

고차 QAM신호의 적응 자력등화를 위한 Stop-and-Go Dual-Mode Modified CMA

정희원 임창현*, 김기윤**, 김동규*, 최형진**

A Stop-and-Go Dual-Mode Modified Constant Modulus Algorithm for Adaptive Blind Equalization of High-Order QAM Signals

Chang-hyun Yim*, Ki-yun Kim**, Dong-kyu Kim*, Hyung-jin Choi** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 고차 QAM신호와 다양한 채널환경에서 수렴속도와 정상상태에서의 평균제곱오차(MSE)의 성능개선을 위한 자력등화 알고리즘으로 Stop-and-Go Dual Mode Modified CMA(SAG DM MCMA)를 제안한다. 제안한 알고리즘은 오차신호를 등화기 출력신호의 실수, 허수성분으로 각각 정의한 Modified CMA(MCMA)에 이중모드와 Stop-and-Go(SAG) 개념을 결합함으로써 채널등화가 그릇된 방향으로 수렴하는 것을 방지하고 동시에 신뢰성 있게 등화기가 동작하도록 도와주는 역할을 한다. 시뮬레이션 결과에 의하면 고차 QAM 신호인 64, 256QAM신호와 심각한 채널환경하에서 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 정상상태에서의 평균제곱오차와 잔여 ISI가 더 작은 값을 갖는다.

ABSTRACT

In this paper, in order to speed up the convergence process and improve the steady state mean square error simultaneously, we propose the Stop-and-Go Dual Mode Modified Constant Modulus Algorithm(SAG DM MCMA) for adaptive blind channel equalization of high order QAM. The proposed algorithm is a hybrid scheme of the Modified CMA that treat error signals with real and imaginary components of the equalizer output, the concept of dual mode CMA, and Stop-and-Go algorithm. As a result it can prevent blind equalization from converging to incorrect direction and simultaneously operates reliably for tap weight adaptation. We demonstrate via simulation that the proposed algorithm achieves lower steady state mean square error and residual ISI than the conventional algorithms under high order QAM signals and severe channel environment.

I. 서론

디지털 통신시스템에서는 대역제한 채널(band-limited channel) 특성으로 인하여 인접 심볼간에서 서로 영향을 주어 송신신호를 왜곡시키는데 이를 인접심볼간의 간섭(ISI:InterSymbol Interference)이라 하며 이 ISI는 통신 시스템 성능을 저하시키는

주요 요소로 작용한다. 특히 고차 QAM 신호에서는 다중레벨(multilevel) 특성 때문에 ISI 현상은 더욱 더 심각한 장애 요소로 작용한다. ISI으로 인하여 왜곡된 송신신호를 복원하기 위한 기법이 적응 채널등화(adaptive channel equalization)이다. 적응 채널등화에는 크게 훈련등화와 자력등화로 두 부분으로 분류할 수 있다.

송·수신단 사이에 이미 약속된 신호열인 훈련열

* 삼성전자 중앙연구소(chyim@asic.sec.samsung.co.kr),

** 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(hjchoi@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : 99499-1223, 접수일자 : 1999년 12월 23일

(training sequence)을 이용하여 최적의 등화기 탭 계수를 추정하는 방법을 혼련등화라 한다. 그러나 혼련열이 아닌 단지 수신신호만을 이용하여 적응적으로 채널을 등화하는 기법을 자력등화(blind equalization)라 한다. 다지점통신망(multipoint communication network)과 같이 하나의 제어 시스템에 여러 개의 부시스템이 연결된 통신망에서는 혼련열을 전송하는 것이 큰 문제가 되는 경우가 있다. 즉 채널의 급격한 변화에 의해 데이터 전송 중에 어느 한 부시스템이 중단되었을 때, 그 시스템만을 위해서 다시 혼련열을 보내야 한다. 뿐만 아니라 혼련열을 보내는 방법은 데이터 전송물에서 비효율적이고 비경제적이기 때문에 유·무선통신이나 이동통신 시스템 등에 자력등화 알고리즘을 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

자력등화 알고리즘은 Sato가 최초로 제안하여 PAM신호에 적용하였으며^[1], 그 이후 Godard가 제안한 Constant Modulus Algorithm(CMA)는 M-ary QAM신호 및 MPSK신호 등의 복소신호까지 적용이 가능하도록 발전시켰다^[2]. Godard 이후 많은 자력등화 알고리즘들이 제안되었다. Picchi와 Prati는 수신신호를 판정한 오차신호와 Sato 알고리즘에 의한 오차신호를 정의하여 두 오차신호 부호의 동일성 여부에 따라 현재의 탭계수를 계속(Go) 갱신하거나 갱신을 중단(Stop)하는 Stop-and-Go(SAG) 알고리즘을 제안하였다^[3]. Benveniste와 Goursat는 등화 초기에 Sato의 자력등화 알고리즘을 적용하다가 어느 시점에서 수렴이 일어난 후에 자동적으로 등화기 출력신호와 이를 판정한 신호와의 차, 즉 오차신호를 적용하는 결정 지향(DD:Direct-Decision) 알고리즘으로 전환하는 방법을 제안하였다^[4].

