

### QAM 복조용 이중 모드 채널 등화 알고리즘

류석규\*, 황유모\*, 송진호\*\*  
 명지대학교 정보제어공학과\*, 세종 엔지니어링\*\*

#### Dual-mode Blind Equalization Algorithm for QAM Demodulation

Seok-Kyu Ryu\*, Humor Hwang\*, Jin-Ho Song\*\*  
 Dept. of Information Control Eng. Myong-Ji University\*, Sejong Engineering\*\*

**Abstract** - We propose a robust Dual-Mode blind equalization algorithm based on Quadrant-partitioned Constant Modulus Algorithm (QCMA) and Modified Constant Modulus Algorithm(MCMA) for QAM demodulation and its performance evaluated. The proposed algorithm show that the stability in setting 2d range and the faster convergence accomplished to conventional Dual-Mode algorithm.

#### 1. 서 론

단일 주파수를 사용하는 QAM 변복조 시스템에서는 제한된 대역폭에 의한 신호간의 간섭(inter-symbol interference:ISI)으로 인해 정확한 정보의 송수신이 어렵게 왜곡이 되기 때문에 신호간의 간섭 없이 올바른 복조를 위해서는 채널 등화기는 필수적이라 하겠다<sup>[1]</sup>. 전송 효율을 높이기 위해 훈련열(training sequence)을 사용하지 않고 채널 등화를 수행하는 등화기를 자력 복구 채널 등화기(blind equalizer)라 하며 최근 활발히 연구되고 있다.<sup>[2]-[3]</sup>

그림 1은 자력 복구 채널 등화기를 구성하는 기저 대역 디지털 통신 시스템 블록도이다. 채널 등화기 출력  $y(n) = W^T(n) X(n)$ 이며, 채널 등화기의 필터 탭수가  $N = (2L + 1)$ 이면  $X(n) = [x(n+L), \dots, x(n-L)]^T$ 이고 수신된 신호  $x_n$ 는 아래와 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

위 식의  $a_n$ 은 송신 심볼을,  $h_i$ 는 채널 임펄스 응답을 나타내며  $n_n$ 은 가우시안 노이즈를 나타낸다.

채널 등화기 탭 계수는 에러 비용 함수를 최소화하도록 식 (2)의 LMS 알고리즘에 의해 선정되는데 그 에러 비용 함수는 채널 등화기 출력과 전송 심볼의 사전 정보에 의해 결정된다.

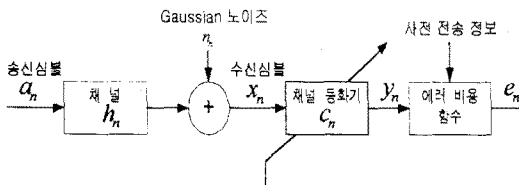


그림 1. 채널 등화기의 기저 대역 등가 모델.

$$C(n+1) = C(n) - \mu e(n) X^*(n) \quad (2)$$

여기서  $\mu$ 는 수렴 속도(step-size)를 말하며  $e(n)$ 은 채널 등화 알고리즘의 에러 비용 함수에 따라 다르게 선정된다.

Godard<sup>[3]</sup>에 의해 제안된 Constant Modulus Algorithm(CMA) 알고리즘은 QAM 복조에 많이 쓰이는 채널 등화 기법이나 채널 등화와 위상 오차 복구와 독립적으로 수행하는 장점이자 단점을 갖고 있다. 이를 개선한 채널 등화와 위상 오차 복구를 동시에 수행하는 Modified Constant Modulus Algorithm(MCMA)가 제안되었다<sup>[4]</sup>. MCMA는 위상 오차와 채널 등화를 동시에 수행하는 장점이 있지만 충분히 수렴후에도 큰 에러값을 갖으므로 DD 모드로 전환해야 하는 문제점을 갖고 있다. MCMA의 장점을 갖으며 미세 조정이 가능한 Quadrant-partitioned Constant Modulus Algorithm(QCMA) 알고리즘을 제안하기도 하였다<sup>[6]</sup>.

대부분의 자력 복구 채널 등화 알고리즘은 채널 등화를 수행할 때 어느 정도 열린 눈(open eye) 상태가 되면 DD 모드로 전환을 하여 수렴 속도를 향상시키는 방법을 사용하게 된다. 이때 DD 모드로 일찍 전환하게 되면 발산을 하게되고 너무 늦게 전환을 하면 늦은 수렴 속도를 갖게 되어 전환 시점의 결정이 매우 중요하다 하겠다. 이러한 어려움을 해결하기 위해 송신 심볼로부터 일정 영역을 미리 지정해 놓고 그 영역에 수신된 신호는 DD모드로 탭 계수를 갱신하고 영역 밖의 수신 심볼은 자력 복구 채널 등화를 수행하여 자연스럽게 DD모드로 전환하는 그림 2의 이중모드(dual-mode) 알고리즘이 제안되었다<sup>[5]</sup>. 하지만 지정 영역 선정에 따른 성능의 불안정성으로 최적의 2d를 선정해야 하는 어려움이 있다.

