSA)<sup>(2)</sup>에서는 수신신불이 어떤 정해진 범위안에 포함된 경우 DDA를 이용하고 그 범위에서 벗어날 경우 Generalized Sato Algorithm(GSA)<sup>(3)</sup>을 이용하여 채널등화기 계수를 재생하므로써 수동적 변환이 필요 없게 된다.

DMGSA는 결정영역의 크기에 따라 성능이 달라진다. 가장 최적의 결정영역 크기가 시스템의 특성에 따라 달라지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 결정영역을 설정하는 방법이 아닌 GSA와 DDA에 사용되어지는 예러값의 조절로 GSA와 DDA사이의 전환이 이루어지는 자동변환 자력복구 채널등화 알고리즘(Auto-Switching Blind Equalization Algorithm: ASBEA)방법을 제안한다.

수렴되어지는 과정에서는 GSA에 사용되는 예러값을 강조하여 사용하고 어느정도 수렴후에는 DDA에 사용되는 예러값에 의존한다.

제안한 ASBEA를 8-VSB HDTV 모뎀 수신시스템에 적용하여 성능을 일반적인 DFE-TS와 비교 평가하여 그 우수성을 보임으로써 GA HDTV 채널등화의 성능향상을 도모한다.

## 2. 8-VSB 채널 등화기

8-VSB 데이터 구조를 살펴보면 하나의 데이터 프레임은 2개의 데이터 필드로 구성되고 데이터 필드는 각각 313개의 데이터 세그먼트로 구성되는데 그중 첫 번째 세그먼트는 데이터 필드 싱크와 훈련열을 포함한다. 초기 채널상의 다중경로로 인한 신호의 왜곡이 생기는데 이러한 왜곡을 훈련열을 이용하여 등화기의 계수를 재생시킨다.

기존의 DFE-TS 알고리즘 블럭도를 살펴보면 그림1와 같다.

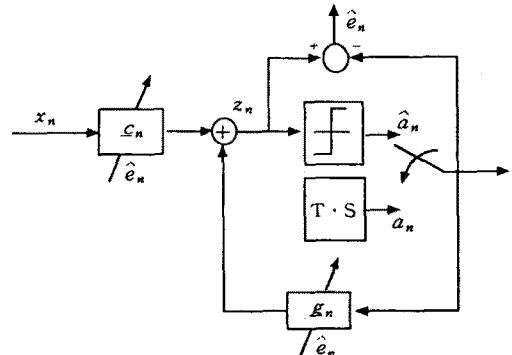


그림 1. DFE-TS 블럭도

원신호를  $a_n$ 라고 가정하였을 때, 다중경로와 노이즈로 인해 왜곡되어 수신기에 들어오는 신호를  $x_n$ 라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_n = \sum_{i=0}^L h_i a_{n-i} + \eta_n \quad (1)$$

여기서  $h_i$ 는 다중경로 함수,  $L$ 는 채널의 길이,  $\eta_n$ 는 백색 가우시안 노이즈를 나타낸다.

등화기의 출력을  $z_n$ 이라고 하였을 때 다음과 같이 나타낸다.

$$z_n = \sum_{i=0}^M c_i x_{n-i} + \sum_{i=1}^N g_i \hat{a}_{n-i} \quad (2)$$

여기서  $c_i$ 와  $g_i$ 의 계수생산은 다음과 같은 DDA방식으로 수행된다.

$$c_{n+1} = L_n - \alpha e_n \quad (3)$$

$$e_n = z_n - \hat{a}_n \quad (4)$$

$$L_n^T = [c_0, \dots, c_M, g_1, \dots, g_N] \quad (5)$$

DDA는 등화기 출력신호와 가장 가까운 신호성좌포인트를 송신된 신호라고 결정을 내리므로 등화기 출력신호와 결정된 포이트와의 차를 에러벡터로 보고 등화기의 계수를 갱신시킨다. 다경 경로나 위상오차가 없고 약간의 부가잡음만 있다면 이와 같이 구한 에러 벡터는 실제 에러 벡터와 같으므로 등화기는 쉽게 수렴한다.

그러나 실제 채널에서는 다중경로, 부가잡음 및 각종 비선형 필터링등에 의해 수신된 신호는 결정 한계를 넘어 전혀 다른 신호성좌포 영역에 위치하므로 DDA의 에러 신호들은 실제 에러와 많이 다르게 되므로 수렴하기가 어렵다.

8-VSB에서 하나의 데이터 프레임은 24.2ms에 하나씩 반복하는데 그중 77.32μs동안의 훈련열이 지나가게 된다. 이 훈련열을 이용하여 등화기의 계수갱신을 시키고 훈련열 후에 데이터가 들어오게 되는데 이때 훈련열 모드에서 결정 지향 모드로 전환하게 된다.