Weerackody와 Kassam은 Godard가 제안한 CMA를 바탕으로 등화기 출력신호의 분할 영역에 따라 두 개의 자력 등화 알고리즘을 사용하는 이중모드(Dual Mode) CMA(DM CMA)를 제안하였다^[5]. 등화기 출력 신호의 전력을 가지고 오차신호를 정의한 CMA과는 달리 등화기 출력신호의 실수(real), 허수(imaginary) 성분으로 각각 나누어 오차신호를 정의한 Modified CMA(MCMA) 알고리즘이 있다. 또한 MCMA 알고리즘을 바탕으로 이중모드 형태로 적용하는 Dual Mode MCMA(DM MCMA) 알고리즘도 제안되었다^[6].

본 논문에서는 정상상태에서의 평균제곱오차(MSE:Mean Square Error)와 수렴속도를 개선시키기 위하여 이중모드 MCMA와 SAG의 개념을 적용

한 SAG DM MCMA(Stop-and-Go Dual Mode CMA)를 제안하였다. 기존의 DM MCMA 알고리즘을 바탕으로 채널등화가 신뢰성을 가질 경우에만 탭 계수를 갱신하는 SAG의 개념을 적용함으로써 정상상태에서 더 낮은 MSE와 잔여 ISI를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 전반적인 자력등화 알고리즘에 대하여 알아보고, 제 III장에서는 기존의 자력등화 알고리즘의 특성을 설명한다. 제 IV장에서는 본 논문에서 제안하는 SAG의 개념을 적용한 SAG DM MCMA에 대하여 서술하고, 제 V장에서는 고차 QAM신호와 다양한 채널환경에 대해 시뮬레이션을 통하여 기존의 알고리즘들과 비교 및 분석하고, 제 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 자력등화 알고리즘의 개요

그림 1은 디지털 통신 시스템모델을 기저대역 등가모델로 도시하였다. 송신신호는 대역제한된 채널 $h(n)$ 을 통과한 후, 잡음 $\eta(n)$ 과 더해져서 등화기 입력신호는 다음과 같다.

$$x(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i) a(n-i) + \eta(n) \quad (1)$$

여기서, $h(n)$ 는 탭수가 L 인 이산 FIR 필터로 모델링할 수 있으며 잡음 $\eta(n)$ 는 평균이 0인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)으로 모델링할 수 있다. 따라서 등화기의 출력신호는 다음과 같다.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} c(i) x(n-i) \quad (2)$$

위 식을 벡터로 표기하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(n) = C^T(n) X(n) \quad (3)$$

여기서, $X(n)=[x(n),x(n-1),\dots,x(n-N+1)]^T$, 등화기 입력신호벡터, $C(n)=[c_0(n),c_1(n-1),\dots,c_{N-1}(n-N+1)]^T$ 은 등화기의 탭 계수 벡터, N 은 등화기의 총 탭수를 나타낸다. 수신신호의 지연(delay)은 등화기 탭 계수벡터의 기준 탭 위치에 따라 결정되는데 그 위치는 일반적으로 중앙에 위치하며, 초기에 기준 탭의 값은 1로, 그 나머지 탭의 값은 0으로 설정하여

등화기의 탭계수를 적응적으로 갱신하게 된다. 등화기의 전달함수는 채널의 전달함수의 역(inverse)관계를 가짐으로써 등화기는 ISI로 인한 송신신호의 채널 왜곡을 충분히 보상하여 송신신호를 복원할 수 있다. 탭 계수 갱신 알고리즘은 확률경사도법(stochastic gradient method)을 적용하여 기존의 LMS 알고리즘과 같은 형태로 변형하여 비용함수가 최소화가 되도록 등화기의 탭 계수벡터 C_n 를 다음 식과 같이 갱신하게 된다.

$$C_{n+1} = C_n - \mu \nabla J_n = C_n - \mu e_n X_n^* \quad (4)$$

여기서 *는 공액복소수, μ 는 수렴율(stepsize), J_n 는 비용함수(cost function), e_n 는 오차신호를 나타낸다.