#### 2. 새로운 이중모드 채널 등화 알고리즘

본 알고리즘은 채널 등화와 위상 오차를 동시에 복구하는 MCMA 알고리즘의 장점과 미세 조정이 가능한 QCMA 알고리즘의 장점을 모두 갖는 이중모드 알고리즘이라 할 수 있다. 그러므로 채널 등화와 위상 오차 복구를 동시에 수행하며 영역 2d의 최적 값을 찾아야 하는 어려움을 해결하였으며 DD 모드로 전환 시점을 결정할 필요가 없을 뿐 만 아니라 위상 오차와 주파수 오차 ( $\Delta f/R = 10^{-4}$ ,  $\Delta f$ 는 주파수 오차, R은 심볼율)가 존재할 때에도 우수한 성능을 갖는 자력 복구 채널 등화 알고리즘을 제안하고자 한다. 채널 등화기 탭 계수는 지정 영역( $D_k$ )에 따른 에러 비용 함수는 아래 식 (3)과 같이 갱신하게 된다.

$$\begin{aligned} c_{n+1} &= c_n - \mu e_n^Q x_n^*, \quad y_n \in D_k \\ c_{n+1} &= c_n - \mu e_n^M x_n^*, \quad y_n \notin UD_k \end{aligned} \quad (3)$$

위 식에서  $e_{n,R}^M$  는 MCMA 알고리즘<sup>[5]</sup> 에서 사용되는 에러 함수를 나타내고  $e_{n,Q}^Q$  는 QCMA 알고리즘<sup>[6]</sup> 에서 사용되는 에러 함수를 나타내며 MCMA 알고리즘의 에러 함수는 아래 식 (4) 와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} e_{n,R}^M &= [|y_{n,R}|^2 - R_{2,R}] y_{n,R} \\ e_{n,I}^M &= [|y_{n,I}|^2 - R_{2,I}] y_{n,I} \end{aligned} \quad (4)$$

위의 상수  $R_{2,R}$  와  $R_{2,I}$  은 전송 신호의 실수 허수부 각각의 신호 성좌에 따라 구하며  $R_{2,R} = E[|a_{n,R}|^4] / E[|a_{n,R}|^2]$  와  $R_{2,I} = E[|a_{n,I}|^4] / E[|a_{n,I}|^2]$  으로 구해진다.

지정 영역 ( $D_k$ ) 안에서 사용되는 QCMA 에러값은 아래 식 (5)와 같이 변환한 후에 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{QR}(n) &= y_R(n) - \frac{Q}{2} \operatorname{sgn} y_R(n) \\ y_Q(n) &= y_I(n) - \frac{Q}{2} \operatorname{sgn} y_I(n) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 M-ary QAM 시스템에서  $Q = \sqrt{M}$ ,  $\operatorname{sgn}$  함수는 부호 함수를 나타내며  $y_{QR}(n)$  및  $y_Q(n)$  은 등화기 출력 복소 신호의 실수부와 허수부를 나타낸다. 에러값은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} e_{n,R}^Q &= [|y_{n,QR}|^2 - R_{2,QR}] y_{n,R} \\ e_{n,I}^Q &= [|y_{n,QI}|^2 - R_{2,QI}] y_{n,I} \end{aligned} \quad (6)$$

상수  $R_{2,QR}$  과  $R_{2,QI}$  은 16QAM 일 때는 1을, 64QAM 에서는 6의 값을 갖는다.

제안한 알고리즘은 위상 복구와 채널 등화를 동시에 수행하며 DD 모드로 변환없이 수렴 속도를 향상시키며 위상 오차 및 주파수 오차에도 적극적으로 대처하는 장점을 갖춘 알고리즘이라 하겠으며 이중모드 알고리즘의 가장 큰 문제점인 최적의 2d와 상관없이 안정적인 성능을 보임을 알 수 있었다.

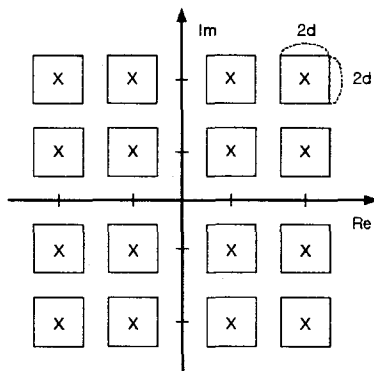


그림 2. 이중모드 알고리즘 개념도.

### 3. 시뮬레이션 결과

성능 평가를 위하여 16-QAM 시스템에서 20dB 의 백색 가우시안 노이즈를 고려하였으며 SGA 알고리즘<sup>[7]</sup> 에서 사용한 그림 3의 채널 임펄스 응답을 사용 하였고

기저 대역과 주파수 오차 ( $\Delta f/R = 10^{-4}$ ) 있을 때 SPW(Signal Processing Worksystem)을 이용한 전산 모의 실험을 하였다. 그 결과를 20,000 심볼 수신후의 심볼 에러율(SER)과 2d 값에 따른 성능의 안정성을 비교 평가하고자 하였다.