그런데 다음 훈련열이 오기전에 비행기 flutter와 같은 갑작스런 채널의 변화가 있을 경우 기준의 결정 지향 모드는 이에 대응하지 못하고 closed eye 상태가 되는 것을 볼 수 있다. Open eye가 되기 위해서는 다음 훈련열이 올때까지 기다려야하는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 갑작스런 채널의 변화가 있었을 때 수신기가 이를 감지하고 자력 복구 채널 등화모드로 바꿔는 것이 필요하다.

### 3. Auto-Switching Blind Equalization Algorithm

자력 복구 채널등화 알고리즘에서는 송신된 심볼을 알 수 없기 때문에 수신된 심볼만으로 계수를 갱신한다. 먼저 에러함수를 정의한후에 그 에러함수의 mean square가 0으로 가까이 가도록 stochastic gradients 알고리즘을 사용하여 탭계수로 갱신 한다.

초기에는  $\hat{e}_n$ 이 크기 때문에 수신기의 신호성좌의 분포도가 넓게 펴진다. 수렴과정이 끝나면  $\hat{e}_n$ 이 작아지면서 신호성좌는 한 점에 거의 모이게 된다. 이와같은 특성을 이용하여 DMGSA에서는  $D_k$ 를 설정하여 신호성좌가 그 안에 분포하면 DDA를 사용하고 그 밖에 분포하면 자력복구 채널 등화알고리즘인 GSA를 사용한다. 결정영역은 그림 2와 같고 N-QAM에서 N개의 결정영역이 발생한다.

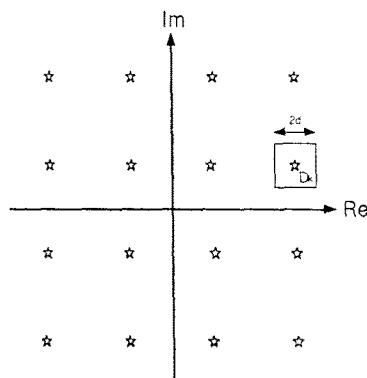


그림2. Dual-mode 결정영역

시스템 초기에는 등화기 출력신호가 전송된 심벌주위에 크게 산개된다. 그래서  $D_k$  범위안에 들어올 확률이 떨어지므로 SA를 사용하여  $\hat{e}_n$  값을 줄인다. 그후 등

화기 출력신호가  $D_k$ 범위안에 들어온 후에는 DDA를 이용하여 수렴을 계속한다.

각각의 경우 등화기 계수갱신 알고리즘은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \underline{c}_{n+1} &= \underline{c}_n - \alpha(z_n - \hat{a}_n) \underline{x}_n^* & z_n \in D_k \\ \underline{c}_{n+1} &= \underline{c}_n - \alpha[z_n - \gamma \operatorname{sgn}(z_n)] \underline{x}_n^* & z_n \notin \cup D_k \\ \gamma &= \frac{E\{|a_n^2|\}}{E\{|a_n|\}} \end{aligned} \quad (5)$$

본 논문에서 다루는 8-VSB 변조방식에서는 In-phase 성분에만 정보가 실려 있으므로 Quadrature 부분은 무시한다. 식(5)의 DMGSA에서 사용되는 에러값  $e_d = z_n - \hat{a}_n$ 과  $e_s = z_n - \gamma \operatorname{sgn}(z_n)$ 을 사용하여 ASBEA에서는  $e_a$  및  $e_s$ 에 각각 가중치를 두어 다음과 같이 새로운 에러값  $e_n$ 을 만든다.

$$\begin{aligned} e_n &= k_1 e_d + k_2 e_s \\ k_1 &= 1 - \frac{1}{1 + e^{-\alpha(e_d - 0.3)}} \\ k_2 &= \frac{1}{1 + e^{-\alpha(e_d - 0.3)}} \end{aligned} \quad (6)$$

상수인  $k_1$ 과  $k_2$ 는  $e_d$ 값에 따라서 변하게 된다. 다시 말하면  $e_d$ 가 커질수록  $k_1$ 에 비중은 작아지면서  $k_2$ 에 비중이 커지고  $e_d$ 가 작아질수록  $k_1$ 에 비중이 커지면서  $k_2$ 의 비중이 작아진다.

$e_a$ 값에 따른  $k_1$ ,  $k_2$ 값은 그림3과 같다.