자력등화 알고리즘들은 비용함수가 y 에 대해서 3차 이상의 함수이어야 하므로 nonconvex 형태의 비용함수가 된다. 또한 오차신호를 어떻게 정의하느냐에 따라 자력등화 알고리즘들을 분류할 수 있다.

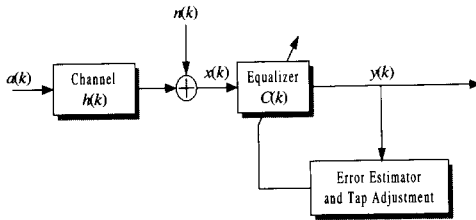


그림 1. 디지털 통신시스템의 기저대역 등가 모델

III. 기존의 자력등화 알고리즘

1. Constant Modulus Algorithm

Godard가 제안한 CMA(Constant Modulus Algorithm)는 QAM신호의 대표적인 자력등화 알고리즘으로 오차신호를 다음과 같이 정의하였다.

$$e(n) = y(n)(|y(n)|^2 - R^2) \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{E[|a(n)|^4]}{E[|a(n)|^2]} \quad (6)$$

여기서 R^2 는 송신신호 $a(n) = a_I(n) + ja_Q(n)$ 의 통계적 특성에 따라 결정된다. CMA의 오차신호는 등화기 출력신호의 크기만을 고려하고 위상에 관한 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 반송파 옵셋에

관계없이 채널을 등화시킬수 있는 장점을 지닌다. 한편 등화기의 입력에서 반송파의 위상이 정확히 일치하더라도 등화 과정에서 신호열의 성좌도(constellation)가 회전하는 현상이 발생한다. 그러므로 별도로 등화기 출력의 위상옵셋을 복원하기 위한 회로가 있어야한다. 또한 그림 2와 같이 고차 QAM신호일수록 반경분포가 균일하지 않기 때문에 Dual-Mode CMA, RDE와 같이 다중반경을 이용한 자력등화 알고리즘들에서는 채널을 등화시키는데 어려움을 가지고 있다.

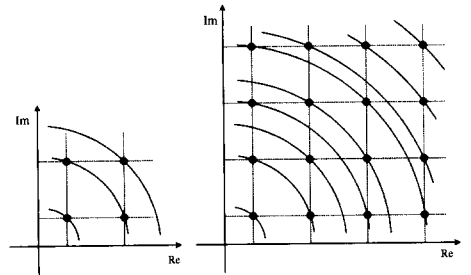


그림 2. QAM신호의 반경분포도(16, 64QAM)

2. Modified CMA

Modified CMA(MCMA)의 오차신호는 CMA와는 달리 실수(real), 허수(imaginary) 성분으로 각각 정의하였다^[6].

$$e(n) = e_I(n) + je_Q(n) = y_I(n)(y_I^2(n) - M_I^2) + jy_Q(n)(y_Q^2(n) - M_Q^2) \quad (7)$$

$$M_I^2 = \frac{E[a_I^4(n)]}{E[a_I^2(n)]}, \quad M_Q^2 = \frac{E[a_Q^4(n)]}{E[a_Q^2(n)]} \quad (8)$$

위와 같이 오차신호를 실수, 허수성분에 대해서 각각 정의함으로써 CMA의 단점인 임의의 위상 회전(phase rotation)이 일어나는 현상과 다중반경에 대한 불균일 분포를 해결한 알고리즘이라 할 수 있다.

3. Dual Mode Modified CMA

자력등화 알고리즘들은 정상상태에서의 MSE를 더 낮추기 위하여 이중모드(Dual Mode)의 개념, 즉 두 종류의 자력등화 알고리즘을 사용하여 채널을 등화시킨다. 예를 들어 Dual Mode CMA(DM CMA)는 그림 3와 같이 등화기의 출력신호가 분할 영역에 속할 경우 등화기 출력신호의 반경에서 가장 가까운 송신신호의 다중반경 R_k (RDE), 그렇지