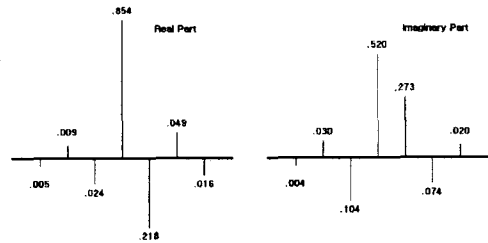


그림 3. 채널 임펄스 응답

그림 4는 기저 대역에서 지정 영역 ( $D_k$ ) 의 2d 값에 따른 3,000 심볼 수신후의 심볼 에러율을 나타낸 것이다. DMGSA<sup>[5]</sup> 는 2d를 선정하는 것에 따라 성능이 좌우되는 것을 볼 수 있었고 최적의 2d값에서도 제안한 알고리즘의 성능에 못 미치는 것을 알 수 있었다. 제안한 이중모드 QCMA 알고리즘은 2d값에 상관없이 안정적인 성능을 나타내었고 DMGSA보다 우수한 성능을 모든 2d 영역에서 나타내었다.

그림 5는 주파수 오차 ( $\Delta f/R = 10^{-4}$ ) 가 존재할 때의 성능 평가로써 DMGSA 의 그래프와 제안한 알고리즘과 비교해 볼 때 기저 대역에서와 비슷한 결과를 얻어낼 수 있었다.

또한 20,000 심볼 수신후, 최적의 2d값을 갖을때의 심볼 에러율을 비교해 보면 기저 대역에서 DMGSA는 0.00675를, 제안한 알고리즘은 0.0047을 보여 주었고 주파수 오차가 있는 환경에서는 DMGSA는 0.0101을, 그리고 제안한 알고리즘은 0.0061 을 보여 주었다.

성능 평가를 위한 SER 과 2d에 따른 성능의 안정도 판정을 통해 제안한 알고리즘의 우수한 성능을 확인하였고 채널 등화와 주파수 오차 복구를 동시에 수행하며 DD모드로 전환할 필요 없이 자동적 스위칭을 하여 심볼 에러율과 MSE(mean square error) 에서 우수한 성능 향상을 보임을 확인하였다.

앞으로 단일 주파수 전송 방식과 이동 통신에 적합한 다중 주파수 전송 방식의 성능 비교 평가가 필요하겠다.

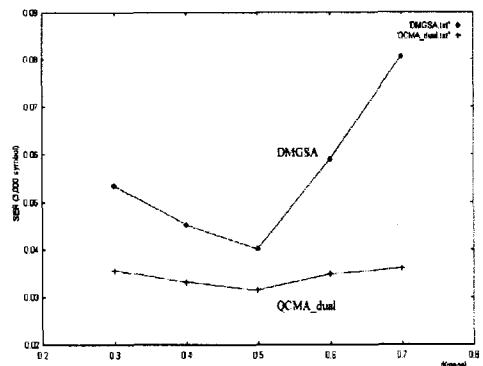


그림 4. 기저 대역에서 2d에 따른 심볼 에러율.

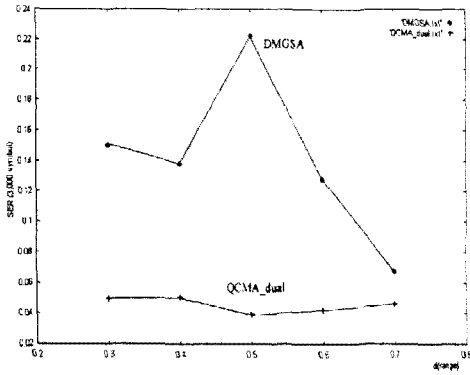


그림 5. 주파수 offset 존재시 2d에 따른 심볼 에러율

[참 고 문 헌]

- [1] A. Benveniste and M. Goursat, "Blind Equalizers," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-23, pp. 871-883, Aug., 1984
- [2] Y. Sato, "A method of self-recovering equalization for multi-level amplitude modulation systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-23, pp. 679-682, June, 1975.
- [3] D. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems," *IEEE Trans. Comm.* vol. COM-35, pp. 1867-1875, Nov., 1980.
- [4] K.N Oh and Y.O. Chin, "New blind equalization techniques based on constant modulus algorithm," *Proc. 1995 IEEE GLOBECOM*, Singapore, pp.865-869, Nov., 1995.
- [5] V. Weerackody and S. A. Kassam, "Dual-mode type algorithm for blind equalization," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-42, no. 6, pp.22-28, Jan. 1994.
- [6] 류석규, 황유모, "QAM 복조용 4분면 분할 자력복구 채널등화 알고리즘", '98년도 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.624-626, 1998.11.
- [7] G. Picchi and G. Prati, "Blind equalization and carrier recovery using a "Stop-and-Go" decision-directed Algorithm," *IEEE Trans. Comm.* vol. COM-35, pp. 877-887, Sep., 1987.