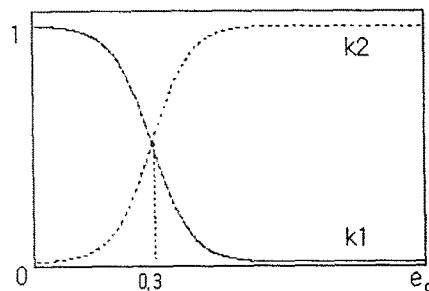


그림3.  $k_1$  및  $k_2$ 에 따른  $e_a$ 값.

ASBEA 채널등화 계수 갱신은 식(6)의  $e_n$ 을 갖고 식(3)과 같이 수행된다.

### 4. Simulation 결과

제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여 고려한 시스템은 8-VSB HDTV 모뎀수신부로써 10.76MHz 심볼율을 갖는 수신심볼은 백색 가우시안 노이즈 및 고스트에 의해 왜곡되었다. 훈련열을 이용하여 등화기 계수갱신을 이룬후에 갑자기 채널이 바뀐 경우에  $e_a$ 가 커지게 되고 식(6)에 의하여 등화기에 피드백되어지는  $e_n$ 값은  $e_s$ 값으로 변하게 된다. 계수갱신이 제대로 이루어 진후에  $e_a$ 는 작은 값으로 되고  $e_s$ 값은  $e_a$ 과 거의 같게 된다. 식(3)의 각 파라메터는 다음과 같다.

- feedforward 필터 텁 길이  $M = 64$
- feedback 필터 텁 길이  $N = 192$
- SNR = 40dB
- $\alpha = 6 \times 10^{-7}$

성능비교를 위한 DMGSA의 결정영역  $d=0.2$  이다. 실험에서 사용된 갑자기 바뀌어진 채널환경은 표1과 같다.

표 1. 채널 고스트 상황

크기(dB)	위상(°)	지연(μs)
-6.02	100 °	0.25
-13.97	-49 °	1.25
-20.0	49 °	2.25
-26.02	45 °	2.823

그림 4는 갑자기 채널이 바뀌었을 때 DMGSA와 ASBEA의 1500 iteration 후의 신호성좌를 보여주고 있다. 두 알고리즘 모두 어느 정도 수렴하는 형태를 보여주고 있지만 제안된 알고리즘이 수렴하는 속도가 더 빠른 것을 알 수 있다. 3000 iteration 후에는 두 알고리즘 모두 완전히 수렴한다.

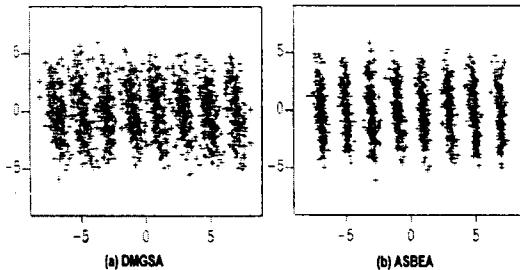


그림 4. 채널 등화 성능

그림5는 MSE를 나타내는데 iteration 초기에는 비슷한 값을 갖지만 진행이 될 수록 약간의 차이가 계속적으로 나는 것을 알 수 있다.

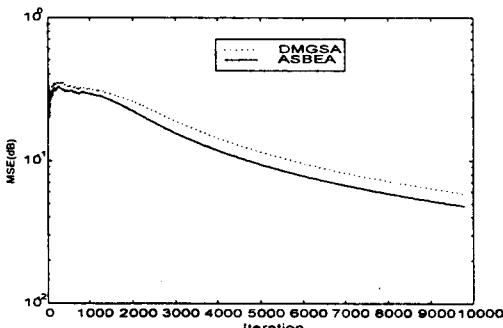


그림 5. Iteration 수에 따른 MSE.

## 5. 결 론

본 논문에서 8-VSB HDTV 모뎀 수신시스템에 적용될 수 있는 자력 복구 채널등화 알고리즘으로 DMGSA에서와 같이 결정영역을 정하는 방법이 아닌 수학적인 모델링을 통하여 열악한 채널환경에서는 GSA를 사용하

고 어느정도 수렴이 이룬후에는 DDA를 사용하는 방법을 제안하였다. 직접결정방식에서 자력복구방식으로 전환하는데 있어서 스위칭 메커니즘이 필요하지 않고 자연스럽고 부드럽게 전환이 가능하다.

## (참 고 문 헌)

- [1] ATSC standard A/54, Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard, 1995
- [2] V. Weerackody and S. A. Kassam, "Dual Mode Type Algorithm for Blind Equalization," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-42, no. 6, pp.22-28, Jan. 1994.
- [3] Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation System," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-23, pp. 679-682, June 1975.