않을 경우 CMA의 반경인 $R(CMA)$ 을 사용하여 오차신호를 정의한다^[5]. 대체적으로 정상상태에서 CMA보다 MSE가 더 낮은 값을 가진다. 그러나 Dual Mode Modified CMA(DM MCMA)는 DM CMA의 다중반경이 아닌 송신신호의 실수, 허수 성분의 다중레벨(multilevel) $M_{I,k}$, $M_{Q,k}$ 을 이용하는 알고리즘이다. 그림 4와 같이 실수, 허수 성분에 대해서 $M_{I,k}$ - d 부터 $M_{I,k}+d$ 까지 이루어진 분할영역을 16QAM신호에 대해서 각각 도시하였다. 등화기의 출력신호($y_I(n)$, $y_Q(n)$)가 이 분할영역안에 속할 경우는 $y_I(n)$, $y_Q(n)$ 에 가장 가까운 신호 성분인 $M_{I,k}$, $M_{Q,k}$ (multilevel)를, 그렇지 않을 경우는 MCMA의 레벨인 M_I , M_Q (single level)을 이용하여 오차신호를 정의하였다. 즉 DM MCMA의 오차신호는 다음과 같다.

$$e(n) = e_I(n) + je_Q(n) \tag{9}$$

$$e_I(n) = \begin{cases} y_I(n)(y_I^2(n) - M_{I,k}^2) & , y_I(n) \in D_{I,k} \\ y_I(n)(y_I^2(n) - M_I^2) & , otherwise \end{cases} \tag{10}$$

$$M_{I,k} = Dec\{y_I(n)\} \tag{11}$$

$$e_Q(n) = \begin{cases} y_Q(n)(y_Q^2(n) - M_{Q,k}^2) & , y_Q(n) \in D_{Q,k} \\ y_Q(n)(y_Q^2(n) - M_Q^2) & , otherwise \end{cases} \tag{12}$$

$$M_{Q,k} = Dec\{y_Q(n)\} \tag{13}$$

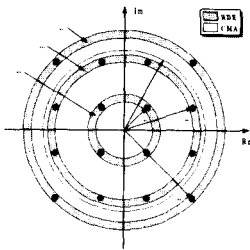
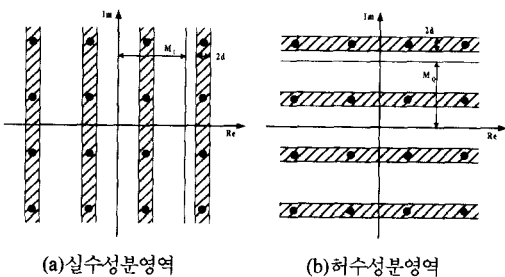


그림 3. 16QAM 신호의 분할영역(DM CMA)



(a)실수성분영역

(b)허수성분영역

그림 4. 16QAM 신호의 분할영역(DM MCMA)

IV. Stop-and-Go Dual-Mode Modified CMA

Stop-and-Go Dual-Mode Modified CMA(SAG DM MCMA)는 본 논문에서 제안하는 자력등화 알고리즘으로 DM MCMA에 Stop-and-Go 알고리즘의 개념을 결합한 알고리즘이다.

Stop-and-Go(SAG) 알고리즘은 Picchi와 Prati가 제안한 알고리즘으로 수신신호와 이를 판정한 신호의 차의 정확도에 따라 현재의 탭계수를 계속(Go) 갱신하거나 갱신을 중단(Stop)하는 알고리즘이다. 이 때 오차의 정확도는 등화기 출력의 부호와 송신열의 부호의 동일성 여부에 의해 판정된다. 우선 다음과 같은 두 개의 오차신호를 등화기 출력신호의 실수, 허수성분에 대해 각각 정의한다.

$$\hat{e}_I(n) = y_I^2(n) - M_{I,k}^2 \tag{14}$$

$$\tilde{e}_I(n) = y_I^2(n) - M_I^2 \tag{15}$$

$$k = \arg \min_i |y_I^2(n) - M_{I,i}^2| \tag{16}$$

$$\hat{e}_Q(n) = y_Q^2(n) - M_{Q,k}^2 \tag{17}$$

$$\tilde{e}_Q(n) = y_Q^2(n) - M_Q^2 \tag{18}$$

$$k = \arg \min_i |y_Q^2(n) - M_{Q,i}^2| \tag{19}$$

실수성분에 대해 식(14), 식(15)에 SAG의 개념을 적용하면 다음과 같은 지표(flag)함수인 $f_I(n)$ 을 정의한다.

$$f_I(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}\{\hat{e}_I(n)\} = \text{sgn}\{\tilde{e}_I(n)\} \\ 0 & \text{if } \text{sgn}\{\hat{e}_I(n)\} \neq \text{sgn}\{\tilde{e}_I(n)\} \end{cases} \tag{20}$$

허수성분에 대해서도 동일하게 적용하면 다음과 같다.

$$f_Q(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}\{\hat{e}_Q(n)\} = \text{sgn}\{\tilde{e}_Q(n)\} \\ 0 & \text{if } \text{sgn}\{\hat{e}_Q(n)\} \neq \text{sgn}\{\tilde{e}_Q(n)\} \end{cases} \tag{21}$$

즉 적용된 SAG의 개념은 실수, 허수성분에 대하여 각각 오차추정신호(\hat{e}_I , \tilde{e}_I , \hat{e}_Q , \tilde{e}_Q)의 부호 동일성 여부에 반영되었다. 위의 지표함수($f_I(n)$, $f_Q(n)$)를 DM MCMA에 결합한 알고리즘이

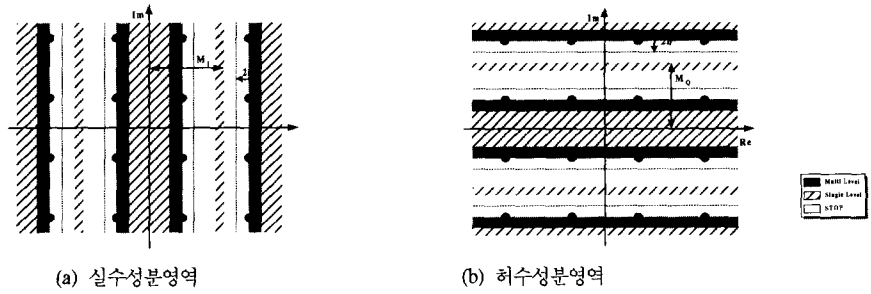


그림 5. 16QAM 신호의 분할영역(SAG DM MCMA)

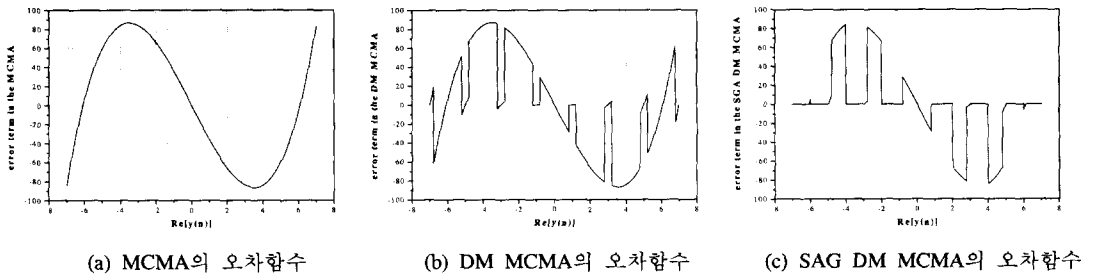


그림 6. 자력등화 알고리즘의 오차함수 비교

SAG DM MCMA으로, 이 알고리즘의 최종 오차신호는 다음과 같이 정의된다.

$$e(n) = e_i(n) + je_q(n) \quad (22)$$

$$e_i(n) = \begin{cases} f_i(k)y_i(n)(y_i^2(n) - M_{i,k}^2), & y_i(n) \in D_{i,k} \\ f_i(n)y_i(k)(y_i^2(n) - M_i^2), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (23)$$

$$e_q(n) = \begin{cases} f_q(n)y_q(n)(y_q^2(n) - M_{q,k}^2), & y_q(n) \in D_{q,k} \\ f_q(n)y_q(k)(y_q^2(n) - M_q^2), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

SAG DM MCMA도 역시 DM MCMA와 같이 등화기 출력신호의 분할 영역에 따라 오차신호의 파라미터로써 multi level($M_{i,k}, M_{q,k}$) 또는 single level(M_i, M_q)을 이용한다. 추가적으로 SAG의 개념을 적용하여 multi level을 이용한 오차신호(식(14), 식(17))와 single level을 이용한 오차신호(식(15), 식(18))의 부호가 서로 같다면 현재의 탭 계수 갱신 방향이 옳다고 판정하여 계속 채널을 등화시킨다. 그러나 부호가 서로 다르면 탭 계수 갱신방향이 옳지 않다고 판정하여 현재의 탭계수 갱신을 중단하게 된다. 즉 부호가 서로 같으면 DM MCMA를 적용하고, 그렇지 않다면 분할영역에 상관없이 현재의

탭 계수 갱신을 중단하는 알고리즘이다. 등화기의 탭 계수는 다음과 같이 갱신된다.

$$C_{n+1} = C_n - \mu(e_i(n) + je_q(n)) X_n^* \quad (25)$$

그림 5는 16QAM신호에 대해서 SAG DM MCMA의 분할영역에 따라 적용되는 알고리즘들을 실수, 허수성분에 대해서 각각 도시하였다. 어두운 영역은 등화기 출력신호에서 가장 가까운 multi level을, 빛금친 영역은 single level을, 백색부분은 탭 계수를 중단하는 영역이다. 또한 64QAM신호의 실수성분에 대해서 각 자력등화 알고리즘간의 오차함수를 도시함으로써 각 알고리즘들의 동작특성을 쉽게 이해할 수 있도록 하였다. 그림 6-(b)의 DM MCMA 오차함수에서 등화기의 출력신호가 분할영역에 속하지 않을 경우 그림 6-(a)의 MCMA의 오차크기와 같지만 분할영역에 속하면 이에 해당되는 레벨에 의한 오차크기의 값을 가진다. 그림 6-(c)의 SAG DM MCMA 오차함수는 탭 계수를 갱신하게 될 경우 그림 6-(b)의 DM MCMA 오차크기 또는 그림 6-(a)의 MCMA 오차크기를 가진다. 그러나 탭 계수를 갱신을 중단할 경우 SAG DM MCMA 오차크기는 0 값을 가짐을 확인할 수 있다.

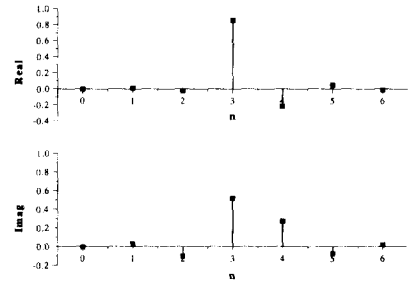
V. 시뮬레이션 및 고찰

본 장에서는 64QAM, 256QAM신호를 대상으로 제안한 자력등화 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가하였다. 시뮬레이션에 사용한 채널의 임펄스 응답특성과 주파수 응답특성을 그림 7과 그림 8에 각각 도시하였다. 채널 1은 전형적인 전화 채널의 특성을 가지며^[5], 채널 2는 다중경로(multipath)로 인한 주파수 선택성 채널의 특성을 지닌다^[7]. 채널 1은 채널 2에 비해 신호 왜곡이 비교적 적은 채널이므로 등화기의 총 탭수는 채널 1인 경우에는 $N=8$, 채널 2는 $N=23$ 을 사용하였다. 또한 등화기의 수렴율은 0.0004로 설정하였고 분할영역의 크기인 d 는 0.0308(64QAM), 0.003834 (256QAM)을 사용하였다. 등화기의 출력신호가 발산하지 않는 범위의 파라미터들을 사용하였다. QAM의 송신신호열은 복소신호열 $a(n) = a_R(n) + ja_I(n)$ 으로 송신신호열의 평균전력을 정규화시켰으며, 백색 스펙트럼을 갖고 동일한 확률로 발생시켰다. 그리고 신호대잡음비(SNR)는 64QAM신호에는 30[dB], 256QAM신호에서는 35[dB]을 사용하였다. 성능평가의 기준으로 다음과 같이 정의되는 갱신횟수에 따른 ISI의 수렴특성으로 설정하여 300번의 독립적인 시뮬레이션을 통하여 ISI에 대한 앙상블 평균을 구하였다^[8].

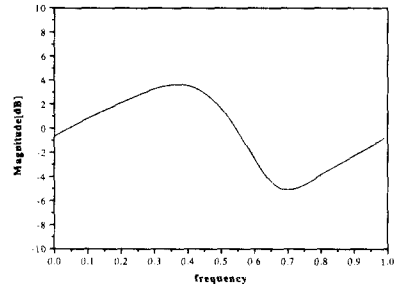
$$ISI(n) = \frac{\sum_k |h(k) * c(k)|^2 - |h(k) * c(k)|_{\max}^2}{|h(k) * c(k)|_{\max}^2} \quad (26)$$

여기서 *는 컨벌루션을, $h(k)$ 는 채널의 임펄스 응답특성을, 그리고 $c(k)$ 는 등화기의 임펄스 응답특성을 나타낸다. 그러므로 등화기가 이상적으로 동작한다면 식(26)의 ISI의 값은 0이 된다.

그림 9는 채널 1을 사용하여 64, 256QAM신호에 대해 갱신횟수에 따른 잔여 ISI를 나타내었다. 그림 9의 (a)에 의하면 CMA, DM CMA는 초기상태에서는 수렴속도가 빠르나 정상상태에서의 잔여 ISI는 커진다. 그러나 DM MCMA와 SAG DM MCMA는 ISI가 더 작음을 확인할 수 있다. 또한 DM MCMA는 DM CMA보다 더 낮은 ISI값을 가지므로 MCMA의 개념을 적용한 알고리즘들이 CMA 개념을 적용한 알고리즘보다 잔여 ISI를 더 줄일 수 있다. 특히 DM MCMA에 SAG의 개념을 적용한 SAG DM MCMA가 초기 수렴속도가 늦은 경향이 있지만 일단 수렴하게 된다면 타 알고리즘보다 빨리 수렴하면서도 정상상태에서 잔여 ISI는 타 알고

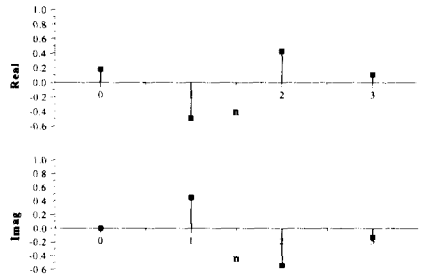


(a) 임펄스응답

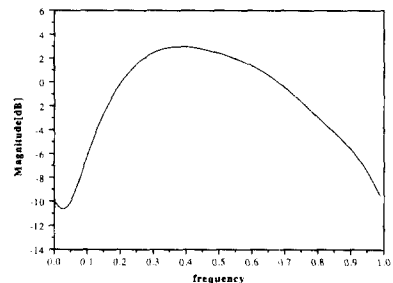


(b) 주파수응답

그림 7. 채널 1에 대한 응답 특성



(a) 임펄스응답



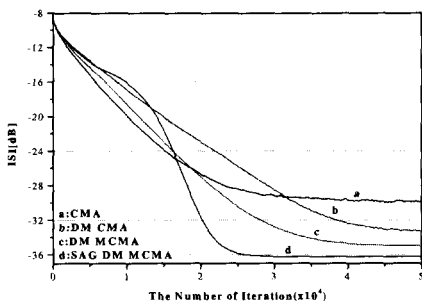
(b) 주파수응답

그림 8. 채널 2에 대한 응답 특성

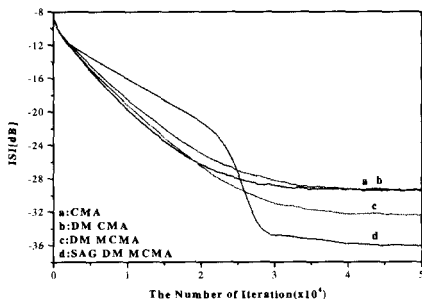
리즘보다 더 낮음을 알 수 있다. SAG DM MCMA는 초기상태에서는 채널로 인하여 탭 계수를 중단하는 횟수가 많으므로 초기 수렴속도가 늦은 현상이 발생하게 된다. 그러나 SAG의 개념에 의해 채널등화가 신뢰성 있게 진행하도록 도와주는 역할을

하게되므로 정상상태에서는 타 알고리즘보다 성능이 우수하다. 특히 그림 9의 (b)와 같이 고차 QAM 신호일수록 CMA, DM CMA는 거의 같은 성능이나 SAG DM MCMA가 DM MCMA보다 정상상태에서 약 4[dB]가 더 작은 값을 가진다.

그림 10은 채널 2을 사용하여 64, 256QAM신호에 대해 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 채널 1보다 왜곡이 심한 채널 2인 경우에도 64, 256QAM신호에 대해서 SAG DM MCMA가 타 알고리즘보다 우수하다. 특히 CMA와 비교하여 정상상태에서 약 10[dB]정도 더 낮음을 확인할 수 있다. 시뮬레이션을 통한 이상의 결과에서 제안한 자력등화 알고리즘이 고차 QAM 신호와 다양한 채널환경에서 효과적으로 채널을 등화시킬 수 있는 것을 확인하였다.

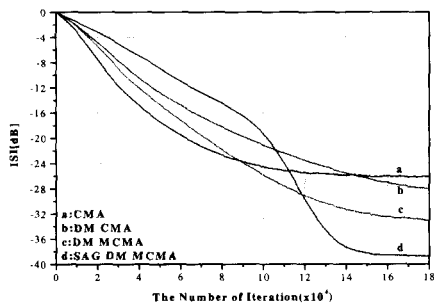


(a) 64QAM 신호인 경우

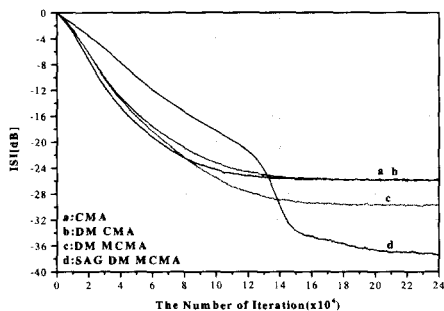


(b) 256QAM 신호인 경우

그림 9. 채널 1에 대한 ISI 비교



(a) 64QAM 신호인 경우



(b) 256QAM 신호인 경우

그림 10. 채널 2에 대한 ISI 비교

VI. 결론

본 논문에서는 고차 QAM신호에 대하여 효과적인 자력등화 알고리즘으로 DM MCMA와 SAG의 개념을 결합한 SAG DM MCMA를 제안하였다. SAG의 개념을 적용함으로써 초기상태에서는 채널로 인하여 탭 계수를 중단하는 횟수가 많으므로 초기 수렴속도가 늦은 현상이 발생할 수도 있다. 그러나 SAG의 개념에 의해 채널등화가 신뢰성있게 진행하도록 도와주는 역할을 하게 되므로 일단 수렴할 경우 정상상태에서는 타 알고리즘보다 더 작은 ISI을 얻을 수 있다. 즉 SAG의 개념을 적용하게 되면 탭 계수 갱신방향이 그릇된 방향으로 수렴하는 것을 방지하여 정상상태에서의 잔여 ISI 및 MSE를 더 줄일수 있다. 또한 수렴율을 크게 하면 초기 수렴속도를 개선시킬수 있다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘이 고차 QAM 신호와 다양한 채널환경에서 효과적으로 채널을 등화시킬수 있는 적합한 알고리즘임을 확인하였다.

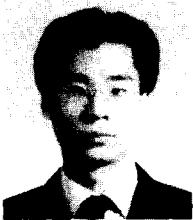
참고 문헌

- [1] Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation System," IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, no. 7, pp. 679-682, June 1975.
- [2] D. N. Godard, "Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication Systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [3] G. Picchi and G. Prati, "Blind Equalization and

Carrier Recovery Using a Stop-and-Go Decision-Directed Algorithm," IEEE Trans. Commun., vol. COM-35, pp. 877-887, September 1987.

- [4] A. Benveniste and H. Goursat, "Blind Equalizers," IEEE Trans. Commun., vol. COM-32, no. 8, pp. 871-882, Aug. 1984.
- [5] 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.
- [6] K. N. Oh, "A Single/Multilevel Modulus Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E80-A, no. 6, pp. 1033-1039, June 1997.
- [7] D. Hatzinakos and C. L. Nikias, "Blind Equalization Using a Tricestrum-Based Algorithm," IEEE Trans. Commun., vol. COM-39, pp. 669-682, May 1991.
- [8] O. Shalvi and E. Weinstein, "New Criteria for Blind Deconvolution of Nonminimum Phase Systems(Channels)," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-36, no. 3, pp. 312-321, March 1990.

임 창 현(Chang-hyun Yim) 정회원



1998년 2월 : 성균관대학교
전자공학과학사졸업
2000년 2월 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
석사 졸업
2000년 3월~현재 : 삼성전자
중앙연구소 연구원

<주관심 분야> 디지털이동통신, 무선통신, 등화기, 모뎀기술

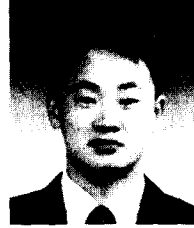
김 기 윤(Ki-yun Kim) 정회원



1997년 2월 : 성균관대학교
전자공학과학사졸업
1999년 2월 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
석사 졸업
1999년3월~현재 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
박사과정

<주관심 분야> 디지털이동통신, 무선통신, 위성통신, 모뎀기술, DSP

김 동 규(Dong-kyu Kim) 정회원



1995년 2월 : 성균관대학교
전자공학과학사졸업
1997년 2월 : 성균관대학교
전자공학과 석사 졸업
2000년 2월 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
박사졸업

1999년12월~현재 : 삼성전자 중앙연구소 연구원
<주관심 분야> 디지털이동통신, 무선통신, 모뎀기술, OFDM

최 형 진(Hyung-jin Choi) 정회원



1974년 2월 : 서울대학교
전자공학과학사졸업
1976년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과 졸업
1976년3월~1979년7월 :
주식회사금성사
중앙연구소근무(과장)

1979년 9월~1982년12월 : 미국 University of southern California 전기공학과 박사 (Ph.D)

1982년 10월~1989년 2월 : 미국 LinCom Corp. 연구원으로 근무

1989년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 정교수

<주관심 분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화기술을 포함한 modem기술 등